

GOVP1200624329

T0015853

최 중
연구보고서

생볏짚곤포사일리지 이용 증진을 위한
축우용 TMR 모델 개발

Studies on Development of TMR Model
Applying to Domestic Cattle for Efficient Use of
Round Bale Rice Strawlage

연구기관
고려대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “생벚짚근포사일리지 이용 증진을 위한 축우용 TMR 모델 개발”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 05 월 24 일

주관연구기관명 : 고려대학교

총괄연구책임자 : 손 용 석

세부연구책임자 : 손 용 석

연 구 원 : 윤 진 아

연 구 원 : 리 시 연

연 구 원 : 서 은 주

연 구 원 : 양 회 은

연 구 원 : 이 진 성

연 구 원 : 함 상 옥

연 구 원 : 배 일 만

연 구 원 : 고 재 훈

연 구 원 : 박 지 은

위탁연구기관명 : (주)바이오사료연구소

위탁연구책임자 : 김 광 수

요 약 문

I. 제 목

생볏짚곤포사일리지 이용 증진을 위한 축우용 TMR 모델 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라와 같은 자원빈국에서는 부존하는 사료자원을 최대한 개발하여 효과적으로 활용하는 자원전략이 우선적으로 필요하다. 현재로 연간 70여 만톤의 조사료 수입에 1천 500여만 불의 외화가 지출되고 있는바, 조사료마저 수요의 대부분을 수입에 의존하는 한 우리의 축우산업은 국제경쟁력 확보도 어려울 뿐만 아니라 항상 불안할 수밖에 없다. 건초 수입은 또한 날로 발생이 증가하고 있는 각종 국제 수역(獸疫)에 대한 노출 가능성과도 관련이 있어 문제로 거론되고 있는 것이 사실이다. 그러나 벼농사가 농업의 주종인 우리나라에서는 볏짚이 매년 정기적으로 약 620만 톤이라는 막대한 양의 부산물로 자동 생산되고 있는바, 비록 고품질은 아닐지라도 축우산업에서는 가치 운명적이라 할 만큼 이를 사료로 활용하지 않으면 안 된다. 다행히 근래에 개발 보급된 RSS(Rice Straw Silage; 이하 RSS로 표기함)의 제조기술은 농생산의 기계화 추세와 더불어 개발된 최신 조사료 제조방법으로, 기존의 화학적 처리방법에 비하면 보다 친환경적이고 작업효율이 우수한 발효사료인 동시에, 건조볏짚보다 사료가치가 훨씬 더 우수함을 인정받고 있어 생산현장에 빠른 속도로 확산되고 있다. 이 기술은 또한 노동비가 높은 현실에서 기계의 도입으로 논으로부터 볏짚 수거율을 높이고 규모화와 생력화를 기할 수 있게 해 주었음은 물론,

앞으로 조사료자급률을 크게 높일 수 있는 중요한 열쇠가 되고 있다.

한편, 완전혼합사료(TMR) 급여방식은 선진 사양기술의 하나로 근래에 국내 축우생산에도 빠른 속도로 확산되고 있어 약 70% 이상의 낙농가가 이 방식을 이용하고 있고 요즈음에는 육우생산에까지 이 방법이 도입되기 시작하였다. 그러나 선진국에서와 달리 우리나라 목장에서는 자가생산형 TMR에 비하여 유통 TMR이 더 성행하고 있으며, 현재 등록된 국내 TMR 제조업체의 수가 150여 개소에 공동으로 운영하는 제조공장(터미널)까지 합하면 약 200개소가 훨씬 넘을 것으로 추정된다. 차체에 RSS의 영양적 가치를 높이고 낙농 육우를 위한 TMR용 조사료로 효과적으로 이용하는 모델을 연구 개발함으로써 이 사료의 이용수준을 더 높일 수가 있다. 본래 TMR 고유의 성격상 조사료 원료로는 다즙질 사료, 특히 사일리지가 적합함에도 불구하고, 국내에는 대량으로 생산 공급되는 유통 TMR이 성행하면서 사일리지를 이용하기란 거의 보기 어려운 형편이다. RSS의 장점은 곤포 자체가 포장단위가 되어 유통이 가능하다는 점이며, 따라서 TMR용 조사료로 공급하는 데 적합하다. TMR용으로 적극 도입되는 경우에는 수요의 추가 창출과 함께 수입 건초와 마찬가지로의 전형적인 유통조사료로 자리 잡을 수 있으며, 궁극적으로 조사료의 국산화율을 높이고 대외 의존도를 줄임으로써 보다 낮은 생산비로 안정된 축산을 실현하는 데 기여할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 다음과 같은 가지 내용의 연구범위 내에서 목표를 달성하고자 하였다.

1. RSS의 품질에 영향을 미치는 요인 결정
2. RSS 제조단계에서 기계장비 운용기술과 발효촉진물 응용을 통한 품질향상
3. RSS의 제조비용 및 경제성 분석
4. RSS의 영양적 가치 평가에 의한 용도의 다양화와 이용기준 마련
5. TMR 원료 조사료로서의 도입가능성 조사
6. 최적 혼합수준 추정 및 혼합을 위한 기술적 조건 결정
7. 낙농용 RSS TMR의 적정 배합모델 개발
8. 비육우용 RSS TMR의 적정모델 개발
9. 고품질 RSS의 생산과 TMR 이용을 위한 현장 기술지침 마련

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

연속적인 소화시험과 영양소 분석을 통하여, 가을 철 RSS를 제조할 때 고도의 제조기술과 첨가물의 응용으로 건물소화율 63% 이상, TDN 57% 이상에 도달할 수 있어 중등급 이상의 목건초(牧乾草)에 필적하는 품질의 제품을 생산할 수 있음이 확인되었다. RSS의 발효효율에 영향을 주는 가장 큰 요인의 하나는 재료 생벚짚의 수분농도이므로, 벼수확 후 재료의 수분을 보존하는 것이 매우 중요함이 재확인되었다. 콤바인을 통한 세절이나 발효촉진용 첨가물의 응용은 무첨가시에 비해 2배에 가까운 영양적 효과를 얻을 수 있었다. RSS의 생산비용이 산출되어 적정 유통가격 설정 기준의 마련에 도움을 주게 되었다. RSS를 TMR용 조사료로 도입하기 위해서는 혼합효율이 매우 중요하며, 이를 보장하기 위하여 반드시 절단을 거쳐야 하는데, 절단기의 발달로 10cm 이하의 길이로 절단이 가능하

다. 여러 가지 요인을 고려할 때, TMR에 혼합할 수 있는 RSS의 비율은 건물 기준으로 최소 5~10% 이며, 품질과 수분농도가 우수하면 15%까지도 무리없이 혼합할 수 있음이 확인되었다. 낙농용 TMR의 RSS 혼합비율은 5~10%로, 연구결과는 6개월령 이상의 육성우, 초임우 및 건유우에, 그리고 비유후기의 착유우에 적합한 배합이 가능함을 시사하였다. 착유우에 RSS를 이용한 TMR을 급여할 경우 산유량보다는 유지율 상승에서 경제성에 더 도움이 됨을 연구결과에서 알 수 있었으며, 건물의 10% 수준까지는 무리없이 낙농용 TMR에 혼합할 수 있음이 입증되었다. 거세 한우의 비육말기용 TMR에 RSS를 급여기준으로 10% 수준까지 포함시킬 때, 기존의 관행인 배합사료 펠릿에 건조볏짚을 별도로 급여하는 방법에 비하여 기호성이 우수할 뿐만 아니라, 두당 사료비가 절감되고 증체량과 육질등급에서 더 우수한 비육효과를 보여주었다.

본 현장애로기술의 연구결과를 활용하기 위하여 다음과 같은 건의사항을 하고자 한다.

1. 우리 국민의 쌀 소비와 벼 생산이 위축되는 추세를 직시하면서 대안으로 떠오른 하나가 논을 이용한 각종 조사료 생산이며, 이러한 연답구초(緣畝求草)의 실현은 자연순환형 농업을 실현으로 이어지는 지름길이 될 것이므로, 기계장비와 소모품 등을 비롯한 지원을 대폭 확대하여 농가로 하여금 생산의욕과 가능성에 대한 확신을 주어야 함.
2. 본 시험연구를 통하여 얻어진 결과를 기초로 사료제조 및 축우산업의 현장에서 RSS 제조와 TMR에의 응용에 관한 기술을 활용코자 할 경우, 이해를 돕고 인식을 개선하기 위하여 아래와 같은 사항을 기술적 지침으로 널리 배포함.

3. 지역별 시연회, 조사료생산 경연대회, 연구발표회, 성공사례 발표회 등을 통하여 보다 강한 자급조사료 제조의지와 올바른 인식을 갖도록 보다 많은 기회를 농민에게 제공함.

4. 생산자 조합 또는 기계화 영농단 등의 육성을 지원하고 판로를 보장하는 조사료마케팅을 지방정부 또는 농협이 주도할 수 있도록 하고, 유통질서를 확립하고 저품질 제품의 양산을 막기 위하여 실용적이고 정확한 품질기준을 설정함과 동시에 유통가격 차등화 방안을 모색하여야 함.

SUMMARY

As Korean people eat rice as staple food rice straw is produced more than 6 million metric tons every year providing ruminant producers with forage despite its relatively low quality for that use. For the last decade manufacturing of rice straw silage(RSS) as a self-supplied forage has become more prevailing technique among Korean cattle properties, widely spreading throughout the Korean Peninsula. To help maximize the use of RSS as a TMR component more detailed conditions should be set up to become a adequate forage component in terms of feeding value and mixing characteristic. The purpose of the study, therefore, was to investigate the possibility and limitation of introducing RSS into TMR for dairy and beef cattle use. Right after grain harvest fresh rice straw was baled into rolls and wrapped on the rice field located in northern Gyeonggi Province. Several kinds of silage additives like molasses, urea, inoculants and enzyme products were applied during baling work, of which effects were evaluated after fermentation for 60 days. *In vivo* as well as *in vitro* digestibility tests were also carried out to determine its feeding value and find upper limit of incorporation into TMR. When silage additives like molasses and inoculant(*L. Plantarum*) were applied a high quality RSS having pH 5.1 and DM digestibility of higher than 63% was obtained. Application of commercial multi-fibrolytic enzymes in manufacturing RSS had only little impact on its quality as well as

digestibility, which was exhibited from *in vitro* experiments. Water contained within the fresh rice straw material was proved to be an important factor that changes the quality of ensiled RSS product. A forage cutter that had been developed specifically for roll bales of RSS worked so good to make the particle size less than 10cm, which contributed to the mixing property of RSS with other feed components of TMR. A test using a Penn State particle size separator proved a high mixing efficiency when RSS incorporated in TMR less than 10% on DM basis. Application of enzyme products for a few days on mixed TMR product brought only a slight improvement in nutritive quality. RSS was a potent substitute for grass hays of mid quality in TMR mixing, and digestion trial using heifer as well as feeding experiments conducted on lactating cattle and finishing beef cattle proved its potential feed value as a suitable forage component for TMR when mixed within 10% on DM basis. Feeding RSS-containing TMR showed a basically similar milk production but higher fat test in a lactational trial which was conducted using 24 holstein cows. It also helped increase feed preference in a feeding trial on 27 finishing Hanwoo steers, of which beef quality turned out of higher value compared with TMR having dried rice straw as a component. Economic analysis also proved that RSS could well be utilized as TMR component and help enabling more profitable production in both dairy and beef cattle industries. A guide was finally prepared for helping dairy and beef farmers produce high quality RSS and show how to use RSS in making a TMR.

CONTENTS

SUMMARY ·····	7
CONTENTS ·····	9
Chapter 1. Introduction to the Study ·····	18
1-1. Purpose of the Study ·····	18
1-2. Background and Necessity ·····	18
1-3. Range of the Research ·····	21
Chapter 2. Current Status of R&D ·····	23
2-1. Status of Development and Utilization of Rice Straw Feeds ···	23
2-2. Expected Effects of RSS ·····	24
Chapter 3. Contents of the Study ·····	27
3-1. Methodology and Material ·····	27
3-2. Results and Discussion ·····	46
3-3. Technical Guide for Field Manufacture ·····	96
Chapter 4. Achievement and Technological Contribution ·····	101
4-1. Objectives and Points for Evaluation ·····	101
4-2. Target Attained and Technological Contribution ·····	102
Chapter 5. Plans for Results Utilization ·····	106
Chapter 6. New information on Overseas Technology ·····	108
Chapter 7. References ·····	109

목 차

요 약 문	2
SUMMARY	7
CONTENTS	9
목 차	10
제 1 장 연구개발과제의 개요	18
제 1 절 연구개발의 목적	18
제 2 절 연구개발의 필요성	18
1. 기술적 측면	18
2. 경제·산업적 측면	19
3. 사회·문화적 측면	20
제 3 절 연구개발의 범위	21
제 2 장 국내의 기술개발 현황	23
제 1 절 볏짚사료의 개발과 이용 현황	23
제 2 절 TMR용 조사료로서의 기대효과	24
1. TMR 원료로 RSS의 가치	24
2. TMR용 조사료 이용을 위한 기술적 과제	25
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	27
제 1 절 연구 방법 및 내용	27
1. RSS 제조단계에서의 품질 개선방법 개발	27
가. 재료의 절단에 의한 발효효율 변화 조사	27

나. 발효촉진용 첨가물 응용에 의한 발효효율 조사	28
1) RSS의 제조경과	28
2) 제품의 시료 채취, 일반성분, 유기산 농도 및 발효특성 조사	31
3) 복합효소제의 생벚짚 분해능력 검정	33
4) 실험용 소형사일리지 제조 시험	35
다. RSS의 제조비용 분석	36
2. RSS의 <i>In Vivo</i> 소화율 검정	37
3. RSS의 섭취가능량 조사	38
4. RSS를 이용한 TMR 제조	38
가. TMR 제조시 효소제 처리효과 조사	38
나. RSS의 혼합효율조사	39
다. RSS TMR의 입자도 분포 조사	41
라. RSS TMR의 <i>In Vivo</i> 소화율 검정	41
5. 착유우 및 비육우용 적정 TMR 모델 개발	42
가. 낙농용 TMR 배합비 2종에 대한 착유우 사양시험	42
나. 낙농용 TMR의 경제성 분석	43
다. 거세한우 비육용 TMR 모델 개발을 위한 사양시험	43
라. 비육용 TMR의 경제성 분석	45
제 2 절 연구결과 및 고찰	45
1. RSS 제조단계에서의 품질 개선방법 개발	45
가. 재료의 절단이 제품의 품질에 미치는 효과	45
나. 발효촉진용 첨가물의 응용효과	48
1) 수용성 성분 보충 및/또는 생균제 첨가효과	49
2) 효소제 첨가	54
가) 복합효소제의 생벚짚 분해능력 검정	54
나) 복합효소제를 첨가한 RSS 제조	60
3) 물 첨가	62

다. RSS의 생산비 분석	68
1) 사례 1	68
2) 사례 2	69
2. RSS의 소화율 검정결과	70
3. RSS 섭취가능량의 현장조사	71
4. RSS(RSS)를 포함한 TMR 제조기술 개발	72
가. 절단의 기대효과와 절단기의 성능 비교	72
나. RSS의 TMR 혼합효율 검정	74
다. RSS의 혼합에 따른 TMR의 입자분포	75
라. 효소제 처리가 RSS TMR의 사료가치에 미치는 효과	78
5. 생뿔짚사일리지 TMR의 <i>In Vivo</i> 소화율 검정	81
6. 착유우에서의 생뿔짚사일리지 TMR 급여효과	81
가. RSS 혼합률에 따른 산유성적 비교	81
나. RSS 혼합률에 따른 경제성 비교	86
7. 비육말기 거세한우에서의 RSS TMR 급여효과	88
가. 섭취량 및 섭취양상	90
제 3 절 종합고찰 및 현장지도용 기술지침	96
1. RSS에 대한 개념과 재인식	97
2. 제조기술 고도화의 필요성	98
3. 재료 수분농도의 중요성	98
4. 발효촉진용 첨가물 응용효과	98
5. 저장 보관	99
6. RSS의 생산원가	99
7. 축우용 TMR 원료로의 가치	99
8. 유통의 활성화와 거래질서 확립	99

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	101
제 1 절	연구개발 목표와 내용 및 평가의 착안점	101
제 2 절	연구목표의 달성도 및 기술발전 기여도	102
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	106
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	108
제 7 장	참고문헌	109

표 목 차

표 1.	제 1차년도 재료의 절단에 의한 RSS 제조시험 경과	28
표 2.	발효촉진용 첨가제를 응용한 RSS 제조경과(제 1차년도)	29
표 3.	첨가제를 응용한 RSS 제조경과(제 2차년도)	30
표 4.	실험용 소형사일리지 제조경과	36
표 5.	효소제 첨가 RSS TMR 배합비	39
표 6.	RSS 첨가 TMR 배합비	40
표 7.	공시 착유우용 TMR의 기준 영양소함량	41
표 8.	비육우용 공시 TMR의 배합비	44
표 9.	거세한우 비육용 공시 TMR의 기준 영양소함량	45
표 10.	재료의 절단에 따른 RSS의 영양소 농도(%) 및 pH 비교	47
표 11.	원료벧짚의 건물 함량 및 일반 성분 조성	49
표 12.	첨가물 처리가 RSS의 건물, pH 및 젖산 농도에 미치는 효과	50
표 13.	첨가물 처리가 RSS의 일반 성분 농도에 미치는 효과	50
표 14.	첨가물 처리가 RSS의 건물, pH 및 젖산, 총유기산(TOA) 농도에 미치는 효과	52
표 15.	첨가물 처리가 RSS의 일반성분 농도에 미치는 효과	52
표 16.	각종 첨가물 처리가 RSS의 <i>In Vitro</i> 소화율에 미치는 효과	53
표 17.	각종 첨가물 처리가 소형 사일리지의 <i>In Vitro</i> 소화율에 미치는 효과	53
표 18.	효소제 처리에 따른 휘발성 지방산 농도의 변화	55
표 19.	효소제 처리에 따른 RSS의 건물 분해율 변화	58
표 20.	효소제 처리에 따른 RSS의 섬유질 소화율 변화	59

표 21.	복합효소제 첨가수준에 따른 RSS의 건물, pH 및 젖산 농도	61
표 22.	복합효소제 첨가수준에 따른 RSS의 일반성분 조성	61
표 23.	복합효소제 처리수준 별 건물, 젖산농도 및 pH 비교	62
표 24.	원료 생뱃짚의 건물 및 일반성분 조성	63
표 25.	첨가물 처리수준별 RSS의 건물, 젖산 농도 및 pH	63
표 26.	실험용 소형 사일리지용 원료뱃짚의 건물함량 및 일반성분 조성	65
표 27.	각종 첨가물 처리에 따른 실험용 소형 생뱃짚사일리지의 발효특성	66
표 28.	각종 첨가물 처리에 따른 실험용 소형 생뱃짚사일리지의 일반성분	66
표 29.	효소제 처리수준에 따른 실험용 소형 생뱃짚사일리지 발효특성 비교	67
표 30.	효소제 처리수준에 따른 실험용 소형 생뱃짚사일리지 일반성분 비교	67
표 31.	생뱃짚 원형RSS의 생산비 분석결과 <사례 1>	68
표 32.	생뱃짚 원형RSS의 생산원가 분석결과 <사례 2>	69
표 33.	홀스타인 육성우에 대한 생뱃짚사일리지의 <i>In Vivo</i> 소화율 검정결과	71
표 34.	공시 TMR 내 RSS의 목건초 대체율(%)	74
표 35.	CV Test 결과	75
표 36.	RSS 투입수준에 따른 TMR의 수분 농도 변화	77
표 37.	RSS TMR 제조 시 효소제 첨가수준	78
표 38.	효소제 처리수준 및 시간경과 별 RSS TMR의 일반성분 조성	79
표 39.	효소제 처리 RSS TMR의 제조 후 경과일수 별 <i>In Vitro</i> 소화율	80
표 40.	RSS TMR의 <i>In Vivo</i> 소화율 검정 결과	81

표 41.	착유우용 공시 TMR의 일반성분 농도	82
표 42.	비육시험에 공시한 TMR의 군별 배합비 및 단가 분석	86
표 43.	비육시험의 평균산유량 및 두당 유대수입	87
표 44.	TMR 섭취량에 따른 경제성 분석	87
표 45.	젖소목장의 두당 수입비교	88
표 46.	거세한우 비육시험에 공시한 TMR의 배합비	89
표 47.	비육우 배합사료 일반성분 분석 결과	90
표 48.	처리군 별 육등급 판정 결과	94
표 49.	한우거세우 비육시험에서의 사료비 분석	95
표 50.	한우거세우 비육시험에서의 사료비 분석	96

그림 목 차

그림 1.	효소제 처리가 RSS의 <i>In Vitro</i> 배양시 기체 생성량에 미치는 효과	54
그림 2.	효소제 첨가 및 배양 시간에 따른 RSS의 건물 소화율 비교	57
그림 3.	효소제 첨가 및 배양 시간에 따른 RSS의 NDF 소화율 비교	57
그림 4.	효소제 첨가 및 배양 시간에 따른 RSS의 ADF 소화율 비교	58
그림 5.	RSS 건물 함량과 pH의 상관 관계	64
그림 6.	첨가물 처리에 따른 건물 및 섬유질 소화율 비교	64
그림 7.	RSS 투입수준에 따른 TMR의 입자크기(상, 중, 하) 분포	76
그림 8.	시험기간 중의 최고온도 및 상대습도	83
그림 9.	일평균 산유량의 변화	83
그림 10.	개체별 평균 섭취량의 변화	84
그림 11.	개체별 평균 유지율의 변화	84
그림 12.	개체별 평균 유단백율의 변화	85
그림 13.	개체유의 평균 MUN의 변화	85
그림 14.	시험기간 중 군 별 개체우의 평균 건물섭취량	91
그림 15.	사료급여 후 군별 개체우의 사료섭취 양상 변화	92
그림 16.	시험기간 중 군별 개체우의 평균체중 변화	93
그림 17.	시험기간 중 군 별 개체우의 평균증체량	93

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구개발은, 지난 수년 간 국내 자급조사료로 생산이 증가하고 있는 생볏짚곤포사일리지(Rice Straw Silage; RSS)를 축우용 TMR의 조사료 원료로 도입하여 이용량을 증대시킴으로써 축우산업의 수입조사료에 대한 의존도를 낮추고 국가의 사료자급도를 향상시키는 데 궁극적인 목적이 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

축우사료와 관련하여 지난 10여 년 동안 나타난 가장 두드러진 현상의 하나는 완전혼합사료(TMR)의 급여형식이 빠른 속도로 확산되었다는 사실로, 서울우유조합에서 보고한 최근 종합실태조사(2005)의 통계에 의하면, 조합원 전체목장의 약 82%가 TMR을 이용하고 있으며, 그 중 84%가 유통 TMR에 의존하고 있는 것으로 나타났다. TMR 사양방식은 목장에서 제대로 시행할 경우 기존의 조농 분리급여방식에 비하여 사료섭취량과 영양적 효율을 높일 뿐만 아니라, 지역마다 생산되는 각종 농산 또는 식품산업 부산물을 원료로 활용할 수 있다는 장점이 있어, 부존 사료자원이 불충분한 우리 축산업의 실정에 적합한 사료 급여형태임에 틀림없다. 그러나 선진국에서와 달리 우리나라 축우농가들은 자가 TMR에 비하여 유

통 TMR이 더 성행하고 있으며, 현재 등록된 국내 TMR 제조업체의 수가 150여 개소에 공동으로 운영하는 제조공장(터미널)까지 합하면 약 300 개소가 훨씬 넘을 것으로 추정된다. 이와 같이 낙농 육우용 TMR을 농가에 공급하는 많은 업체들이 근래에 공통적으로 직면하고 있는 커다란 애로사항은 바로 원료로 이용되는 조사료, 특히 화본과 조사료의 부족과 가격문제이다. 이 문제는 특히 관세 혜택을 받는 화본과 조사료의 물량이 정책적으로 제한되면서 더욱 첨예화 되었는바, 해결의 실마리를 풀기 위해서는 정책당국과 축우 생산농가 간의 인식 차이가 좁혀져야 하겠지만, 기술적 측면에서 수입의존도를 완화시키기 위한 연구노력이 병행되어야 한다고 본다.

벼농사가 농업의 주종을 이루는 우리나라에서는 벳짚이 매년 정기적으로 약 620만 톤이라는 막대한 양의 부산물로 자동 생산되고 있는바, 비록 고품질은 아닐지라도 축우산업에서는 가히 운명적이라 할 만큼 이를 사료로 활용하지 않으면 안 된다. 다행히 근래에 개발 보급된 RSS 제조기술은 농생산의 기계화 추세와 더불어 개발된 최신 조사료 제조방법으로, 기존의 화학적 처리방법에 비하면 보다 친환경적이고 작업효율이 우수한 동시에, 건조벳짚보다 사료가치가 더 우수함이 인정을 받고 있어 생산현장에 빠른 속도로 확산되고 있다. 따라서, 기술적 뒷받침과 함께 TMR용 원료조사료로 이를 이용할 경우에는 수입 화본과 건초의 부족으로 인한 자금의 애로사항을 상당히 해소할 수 있을 것이다.

2. 경제·산업적 측면

우리나라와 같은 자원빈국에서는 부존하는 사료자원을 최대한 개발하여 효과적으로 활용하는 자원전략이 우선적으로 필요하다. 조사료마저 수요

의 많은 부분을 수입에 의존하는 한, 우리 축산업은 국제경쟁력 확보도 어려울 뿐만 아니라 항상 불안할 수 밖에 없다. 조사료 도입의 제한은 IMF 경제난국을 겪으면서 양축가들이 경험했던 사료자급의 중요성에서만 이 아니라, 국내에 날로 출현이 증가하고 있는 각종 국제 수역(獸疫)에 대한 노출 가능성과도 관련이 있어 문제로 거론되고 있는 게 사실이다.

현재 국내 조사료 수요의 약 1/2을 볏짚사료가 차지하는 반면, 사료작물은 1/5 정도에 불과하다. 이러한 상황에서 새로이 개발된 RSS 제조기술은, 날로 노동비가 높아지는 현실에서 기계의 도입으로 논으로부터 볏짚 수거율을 높이고 규모화와 생력화를 기할 수 있게 해 주었음은 물론, 축우용 조사료 자급률을 높이는 열쇠 하나를 쥐고 있는 셈이다.

차제에 RSS의 영양적 가치를 높이고 낙농 육우를 위한 TMR용 조사료로 효과적으로 이용하는 모델을 연구 개발함으로써 이 사료의 이용수준을 더 높일 수가 있다. 본래 TMR 고유의 성격상 조사료 원료로는 다즙질사료, 특히 사일리지가 적합함에도 불구하고, 국내에는 대량으로 생산 공급되는 유통 TMR이 성행하면서 사일리를 이용하기란 거의 보기 어려운 형편이다. RSS의 장점은 곤포 자체가 포장단위가 되어 유통이 가능하다는 점이며, 따라서 TMR용 주요 조사료로 조달하는 데 적합하다. TMR용으로 적극 도입되는 경우에는 수요의 추가 창출과 함께 수입 건초와 마찬가지로 전형적인 유통조사료로 자리 잡을 수 있으며, 궁극적으로 조사료의 국산화율을 높이고 대외 의존도를 줄임으로써 보다 낮은 생산비로 안정된 축산을 실현하는 데 기여할 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

볏짚은 수천 년 우리나라 문화의 한 부분을 차지하는 만큼, 농용 볏짚의 생산 이용은 그 일부를 구성하고 있다. 전통적으로 수작업에 의존해

오던 볏짚 수거작업이 농업 기계화에 힘입어 조사료 생산에서도 규모화와 생력화를 기할 수 있게 됨은 커다란 발전이다. 이미 RSS의 생산이 성행하는 지역에서는 목장마다 공터에 원형곤포를 적재하여 하나의 새로운 목장 모습을 보여주고 있음을 볼 수 있다. RSS 제조는 최소한 3인 이상으로 구성되는 팀워크를 요구하므로, 여건이 비슷한 농가 간에 상호협조의 정신을 길러주고, 서로 간에 기술정보를 교환 하는 기회가 자연스럽게 마련된다는 이점도 있다. 본 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 RSS의 수요와 생산의 창출효과가 상승하면, 기계화와 연관된 논을 이용한 각종 사료작물의 경작(예: 답리작)도 자연적으로 확대될 것이므로, 초지조성 여건이 미흡한 우리나라 여건에서 연답구초(緣畝求草)의 실현으로 조사료 생산을 증진시키고 나아가 자연순환형 축산을 실현하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

제 3 절 연구개발의 범위

RSS가 축우용 TMR의 효과적인 조사료원으로 도입되려면 적어도 두 가지 문제가 해결되고 개선되어야 한다. 우선적으로 요구되는 것은, 발효 볏짚일지라도 소화율을 더욱 높여 기존에 TMR용 조사료로 이용되고 있는 여타 화본과 조사료에 필적하는 수준으로 올리는 문제이며, 다른 하나는, 양적으로 생볏짚 사일리지를 축종별로 어느 수준까지 TMR에 도입할 수 있는지 최고 도입한계를 결정하여, 대상 동물의 발육단계 또는 생산수준별로 가능한 사료섭취량과 영양적 효과를 극대화 할 수 있는 TMR 배합조성을 결정하고, 경제성 분석을 통하여 산업현장에 적용 가능한 모델을 찾아내는 일이다.

그러므로 현장애로기술에 관한 본 연구에서는 다음과 같은 9가지 내용을 연구범위로 하여 달성하고자 하였다.

1. RSS의 품질에 영향을 미치는 요인 결정
2. RSS 제조단계에서 기계장비 운용과 발효촉진용 첨가물을 통한 품질 향상 기술의 개발
3. RSS의 제조비용 및 경제성 분석
4. RSS의 영양적 가치 평가에 의한 용도의 다양화와 이용기준 마련
5. TMR 원료 조사료로서의 도입가능성 결정
6. 최적 혼합수준 측정 및 혼합을 위한 기술적 조건 결정
7. 낙농용 RSS TMR의 적정 배합모델 개발
8. 비육우용 RSS TMR의 적정모델 개발
9. 고품질 RSS의 생산과 TMR 이용을 위한 현장 기술지침 마련

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 볏짚사료의 개발과 이용 현황

고간(짚)류는 인간이 직접 이용할 수 없는 섬유성 부산물로 목재섬유(wood fiber) 다음으로 지구상에 풍부한 부존 유기자원이다(Stundtol과 Owen, 1984). 특히, 쌀이 주식이고 벼농사가 농업의 주종을 이루는 우리나라에는 비록 양질 조사료 원은 아닐지라도 볏짚이 매년 정기적으로 약 600만 톤 이상의 막대한 양이 부산물로 쌀과 함께 자동 생산되고 있음에도 불구하고, 실제로 사료로 이용되는 양은 전체량의 1/3 정도에 불과한 실정이다. 그러므로 이를 사료용으로 얼마나 확보하고 질적으로 얼마만큼 가치 있게 활용하느냐는 사료 자급기반이 약한 우리나라 사료수급에 지대한 영향을 미칠 수 있는바, 이러한 이유에서 1960년대부터 지금에 이르기까지 볏짚의 소화율과 사료가치를 높이기 위한 연구와 개발은 많이 진행되어 왔으며, 몇 가지 효과적인 방법들이 영농현장에 활용되어 왔다. 즉, 전통적인 건조방법에서부터 가성소다, 암모니아, 과산화수소 등의 화학적 처리(문 등, 1990; 김과 정, 1993; 곽 등, 1995; 김 등, 2006)에 이르기까지 지금까지 다양한 형태로 볏짚이 조사료로 이용되어 왔으며, 각기 나름대로의 장단점을 가지고 있었다. 하지만, 기계작업을 이용하여 생볏짚 상태에서 발효처리를 하는 곤포 제조기술은 지금까지 실시해 온 처리가공방법 중 양질의 볏짚사료를 얻을 수 있는 가장 장점이 많고 효과적인 처리방법으로 인정받고 있을 뿐만 아니라, 곤포 단위로 유통이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 이와 같이 많은 장점을 가졌음에도 불구하고 양축현장에서 이 기술의 보급 속도가 기대에 미치지 못하는 이유는, 1) 기계장비의 구입에 따른 재정적 부담이 크다는 점과, 2) 안정된 수요처가 형성되어 있

지 못하다는 점이다. 그러므로 RSS를 TMR 생산과 연결시킴으로써 일차적으로 수요의 증대를 도모할 필요가 있다고 생각된다.

제 2 절 TMR용 조사료로서의 기대효과

1. TMR 원료로 RSS의 가치

거의 20년에 가까운 국내 도입역사를 가지고 있는 TMR 시스템은 여러 가지 이유에서 국내에 빠른 속도로 확산되고 있으나, 언급한 바와 같이, 자가생산 TMR에 비해 유통형 TMR의 비중이 매우 큰 게 다른 나라와 다른 특징이라고 볼 수 있다. 유통 TMR의 생산주체는 기업체인 관계로, 일반 목장에서처럼 조사료를 자체 생산하기란 불가능하며, 생산원료로 필요한 다량의 조사료 확보가 필요조건이 된다. 따라서 조사료의 양적 확보가 지속적인 TMR 제조에 매우 중요한 상황에서, RSS를 원료 조사료로 적극 도입할 경우에는 기존의 수입 화본과 건초(또는 짚)를 대체하는 효과가 크다. 특히 국내에서 제조 유통되는 TMR의 대다수는 맥주박을 비롯한 다즙질 원료사료를 확보하는 데 어려움이 있어 가수(加水)를 하거나 '건 TMR' 이라고 지칭하여 수분함량 30% 이하인 혼합사료가 많이 유통하고 있는 실정인데, 이러한 성격의 TMR은 수분부족으로 인하여 혼합공정 상의 효율이 낮을 뿐만 아니라, 실제 급여과정에서까지 분리현상(segregation)을 일으키기 쉽다는 약점을 지니고 있다. 정상적으로 제조된 RSS는 수분함량이 50~60%의 범위인 관계로, TMR용 조사료로 도입할 경우에는 전체의 수분농도를 높이므로 혼합효율이 좋아지고 동물이 섭취시에 성분사료의 분리현상으로 인한 선택채식을 방지하는 데 도움이 될 수 있다.

2. TMR용 조사료 이용을 위한 기술적 과제

수분이 많고 혼합효율이 우수한 일반 목초사일리지나 섬유성 다즙질 원료를 기초로 하는 선진국의 TMR에서와는 달리, 볏짚 발효사료를 TMR용 조사료로 도입하기 위해서는 볏짚이라는 소재의 특성상 고유의 기술이 개발 적용되어 우리 사정에 맞추어야 한다. 이미 잘 알려진 바, 볏짚은 식물생리적 특성 상 규산(SiO_2)의 축적률이 높으며, NDF 함량이 많고 섬유질의 결정화도(crystallinity)가 높기 때문에, 소화율이 낮고 반추위 내 체류시간이 길어 섭취량이 제한되는 저질 조사료로서의 전형적인 약점을 지니고 있는 게 사실이다. 볏짚의 발효처리는 기존의 건조볏짚에 비하여 약 30% 이상의 소화율 개선효과를 가져다주지만, 반추위 내에서 비교적 높은 갱신을(turnover)를 필요로 하는 낙농용 TMR에서는 특히 반추위 내 섬유질의 분해율을 높여야 섭취량 증가와 함께 영양적 효과를 극대화 할 수가 있다. 현재 RSS는 대부분 번거롭다는 이유로 발효촉진용 첨가물이 없이 원형 볏짚 그대로 끈포로 제조하고 있으나, 첨가물 처리를 한 경우에 발효효율이 우수하고 섭취량이 증가함이 연구를 통하여 알려져 있으므로(손, 1999), 앞으로 제조 현장에 첨가물의 응용을 적극 권장할 필요가 있다. 현재 검증된 발효촉진용 첨가물로는 당밀+요소 용액이나 생균제가 대부분인데, 이들은 한결같이 pH를 낮추는 효과는 강한 반면, 실제로 볏짚의 섬유질 자체가 미생물(유산균)의 발효기질로 이용되어 분해되는 정도는 미약한 게 사실이다. 근래에 유전공학적 방법의 도입에 힘입어 식물성 섬유질의 분해효능이 우수한 복합효소제들이 개발되어 일반 배합사료를 중심으로 이미 다양하게 응용되고 있는바, 생볏짚사일리지에 대한 분해능력을 관찰하고 실제 응용효과를 알아 볼 필요가 있다. 한편으로, 효소제를 생볏짚사일리지를 넣는 TMR 혼합공정에 응용함으로써, 후속발효의 가능성과 발효 특성, 그리고 소화율 및 기호성 등에 미치는 효과를 구명

함으로써, 궁극적으로 사일리지 발효 후 TMR 원료로 이용하는 단계에서 소화율과 섬유질 에너지의 이용률을 극대화 할 수 있는 처리방법을 찾아 낼 필요가 있다고 사료된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구 방법 및 내용

RSS는 발효사료의 하나로, 비닐랩으로 밀봉된 곤포 내 재료벗짚을 기질로 이용하여 혐기성 미생물이 증식하고 그 작용에 의하여 발효가 일어나는 만큼, 그 재료나 처리조건은 제조되는 사일리지 제품의 사료적 가치상으로 상당한 차이를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구는 RSS를 무리없이 TMR 원료로 도입하기 위한 전초작업으로서 일차적으로 RSS의 품질을 가급적 높일 수 있는 최적 방법을 개발하고, TMR 원료로서의 사료적 가치를 평가하며, 제 2단계에서는 이를 혼합하여 제조되는 TMR을 사료영양적으로 평가하고 동물에 대한 급여효과를 검증함으로써 축우용 TMR의 원료로 가장 적합한 이용방법을 개발하는 것을 연구내용으로 한다. 제 1단계 연구에서는 RSS 제조에 있어 발효용 기질이 부족한 재료벗짚의 부패를 막고, 동시에 안정된 발효 촉진효과가 우수한 첨가물을 찾기 위하여 기존의 관행 첨가물 이외에 복합 섬유질분해효소제를 응용한 효과를 관찰하였다. 한편, 제조된 사일리지의 대표시료를 채취하여 *In Vivo* 및 *In Vitro* 시험을 통하여 소화율을 검정함으로써 TMR을 비롯한 실제 사양표준에 응용하기 위한 기초자료를 구하였으며, 최종적으로 축우용 TMR에서 기존 조사료원료의 일부를 RSS로 대체하였을 때의 효과를 조사하였다.

1. RSS 제조단계에서의 품질 개선방법 개발

가. 재료의 절단에 의한 발효효율 변화 조사

생벗짚의 구성성분 중 불용성 탄수화물의 주류를 이루는 섬유소가 효과

적으로 분해되려면 일차적으로 재료를 절단하여 입자크기를 작게 함으로써 미생물 효소의 공격이 용이하도록 노출부위를 늘리는 것이 효과적이다. 재료단계에서 생볏짚을 절단하게 되면 급여단계에서는 더 이상 절단이 필요 없게 되므로, 급여노력이 절감되고 또 TMR을 배합하기에도 취급이 용이해진다. 이러한 이유에서 벼수확(콤바인작업) 단계, 즉 생볏짚을 수거하는 현장에서 사전에 재료를 절단하여 RSS를 제조하는 시험을 경기도 고양시 G목장 소유의 논 1,000평에서 실시하였으며, 이때 발효촉진용 첨가물은 응용하지 않았다[표 1].

[표 1] 제 1차년도 재료의 절단에 의한 RSS 제조시험 경과

제조일	시료채취일	수량	처리 조건	장소
2004. 10. 15	2004. 12. 13	3	절단 (10cm 기준)	고양시
		3	비절단 (C)	G목장

나. 발효촉진용 첨가물 응용에 의한 발효효율 조사

1) RSS의 제조경과

곤포와 랩포장에 의하여 RSS를 제조함에 있어서 품질을 결정하는 가장 중요한 요인 중 하나는 재료의 수분함량이다. 따라서 본 실험에서는 벼수확에서 곤포작업에 이르는 시간을 최소화하고자 RSS 제조 목장의 협조하에 가급적 벼수확 즉시 RSS를 제조하는 시험을 수행하였다. 제 1차 년도에는 경기도 파주시 소재의 A목장 인근의 논 3개 필지(논 A, B, C; 각 1,000평 기준)에서, 그리고 제 2차년도에는 경기도 파주시의 Y목장 인근의 논에서 현장 제조작업을 실시하였다. 제 1차년도 및 제 2차년도 RSS 제조에 공시된 품종은 공히 일반미인 '추청(秋晴)'이었으며, 벼수확일과 제

조일은 각 시험년도 별로 동일하지만 논에 따라서는 논토양과 벼의 상태에 따라서 수확일 지연으로 재료 생벚짚의 수분이 낮은 경우가 있었으며, 대부분 작업 당일 일기가 청명하고 기류가 강한 기상조건을 보인 것도 재료의 수분이 부족한 원인인 것으로 판단된다.

RSS 제조 시에는 유해미생물에 의한 부패를 막고 안정된 발효의 진행을 위하여 ① 복합효소제(외국 D사, G2), ② 생균제 (국내 C사, *Lactobacillus plantarum*), ③ 당밀(국내 K화학), ④ 요소(사료용) 등을 사일리지에 첨가제로 이용하였다. 이때 복합효소제의 경우는 첨가 농도에 따른 차이를, ②, ③, ④ 첨가제의 경우는 단독 또는 복합하여 사용하였을 때의 효과를 보고자 하였다. 아울러 제 2차년도에는 수분을 단독 첨가했을 때의 발효효과를 보고자 재료벚짚에 수분만을 첨가한 사일리지의 제조 시험도 병행하였다. RSS 제조내용에 관한 사항은 [표 2] 및 [표 3]에 제시된 바와 같다.

[표 2] 발효촉진용 첨가제를 응용한 RSS 제조경과(제 1차년도)

제조일	사료채취일	수량	첨가제 종류 및 사용량	비고
2004. 10. 21	2004. 12. 24	8	① 당밀 : 2.4%(재료 건물 무게 비)	파주시 논 A
			② 생균제 : 100g/ 재료50톤	
			③ 당밀 + 생균제	
2004. 10. 21	2004. 12. 24	10	① 당밀: 2.4%(재료 건물 무게 비)	파주시 논 B
			② 생균제 : 100g/ 재료50톤	
			③ 당밀 + 생균제	
			④ 당밀 + 생균제 + 요소 : 0.18% (재료 건물중 기준)	
2004. 10. 21	2004. 12. 24	8	① E2 : 400ml/곤포	파주시 논 C
			② E10 : 2000ml/곤포	
			③ E20 : 4000ml/곤포	

[표 3] 첨가제를 응용한 RSS 제조경과(제 2차년도)

제조일	사료채취일	수량	첨가제 종류 및 사용량	비고
2005. 10. 26	2005. 12. 27	20	① 물 : 15% (재료 생물 기준) ② 당밀 : 8% (재료 건물 기준) ③ 생균제 : 100g / 재료50톤 ④ 당밀 + 생균제 ⑤ 당밀 + 생균제 + 요소 0.6%(재료 건물 무게 비)	파주시 Y목장 논

사일리지 첨가제들의 적용량은 곤포 1개당 무게를 400kg을 기준으로 하여 설정하였다. 제 1차년도 실험에서 당밀은 동량의 온수(36℃)와 1:1로 희석하여 분무기로 분무하였고 생균제는 제조사의 권장량을 준수하여 희석한 후 역시 수작업으로 살포하였다. 한편 본 실험에 사용된 효소제는 cellulase, xylanase, β-glucanase 등이 포함된 복합효소제(D사 제조)로, 그 응용량은 생균제의 경우와 마찬가지로 제조사의 권장량을 기준으로 하 되, 적절한 첨가범위를 확인하고자 첨가 농도를 달리하여 36℃의 온수로 희석하여 분무하였는데, 분무기를 이용하여 수작업을 수행함으로써 보다 정확한 양을 계량하여 재료에 첨가하였다.

제 2차년도 실험에서는 당밀 + 요소 용액에 생균제를 첨가하였을 경우와 수분만을 첨가하였을 경우의 발효효과를 관찰하는 실험을 수행하였다. 생균제는 당밀 + 요소 용액에 첨가하여 사일리지제조 직전에 분무하였으며, 이때 당밀과 요소의 사용수준은 제 1차년도 시험에서보다 높하였고, 생균제 사용량은 제조사 기준에 따라 제 1차년도와 동일하게 처리하였다.

2) 제품의 시료 채취, 일반성분, 유기산 농도 및 발효특성 조사

원료벗짚 시료는 RSS 제조 당시 일부를 무작위방식으로 채취하여 냉동 보관 하였다. 또한 제조시험 당일로부터 약 60일 정도 경과 후 시료채취용으로 제작된 길이 70cm, 지름 3.5cm인 회전식 Core sampler를 사용하여 곤포의 서로 다른 방향에서 천공하여 60cm 이상의 심부에서부터 곤포당 약 1kg의 분석용 시료를 채취하였다. 천공된 랩 부위는 시료 채취 종료 후 즉시 접착용 테이프로 봉하였고 시료는 곧바로 시료운반용 폴리에틸렌 zipper bag(크기 30×40cm, 두께 0.05mm)에 담아 밀봉한 후 icebox를 이용하여 실험실로 운송하였다. 운송된 시료는 강제순환식 열풍건조기(Vision scientific Co., Korea)를 이용, 60℃에서 48시간동안 건조하여 건물함량을 측정하였고, 시료의 일부는 증류수와 1:10의 비율로 혼합한 후 균질기(Homogenizer: HP 91, SMT company, Japan)를 이용하여 10,000rpm에서 30초간 균질화하고, 2겹의 cheese cloth로 여과하여 추출액을 만들어 pH를 측정하고 일부시료는 젖산 분석을 위해 냉동 보관하였다. 건조된 시료는 Disc mill(BM-D-100, MaCoy Co., USA)로 1차 분쇄한 후, Cyclone mill(3010-039, UDP Co., USA)를 사용하여 0.5mm screen으로 분쇄하여 일반 성분 및 NDF(Neutral detergent fiber), ADF(Acid detergent fiber) 분석과 *In Vitro*소화율 분석에 이용하였다. 건물(Dry matter, DM), 조단백질(Crude protein, CP), 조회분(Ash), 조지방(Ether extract, EE) 함량은 AOAC(1990)에 의거하여 분석하였고, NDF 및 ADF 분석은 Goering과 Van Soest(1970) 방법을 이용하였다. 한편 냉동 보관되었던 사일리지 추출액을 원심분리기(centrifuge tube)로 옮긴 후, 2,000rpm에서 5분간 원심 분리시켜 젖산(L-lactic acid)의 경우 Test Kit(BOEHRINGER MANNHEIM, Cat. No. 139 084)를 사용하여 분석한 후, 휘발성지방산(C₂~C₄) 함량을 분석하여 이들의 합을 총유기산(total organic acid, TOA)

으로 하였다. 휘발성지방산의 경우, 시료를 전처리하여 GC(Gas chromatography; Hewlett Packard 5890 Series II)를 이용하였는데, GC의 경우 추출액의 안정화를 위해 추출액 5mL를 25%(w/v)의 metaphosphoric acid 1mL과 혼합하였으며, 유기산의 정량분석을 위해 500mg/l cyclohexanone(internal standard; Sigma Co., C-8390) 1mL을 다시 첨가한 다음 Vortex로 혼합하였다. 이것을 4°C에서 30분간 정치시킨 다음 4,000rpm에서 30분간 원심분리하였으며, 이때 상정액을 분석에 이용하였다. 유기산의 정량분석을 위해 초산(Sigma Co., A-0808), 프로피온산(Sigma Co., P-6449), 낙산(Sigma Co., B-2503) 각각에 대해 3가지의 표준시약(10mM, 1mM, 0.1mM)을 제작, 이용하였으며, 이때 사용된 GC 사용조건은 다음과 같다.

- Column : 2m × 1/8" stainless steel, 4% CAROWAX 20M 80/120
CARBOPACK · DBA (SUPELCO)
- Carrier : N₂ Gas
- Condition
 - Oven Temp. : 170°C
 - Inlet Temp. : 200°C
 - Detector Temp. : 210°C
 - Injection volume : 0.6uL

In Vitro 소화율 실험은 Moore(1970)의 2단계 방법에 의거하여 수행하였다. 공시 시료는 일반 성분 분석에 사용한 시료와 동일하며, 건물과 회분을 측정하여 각 시료에 대한 건물과 유기물의 함량을 조사하였다. 배양 전일에는 각 시료를 0.25g씩 칭량하여 6반복으로 50ml 폴리에틸렌 culture tube(CT)에 넣어 39°C에서 보관하였다. 배양에 사용한 buffer는 McDougall 인공타액으로서 배양 전일에 제조하여 39°C에서 CO₂ 주입으

로 혐기적 상태로 유지된 후 배양에 사용되었다. Buffer는 배양에 필요한 반추위액 채취 직전 CO₂ 분사와 동시에 각 CT에 25ml씩 분주하여 혐기성 조건을 유지시킨 후 즉시 Bunsen valve로 막은 다음, 반추위액을 분주할 때까지 39℃에 보관하였다. 반추위액은 반추위 누관이 장착된 체중 약 50kg의 Corriedale종 숫면양에게 14일간 건초 위주로 사료를 급여한 후 배양 당일 아침사료 섭취 종료 2시간 경과 후(10:30) 800ml을 채취하여 4겹의 cheese cloth로 거른 다음, 병에 담아 39℃의 항온수조에서 CO₂를 주입하면서 각 CT에 5ml씩 분주하였다. 분주가 끝난 CT는 39℃의 진탕 항온수조(ND-303B, N-Biotec, Korea)에서 1차로 48시간동안 배양되었고, 1차 배양 직후 원심분리기(VS-15CFN, Vision scientific Co., Korea)를 이용 10000rpm에서 10분간 원심분리하고 pasteur pipette을 이용하여 상정액을 제거하는 세척 과정을 3차례 반복하였다. 이후, Pepsin/HCl 용액을 30ml씩 분주하여 1차 배양과 같은 조건에서 2차 배양을 실시하고 세척한 뒤 건물을 측정하고 증류수를 이용하여 잔사를 Glassfilter로 이동시켜 회분을 측정하였다. 배양시료의 소화율은 건물 소화율과 유기물 소화율로 나누어 계산하였으며, 계산식은 다음과 같다.

- 건물 소화율(%) = {시료 건물 - (잔사 건물 - blank)} / 시료 건물 × 100
- 유기물 소화율(%) = {((시료 건물 - 시료 회분) - (잔사 건물 - 잔사 회분 - blank)) / (시료 건물 - 시료 회분)} × 100

3) 복합효소제의 생분해능 평가

시판 복합섬유질 분해효소의 기질로서 생분해능의 분해특성을 관찰하기 위하여 일련의 *In Vitro* 배양실험을 실시하였다. 공시 시료는 2004년

10월 경기도 파주에서 수확한 냉동뱃짚을 효소제 처리 직전에 건조 분쇄하여 1mm 체를 통과시킨 것으로 건물 기준 0.5g의 뱃짚시료를 Filter Bag에 투입한 다음 ANKOM배양기(#57, ANKOM Corp., Fairport, NY)를 이용하여 효소제를 투입하지 않은 대조구(Control)와 함께 시판 복합효소제 2종(E1 및 E2)을 각각 단독 또는 조합하여 배양하였다. 효소제는 시료 g당 5mg을 기준농도로 적용하였으며, Filter bag은 가열하여 봉한 다음 100mL 용량의 Vial에 담아 1차로 상온에서 3시간 정치시킨 다음 40mL의 혐기성 완충용액을 첨가하였다 (Goering과 Van Soest, 1970). 접종용 Inoculum을 준비하기 위하여, 건초를 급여하는 누관이 장착된 2두의 거세 한우로부터 아침사료 급여 직전에 채취한 약 1.5L의 반추위액을 4점의 치즈천으로 걸러 미리 CO₂를 주입한 배양병에 담고, 고형물은 별도로 채취하여 비닐백에 밀봉한 다음, 혐기적 상태로 실험실에 운반하였다. 반추위액 1.5L에 375g의 고형물을 혼합한 다음 45초 간 3회 Blending하여 4점의 치즈천으로 거른 다음 공시 뱃짚과 효소제가 담긴 Vial에 첨가 분주하였다. Vial을 밀봉한 다음 39°C의 로타리식 Shaker에서 48시간 동안 배양하면서 발생하는 가스생성량을 배양 6, 12, 24, 및 48시간 후에 상층부로부터 측정하였다. 이때 가스발생량은 배양된 기질의 유기물(OM)양과 (-)대조구에 대한 보정치를 사용하여 Mauricio 등(1999)이 제시한 2차방정식에 의거하여 추정되었다. Vial들은 배양기에서 분리된 다음 냉장상태에서 DM, NDF 및 ADF 분석을 위한 전처리를 실시하였으며, 5mL의 2차 시료를 채취하여 VFA농도를 측정하였다. 분석용 시료의 건물(DM) 함량은 100°C에서 24시간 동안 건조하여 측정하였으며, 유기물(OM) 함량은 550°C의 회화로에서 3시간 회화를 하여 탄소를 완전 제거한 다음 측정하였다. NDF와 ADF의 분석은 각각 ANKON200 섬유질분석기를 사용하였으며, NDF분석에는 Sodium sulfate (10 g/L NDF detergent)와 Amylase (2 mL/L NDF detergent)를 사용하였다. VFA농도는 관행적 방법으로 GC를 이용하여 측정하였다. 본 실험에서 얻어진 DM, NDF, ADF, 및

기체생성량 등은 SAS(SAS Institute, 1999)의 Proc. Mixed procedure에 의거하여 각 배양시간 별 평균치에 대하여 Tukey 보정을 실시하였으며, 평균치간의 차이는 P값이 0.05 이하일 때 유의성을 인정하였다.

4) 실험용 소형사일리지 제조 시험

RSS는 여러 조건, 특히 제조 당시의 논외 상태와 작업위치, 그리고 기상조건 등에 따라 품질이 상당한 변이를 보이는데, 같은 생볏짚을 재료로 보다 균질한 재료충전과 표준화 된 조건 하에서 실험을 수행하고자 별도로 제작된 실험용 소형사일로와 사일로프레스를 이용하여 사일리지를 제조하였다. 시험은 2004년 10월 24일 경기도 남양주에 위치한 고려대 부속농장의 논 2개소(이하 남양주 A, B로 지칭함)에서 시행되었다. 소형사일로는 직경 약 30cm, 깊이 60cm, 두께 5mm 규격의 원통형 PVC 재질로 제조된 것으로, 완전한 혐기적 상태로 밀폐하기 위하여 내부에 폴리에틸렌 필름을 넣어 하단을 막고 그 안에 재료를 충전하였다. 생볏짚 재료는 수확 직후 자동볏짚절단기로 10cm의 TLC(Theoretical Length of Cut)를 기준으로 절단한 다음 일정량을 계량하였다. 이어서 해당 처리수준의 첨가제를 분무하여 사일로마다 10kg씩 충전하고, 회전식 Press를 이용하여 일정압력을 가한 뒤 상부를 밀봉하고 Bunsen valve를 부착하여 발효가스가 빠져나올 수 있도록 하였다. 실험용 소형사일리지 제조의 경과와 처리내용은 [표 4]와 같다.

[표 4] 실험용 소형사일리지 제조실험 경과

제조일	시료채취일	수량	첨가제 종류 및 사용량	장소
2004. 10. 24	2004. 12. 21	20	① 당밀: 2.4% (건물 기준)	남양주 A
			② 생균제: 100g/ 재료 50톤	
			③ 당밀 + 생균제	
			④ 당밀 + 생균제 + 요소 0.18% (건물 기준)	
2004. 10 .24	2004. 12. 21	10	① E0 : 0ml	남양주 B
			② E0.5 : 1ml	
			③ E1 : 2ml	
			④ E2 : 4ml	
			⑤ E10 : 20ml	

실험에 사용된 공시 벼의 품종은 추청이었고, 남양주 논A에서는 당밀, 요소, 생균제를, 남양주 논B에서는 효소제를 처리하여 사일리지를 제조하였다. 처리기간은 발효 및 숙성 기간을 포함하여 60일이었고, 시료는 개봉 즉시 외부 표면에 발생한 흰 곰팡이를 제거한 후 지름 60cm, 깊이 15.5cm의 플라스틱 용기로 옮겨 균일하게 혼합한 다음 대표성 있는 시료를 채취하였다. 기타 발효특성 및 성분 분석, *In Vitro* 소화율 검정 실험은 RSS 제조 시험에서와 마찬가지로 방법으로 수행하였다.

다. RSS의 제조비용 분석

RSS를 제조함에 있어, 단위면적 당 재료벼짚의 구입가격, 면적당 제조되는 곤포의 수와 중량, 발효촉진용 보충 또는 첨가물 및 비닐랩(정부지원분 무시), 인건비 및 기계장비의 감가상각비 등을 요인항목으로, 제조현장 및 관련 회사에 설문하여 제조단가를 조사하고, 이를 기초로 생산비용

을 산출한 다음 경제성을 분석 비교하였다.

2. RSS의 *In Vivo* 소화율 검정

현재 많은 농가에서 RSS를 조사료로 급여하고 있으나 이에 대한 소화율 관련 기초자료가 미흡한바, 이를 조사하고자 제 1차년도에는 RSS를 단독으로 급여하면서 *In Vivo* 소화율 검정을 실시하였다. 공시한 RSS는 경기도 파주시에서 당밀/요소배 생균제를 복합 응용하여 제조된 상등품이었다. 소화율 검정시험은 2004년 8월 10일부터 2004년 8월 31일까지 총 21일간 경기도 남양주시에 소재한 고려대 부속목장에서 실시되었다. 출생일이 근사한 평균 체중 320kg인 Holstein 육성우 4두를 각각 Stanchion 우상에 수용하여 RSS를 급여하면서 14일의 적응기간과, 7일의 본 시험기간으로 구분하여 전분채취법(Total collection)에 의거하여 사료섭취량과 배설량 등을 측정 기록하고 시료를 채취하였다. RSS는 개봉 직후 TLC 10cm 길이로 절단하여 1kg씩 폴리에틸렌 용기에 배분한 후 -25℃에 냉동보관 하면서 급여하였고, 음수는 자유로이 섭취케 하였다. 사료는 매일 아침 08:00시에 급여하였고, 동물이 사료조를 비우기 전에 수시로 추가 급여를 하여 사료가 항상 급사조에 남아있도록 하였다. 아침사료 급여 직전에 잔량을 수거하여 무게를 칭량하였으며, 시료용 사료는 급여시마다 무작위로 채취하여 Pool로 하여 분석시료로 이용하였다. 분 시료는 배설시마다 무게를 측정한 후 하루 동안의 배설량을 전부 수거하여 매일 아침 08:00시에 지름 60cm, 높이 15.5cm의 플라스틱 용기에 옮긴 후, 동량의 물을 첨가하여 자체 제작한 특수 균질기로 균일하게 섞은 다음, 2%의 Aliquot를 적용하여 무작위로 채취하였다. 채취된 시료에 대해 일반성분 및 NDF, ADF 분석을 실시하여 소화율을 계산하였으며, 화학분석은 RSS 제조시험에서와 동일한 방법으로 실시하였다.

3. RSS의 섭취가능량 조사

RSS를 조사료로 타 종류의 사료와 조합하여 급여하든가 TMR 원료사료로 도입하기 위해서는 우선적으로 잠재섭취량을 알아야 할 필요가 있다. 따라서 현장에 적용하기에 적합한 자료를 구하기 위하여 고양시 소재 G 낙농목장의 협조를 얻어, 육성우, 초임우 및 건유우에서의 실제 최대섭취량을 조사하였다.

4. RSS를 이용한 TMR 제조

가. TMR 제조시 효소제 처리효과 조사

RSS 제조단계에서 뿐만 아니라 이를 이용하여 TMR을 제조하는 단계에서 TMR의 소화율을 높이는 방안을 연구하고자, TMR 배합공정에 효소제를 2% 및 5% 수준으로 첨가하여 성분 변화 및 *In Vitro* 소화율의 개선정도를 조사하는 실험을 실시하였다. TMR 배합은 2006년 3월 3일 충북 음성에 위치한 B사료 공장에서 실시하였으며, TMR 배합비는 [표 5]에 제시한 바와 같다.

각 처리별로 제조된 TMR은 25kg 중량으로 25개 씩 제조되었으며 효소제 배합에 따른 후속 발효효과를 보고자 제조 후 2, 4, 6, 8일이 경과되었을 때 각각 대표성 있는 시료를 채취하여 일반 분석 및 *In Vitro* 소화율을 측정하였다. 시료채취, 일반성분 분석 및 *In Vitro* 소화율 실험방법은 실험용 소형사일리지 제조시험에서 실시한 방법에 준하여 실시하였다.

[표 5] 효소제 첨가 RSS TMR 배합비

	대소구	처리 1	처리 2
옥수수	12.8	12.5	12.2
단백피	8	7.8	7.6
소맥피	1	1.0	1.0
비트펄프	4	3.9	3.8
분쇄루핀	7.2	7.1	6.8
알팔파베일	8	7.8	7.6
RSS	13.5	13.2	12.8
클라인그라스건초	5	4.9	4.8
면 실	12	11.8	11.4
효모제	1	1.0	1.0
맥주박	21	20.6	20.0
장유박	2	2.0	1.9
보호지방	0.3	0.3	0.3
비타민제	0.4	0.4	0.4
생균제	0.8	0.8	0.8
석회석	0.9	0.9	0.9
식 염	0.1	0.1	0.1
당 밀	2	2.0	1.9
효소제	0	2.0	5.0
합 계 (%)	100.0	100.0	100.0

나. RSS의 혼합효율조사

TMR에 포함되는 조사료로서 RSS의 적합성을 알아보고자, 2005년 1월 21일 충북 음성군에 위치한 B사료 공장에서 TMR 제조효율에 관한 시험을 하였다. 2004년 10월 파주시에서 당밀과 생균제를 처리하여 제조된 RSS를 운한 다음, 프레스형 수직절단기(D농기계사 제조)를 이용하여 평

균 10cm길이로 절단하여 원료로 사용하였다. 기존의 관행 배합비를 대조구 TMR로 적용하고 원료 중 클라인그라스건초 대신 RSS를 각각 5% 및 10%(건물 기준) 수준으로 대체하였는바, 처리별 TMR 제조에 사용된 원료사료 및 배합비는 [표 6]에, 목표 영양소요구량은 [표 7]에 제시된 바와 같다.

[표 6] RSS 첨가 TMR 배합비

(%, 급여 기준)

원료명	공시 TMR 배합비		
	대조구	5% RSS	10% RSS
옥수수	13.9	12.8	12.8
단백피	8.0	8.0	8.0
소맥피	1.0	1.0	1.0
비트펄프	4.0	4.0	4.0
분쇄루핀	4.0	6.0	7.2
알팔파건초	8.0	8.0	8.0
RSS	0	6.7	13.5
클라인그라스건초	15.0	10.0	5.0
면 실	12.0	12.0	12.0
효모제	1.0	1.0	1.0
맥주박	26.8	24.0	21.0
장유박	2.0	2.0	2.0
당 밀	2.0	2.0	2.0
보호지방	0.1	0.3	0.3
비타민제	0.4	0.4	0.4
생균제	0.8	0.8	0.8
석회석	0.9	0.9	0.9
NaCl	0.1	0.1	0.1
합 계	100.0	100.0	100.0

[표 7] 공시 착유우용 TMR의 기준 영양소함량

(%, 급여 기준)

항 목	수분	조단백	조섬유	조회분	NEI* (cal/g)	NDF	ADF	TDN*
결 과	29.5	12.0	14.0	6.4	1,207.8	16.1	28.1	53.3

* 계산된 값임.

TMR 제조시 혼합의 균일도를 검정하기 위하여 NaCl를 표지물질로 하는 CV(Coefficient of Variance) Test를 실시하였는데, 대표성 있는 TMR 시료를 확보하여 NaCl 농도분석을 한국단미사료협회 연구실에 의뢰하였다. 또한 시료의 일부를 실험실로 옮겨서 일반 성분 및 NDF, ADF 분석을 실시하였는바 그 방법은 RSS 제조 시험에서와 동일하다.

다. RSS TMR의 입자도 분포 조사

축우용 TMR에 RSS를 혼합하였을 때 사료입자 크기 별 분포변화를 조사하기 위하여 3단으로 구성된 특수 체(Pennsylvania State Particle Size Separator)를 사용하였다. TMR배합기에서 배출된 TMR의 Bulk로부터 대표시료 300g을 계량 채취하여 상단체에 위치하고, 방향을 바꿔가며 5차례씩 2회 반복하여 흔들여 준 다음, 체에 담긴 내용물을 입자크기를 3개 범위(>19mm, 8~19mm, <8mm)로 구분하여 중량을 측정하였다.

라. RSS TMR의 *In Vivo* 소화율 검정

축우 농가에서 TMR 제조 이용에 RSS를 적극 보급하기 위해서는 RSS의 사료가치를 검정할 필요가 있는바, 이를 위한 기초연구로서 RSS를 포함하는 TMR의 *In Vivo* 소화율 검정시험을 실시하였다. 본 시험은 착유우용으로 제조된 TMR 2종(RSS 혼합률 5% 및 10%)에 대하여 2005년 8월 9일부터 2005년 8월 30일까지 총 22일간 경기도 남양주시 소재의 고려

대 부속목장에서 실시하였으며, 공시동물은 평균 체중은 330kg의 14개월령 Holstein 육성우 4두로 사료급여와 시료채취 등의 검정방법과 동물관리의 세부사항은 제 1차년도와 소화율 검정에서의 동일한 방식으로 수행하였다.

5. 착유우 및 비육우용 적정 TMR 모델 개발

가. 낙농용 TMR 배합비 2종에 대한 착유우 사양시험

RSS를 포함하는 TMR의 사양가치와 적정 배합비율을 결정하고자 젖소 착유우에 대한 급여시험을 2005년 6월 13일부터 2005년 9월 25일까지 총 105일간 경기도 남양주 소재의 고려대 부속목장에서 실시하였다. 공시동물은 2산차 이상의 Holstein 품종 착유우로서 산차 및 비유일수, 산유량 등을 기준으로 들로 구분하여 하여 I군(5% RSS TMR 급여구)과 II군(10% RSS TMR 급여구)에 각 12두 씩 배치하였다. 공시 TMR은 충북 음성군 소재의 B사료공장에서 전술한 TMR 혼합효율 조사시험에서의 마찬가지로 배합비와 배합방법으로 제조하여 주 1회 농장에 공급하였고, 본 비유시험에 들어가지 이전에 7일 간의 예비사양을 하였다. 시험 목장은 대두식 Free barn 형태로 하절기 고온 스트레스에 대비하여 선풍기가 가동되었다. 사료는 1일 2회 오전 7시와 오후 5시에 급여하였으며, 급수는 자유음수용 시설을 사용하였고, 기타 사양관리는 농장 관행에 준하였다. 목장의 사조 통로에 건습도 온도계와 최고최저 온도계를 설치하여 매일 오후 2시에 온도와 습도를, 오후 5시에 최고 및 최저 온도를 측정 기록하였다. 사료용 1일 2회 오전 7시와 오후 5시에 급여하였으며, 급여시 이전 급여사료의 잔량을 계측하고 주 1회 무게를 측정하여 섭취량 계산에 이용하였다. 시험기간 동안 착유는 일 2회, 오전 6시와 오후 5시에 실시되

었고 오전과 오후의 산유량을 합산하여 1일 산유량으로 하였다. I, II군은 실험 개시 후 매주 수요일의 오후 착유와 목요일의 오전 착유 시에 분석용 우유시료를 채취하여 4℃에서 냉장처리한 후, 아이스박스를 이용하여 한국종축개량협회 유우개량부에 유단백, 유지방, 유당, 무지고형분, 세균수, 우유중 요소태 질소(MUN: Milk Urea Nitrogen) 등의 유성분 분석을 의뢰하였으며, 분석에는 유성분자동분석장치(Combi-Foss-6000, USA)가 사용되었다.

나. 낙농용 TMR의 경제성 분석

본 젖소사양시험에 공시된 TMR 배합모델과 시험에서 얻어진 산유성적을 바탕으로 경제성을 분석하였는데, 이때 사료와 우유 모두 시가를 적용하였다.

다. 거세한우 비육용 TMR 모델 개발을 위한 사양시험

그동안 건조 벼짚은 비육용 조사료로 많이 사용되었고, 또한 최근에는 국내에서도 비육에 TMR사양을 도입한 농가가 증가하는 경향이 있는바, RSS를 주 조사료원으로 하는 육우용 TMR을 개발하기 위하여 거세한우에 대한 사양시험을 실시하였다. 비육시험은 충북 충주시 소재의 충주축산농협 한우목장에서 2005년 9월 9일부터 2005년 12월 19일까지 총 102일간 수행되었다. 공시사료는 충북 음성군 소재의 B사료 공장에서 배합된 TMR을 이용하였으며, 그 제조는 혼합효율 조사 시험에 준하여 실시하였다. 공시축들은 비육 말기의 거세 한우 24두로 각 8두씩 3개 군으로 임의 배치 하였다. I 군은 농장 관행을 바꾸지 아니하고 기존에 급여해 온 건조벼짚과 농후사료를, II 군은 건조벼짚을 조사료원으로 제조한 비육용 TMR을, III 군은 RSS가 조사료원인 TMR을 급여하였다. 급여는 오전 8시

와 오후 5시, 하루 2회 급여되었으며 시험기간 동안 급여량은 매일 측정하였고, 매 2주에 1회씩 오후 사료급여 직전에 사료 잔량을 거두어 무게를 측정하고 시료를 채취하여 이를 바탕으로 사료섭취량을 계산하였다. 사료 시료는 역시 매 2주 간격으로 1회 사료 잔량을 수거한 다음, 오후 사료를 급여할 때 채취하였다. 사양시험 현장에 공급된 TMR의 배합비는 [표 8]에, 목표 영양소요구량은 [표 9]에 제시하였다.

[표 8] 비육우용 공시 TMR의 배합비

(%, 급여 기준)

원료명	건조넷질 TMR	RSS TMR
옥수수후레이크	38.0	38.0
단백피	10.0	10.0
소맥피	5.2	5.2
비트펄프	2.0	2.0
면실	3.0	3.0
맥주박	15.0	15.0
루핀	6.0	6.0
당밀	2.0	2.0
효모제	3.0	3.0
건조넷질	7.7	-
RSS	-	10.0
석회석	1.0	1.0
물	6.5	4.2
식염	0.2	0.2
생균제	0.2	0.2
비타민광물제	0.2	0.2
합계	100.0	100.0

[표 9] 거세한우 비육용 공시 TMR의 기준 영양소합량

(%, 급여 기준)

항 목	수분	조단백	조섬유	조회분	NEM* (cal/g)	NEg* (cal/g)	NOF	ADF	TDN*
결 과	29.9	9.7	7.4	4.5	1,339.9	877.2	8.7	18.4	56.3

* 계산된 값임.

시험 목장은 Feedlot 형태로, 급수는 자유음수용 시설을 이용하였으며, 기타 사양관리는 농장 관행에 준하였다. 공시축들의 체중은 시험 개시 전, 개시 후 43일, 종료 직후 등 총 3회를 오후 사료 급여 직전에 측정하였으며, 이를 이용하여 일당 증체량, 사료효율 등을 계산하였다. 도축 후에는 등지방 두께, 등심 단면적, 도체중 등 육량에 관한 사항과 근내 지방, 육색, 지방색, 조직감, 성숙도 등 육질에 관한 사항도 조사되었다.

라. 비육용 TMR의 경제성 분석

비육말기 한우사양시험에 공시된 TMR 배합모델과 시험에서 얻어진 증체성적과 판정된 육등급 성적을 바탕으로 경제성을 분석하였다.

제 2 절 연구결과 및 고찰

1. RSS 제조단계에서의 품질 개선방법 개발

가. 재료의 절단이 제품의 품질에 미치는 효과

식물체는 그 구조를 유지하기 위하여 끊임없이 조직 내에 구조탄수화물에 해당하는 섬유질 구성물질(Cell Wall Constituents)을 합성하는데, 이러한 합성작용은 열매(종실)를 맺을 당시에 줄기의 강도를 유지하기 위하여 극단에 달한다. 식물조직을 구성하는 성분 중 전분이나 단순당과 같은 수

용성 탄수화물은 소화가 가능한 부분이지만, 식물체 성장의 마지막 단계에는 소화가능한 성분은 감소하는 반면 불용성 탄수화물을 비롯한 소화가 어렵거나 불가능한 성분의 합성이 증가한다. 여기에는 Cellulose, Hemicellulose, Lignin, Cutin, Tannin, Polyphenol류, 그리고 Silica 등이 해당되는데, 이 중에서 소화가 가능한 부분은 Cellulose와 Hemicellulose 뿐이다(Van Soest, 1994). 따라서 벼짚은 생육이 말기까지 도달한 식물체인 만큼, 사료로 이용하기 위해서는 줄기와 잎부분에 포함된 수용성 탄수화물의 이용율이 100%에 도달하도록 함과 동시에, 구조탄수화물의 주류를 이루는 Cellulose와 Hemicellulose를 미생물 작용에 의하여 최대한으로 분해시킴으로써 전체적인 이용율(Bioavailability)을 극대화 하는 수밖에 없다. 그러나 이 두 가지 고분자 탄수화물은 형태학적으로 섬유모양을 하면서 다른 성분들과 서로 많은 수소결합을 이루고 있어, 이를 분해하려면 섬유질 분해능력을 갖는 각종 미생물 효소가 협조적으로 작용할 수 있는 여건이 마련되어야 한다. 예를 들어 식물조직의 섬유소(Cellulose)는 비정형 부위(Amorphous region), 그리고 정형 부위(Morphous region)이더라도 종축의 반대쪽 끝, 즉 절단부위가 미생물이 자체 효소들을 이용하여 공격하기 쉬운 부위라는 사실이 지금까지의 많은 연구를 통하여 알려진 바 있으며, 궁극적으로 동물이 사료를 섭취하더라도 저질조사료일수록 절단이나 분쇄에 의하여 입자도를 적게 함으로써 단위 섭취량 당 표면적이 증가하고 발효율은 증가한다(Faichney, 1986).

실제로, 재료 생벚짚이 10cm 길이로 절단된 상태에서 곤포로 제조된 사일리지는 비절단 재료로 만들어진 사일리지에 비하여 발효효율이 더 높음이 관찰되었다. [표 10]에서 보는 바와 같이, 생벚짚 재료를 곤포제조 직전에 절단하여 제조한 제품의 경우 일반 영양소 함량은 커다란 차이가 없었으나, 유기산총량(TOA)와 pH에 있어서는 재료절단에 의하여 제조된

사일리지의 경우 더 높은 농도의 유기산이 생성되었고, pH 역시 낮은 값을 보임으로써 발효효율 측면에서 더 우수한 효과를 입증하였다.

[표 10] 재료의 절단에 따른 RSS의 영양소 농도(%) 및 pH 비교

(2004. 10; 고양시)

처리 방법	건물	조단백	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾	TOA ⁴⁾	pH
비절단	47.45	4.95	71.95	43.88	5.41	2.25	6.05
10cm 절단 시	43.77	5.16	70.73	42.30	6.50	5.40	5.11

1) 중성세제불용성섬유 2) 산성세제불용성섬유 3) 비섬유성탄수화물 4) 총유기산(mM)

따라서 제조된 곤포 내에서의 발효일지라도 역시 섬유상의 벧짚이 효과적으로 분해되려면 일차적으로 재료를 절단하여 입자크기를 작게 함으로써 미생물 효소의 공격이 용이하도록 노출부위를 늘리는 것은 좋은 효과를 낼 수 있다. 이와 같이 재료단계에서 생벧짚을 절단하는 의미의 또 한 가지는 완성된 사료를 개봉 급여하는 단계에서 더 이상 절단이 필요 없고 손실도 줄어들며, TMR 등의 원료로 혼합하기에도 취급이 훨씬 용이해진다는 데 있다.

본 연구에서 사용된 절단기술의 일차적 핵심은 벧수확 작업에 들어가기 이전에 수확기(컴바인)의 내부체인에 부착된 세절용 날을 하나씩 교대로 제거하는 것으로, 날과 날의 간격을 10cm로 조절하여 벧을 예취함으로써 생벧짚은 일정 길이로 절단되면서 컴바인으로부터 방출된다. 이때 컴바인 하단에 돌출되어 작동하는 절단용 날을 지상으로부터 약 15cm 이상으로 이격하여 예취작업을 함으로써, 약 10cm 길이로 절단된 벧짚은 지상에 남아있는 밑부분의 절단면 상부에 얹혀져 곤포기의 집초작업 시에 기계 내로 어렵지 않게 진입한다. 여기서 당연하고도 중요한 사항은, 원형곤포의 두루마리 작업이 끝나고 곤포의 형태를 마무리 짓는 단계에서 마감재

로 나일론 끈(string)이 아닌 망(net)을 사용해야 한다는 것이다. 실제로 망으로 끈포의 마감처리를 하면 끈을 사용할 때에 비하여 끈포내용물의 밀도와 모양을 제대로 유지하는데도 효과적임이 관찰되었다. 이러한 새로운 제조기술을 도입할 경우, 레이크의 집초기능에 있어서도 별 지장이 없이 약 80% 이상을 수거할 수 있음이 현장에서 확인되었다. 결과적으로는 전체의 수거율을 추정한 결과, 생산되는 생뽕짚 전량의 약 80%가 수거되고 남은 부분은 논토양으로 환원됨으로써 이른 봄 씨레질 작업 시에 그대로 유기질 비료로 이용될 수가 있었다. 한편, 이와 같은 가능성과 유용성에도 불구하고 재료의 절단에 의한 RSS 제조기술을 실제로 널리 보급하는 데는 현실적으로 한계성이 있음이 노출되었는바, 이는 대부분의 경우 생뽕짚 제공자인 논 소유주와 RSS의 제조자가 동일하지 않다는 사실에서 비롯된다. 즉 콤바인의 소유주는 대부분 논 소유주인 관계로, 콤바인의 낱을 제거하고 부착하는 작업이 다소 번거로운 작업이라서 이를 기피하려 한다는 데에 애로사항이 발생하고 있는 것이다.

나. 발효촉진용 첨가물의 응용효과

보다 적극적으로 수입 화분과 건초(또는 짚)를 대체할 수 있도록 RSS를 축우용 조사료로 도입될 수 있으려면 우선적으로 그 영양적 가치를 최대한 높이지 않으면 안된다. 이러한 목적을 위하여 기존에 각종 사료작물의 사일리지를 제조하는 데 관행적으로 사용되어 온 첨가물들 중 상당종류는 생뽕짚의 발효에도 마찬가지로 응용할 수가 있을 것이다. 발효기질로서 생뽕짚이 지닌 특성 중 하나는 가용성 당의 농도가 낮다는 점인데, 끈포제조기에 부착된 첨가액 탱크에 첨가용액을 보충시켜 작업 중에 분무를 함으로써 젖산균의 증식을 돕는다는 것이 본 시험연구의 기본목적이다. 각종 첨가물의 종류별 응용효과를 비교 조사하고 적정 첨가수준을

결정하기 위하여 실시된 제 1차년도 연구에서 실시한 첨가물 응용의 방법과 효과를 기술하면 다음과 같다.

1) 수용성 성분 보충 및/또는 생균제 첨가효과

제조시험을 실시한 파주시 현장의 논은 벼수확이 늦어진 데다가 작업 당일 풍속이 높았던 관계로 재료의 수분농도는 정상보다 많이 낮았고(예: 논A), 논의 위치에 따른 변이도 심하였다[표 11]. 발효미생물의 먹이가 되는 수용성 탄수화물 원료로 당밀(K화학 제품)을, 그리고 질소 공급원인 요소를 보충시켜 발효효율을 높이는 것을 목적으로, 생볏짚 중량의 4% 수준으로 당밀을 첨가하거나, 여기에 재료의 0.3% 수준으로 요소를 따스한 지하수에 용해시켜 분무하였다. 만 60일 경과 후 파주시 논A에서 제조된 RSS는 [표 12]에서 보는 바와 같이 대체로 수분의 함량은 상당히 적고 반대로 pH는 상당히 높은 제품이 생산되었으며, 당밀에 생균제를 혼합 시용한 처리구에서 pH, 젖산농도, NDF 및 NFC 함량 면에서 유의적 차이를 보여 가장 우수한 품질이 얻어졌다($P<.05$)[표 13].

[표 11] 원료볏짚의 건물 함량 및 일반 성분 조성

(%, 건물 기준)

논*	건물	조단백	조회분	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
A	77.33 ±1.48 ^a	4.52 ±0.06 ^b	12.21 ±0.06 ^a	67.07 ±0.23 ^b	34.13 ±0.63 ^c	14.62 ±0.37 ^{ab}
B	66.62 ±4.25 ^b	4.56 ±0.36 ^b	9.33 ±0.37 ^b	69.28 ±1.23 ^a	39.68 ±0.99 ^b	16.35 ±0.29 ^a
C	50.57 ±0.46 ^c	5.20 ±0.04 ^a	12.81 ±0.02 ^a	69.34 ±0.90 ^a	44.11 ±0.32 ^a	11.46 ±0.42 ^b

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

a, b, c 평균 ± 표준편차, 반복수=3, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함($p<.05$).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. 파주시.

[표 12] 첨가물 처리가 RSS의 건물, pH 및 젖산 농도에 미치는 효과

처리*	건물(%)	pH	젖산**
대조구	77.15±2.33 ^c	6.49±0.12 ^a	0.62±0.02 ^c
당밀	77.49±1.24 ^{bc}	6.07±0.10 ^c	1.28±0.06 ^a
생균제	80.33±0.64 ^a	6.25±0.06 ^b	1.09±0.05 ^b
당밀 + 생균제	79.03±1.37 ^{ab}	5.95±0.12 ^c	1.34±0.09 ^a

a, b, c 평균 ± 표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. / 파주 논A.

** 시료 용액 L당 젖산 농도 %.

[표 13] 첨가물 처리가 RSS의 일반 성분 농도에 미치는 효과

(%, 건물 기준)

처리*	조단백	조회분	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
대조구	4.09 ±0.22 ^b	12.51 ±0.68 ^b	66.51 ±1.14 ^{ab}	34.52 ±0.28 ^b	16.02 ±1.85 ^a
당밀	3.85 ±0.15 ^b	13.26 ±0.08 ^a	65.93 ±1.34 ^b	34.19 ±1.36 ^b	15.78 ±1.46 ^{ab}
생균제	4.53 ±0.42 ^a	13.22 ±0.87 ^a	67.70 ±0.68 ^a	36.99 ±1.46 ^a	13.57 ±1.00 ^b
당밀 + 생균제	4.48 ±0.13 ^a	13.63 ±0.08 ^a	63.19 ±1.90 ^c	32.07 ±1.44 ^c	17.48 ±2.26 ^a

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

a, b, c, d 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. / 파주 논A.

동일한 날 파주시 논B에서 제조된 RSS의 발효 결과 [표 14]에서 보는 바와 같이 수분 농도 35~39%의 제품이 만들어졌는데, 당밀에 요소를 포함시켜 생균제를 분무한 제품에서는 NFC 농도에 유의적인 차이가 없었음에도 불구하고, 오히려 pH가 높고 젖산과 유기산의 생성은 유의적으로 낮은 것으로 나타나($P < .05$), 생균제를 첨가할 때 수용성 당 공급원만을 발효용 기질로 보충한 효과가 더 우수할 수 있음을 보여주었다. 제품의 일반성분을 보면, 비단백태질소화합물(NPN)의 보충효과를 보여주었다. 생균제를 당밀+요소와 함께 응용하였을 때 조단백질 농도는 요소 처리로 유의적으로 더 높게 나타났다[표 15]. 대체로 당밀 또는 당밀과 함께 생균제를 처리하여 발효시킨 사일리지의 젖산농도는 약 50~60%, pH는 0.8~1단위, 건물소화율은 약 12~20% 정도 향상시키는 효과가 있었는데, 실제로 젖소에 급여할 경우 무처리 사일리지에 비하여 첨가물을 처리함으로써 사일리지의 기호성이 크게 향상됨이 양축가의 설문반응에서도 공통된 결론이었다. 이 경우, 논B에서 관찰된 바와 같이, 요소의 농도를 너무 높이는 경우에는 pH의 증가를 가져와 젖산발효를 오히려 저하시킬 수 있음이 확인되었다. 공시한 사일리지용 생균제(이노쿨란트)의 경우 균종은 *Lactobacillus Plantarum*으로, 국내에서 유통되는 제품(C사)을 권장 첨가기준에 맞추어 곤포제조 직전 재료에 분무하였다. 흔히 생균제의 첨가는 발효초기에 기존의 재료에 서식하는 각종 부패성 미생물을 억제하면서 조기에 많은 집락이 형성되도록 촉진시키는 효과를 줄 것이다. 생균제를 분무하면 젖산의 농도와 pH의 개선은 물론이지만, 단독 분무하는 경우에 비해 당밀과 혼용함으로써 기호성과 섭취량을 더 높일 수 있었다.

[표 14] 첨가물 처리가 RSS의 건물, pH 및 젖산, 총유기산(TOA) 농도에 미치는 효과

처리*	건물(%)	pH	젖산**	총유기산
대조구	66.90 ± 2.33 ^a	6.33 ± 0.06 ^b	0.88 ± 0.27 ^d	20.07 ± 1.04 ^a
당밀	65.81 ± 1.12 ^a	6.26 ± 0.04 ^b	1.17 ± 0.06 ^c	21.06 ± 1.23 ^a
생균제	66.68 ± 0.85 ^a	5.88 ± 0.14 ^c	1.34 ± 0.11 ^b	20.17 ± 1.66 ^a
당밀 + 생균제	61.45 ± 0.69 ^b	5.17 ± 0.16 ^d	1.64 ± 0.10 ^a	25.56 ± 1.46 ^a
당밀 + 요소 + 생균제	61.19 ± 0.78 ^b	6.68 ± 0.04 ^a	0.58 ± 0.02 ^e	7.52 ± 0.11 ^b

a, b, c, d, e 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. / 파주 논B.

** 시료 용액 L당 젖산 농도 %.

[표 15] 첨가물 처리가 RSS의 일반성분 농도에 미치는 효과 (% , 건물 기준)

처리*	조단백	조회분**	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
대조구	4.60 ± 0.09 ^c	11.10 ± 0.89 ^a	68.44 ± 0.63 ^a	34.89 ± 0.88 ^a	14.80 ± 1.03 ^a
당밀	5.30 ± 0.26 ^a	11.28 ± 0.52 ^a	66.92 ± 0.50 ^{bc}	33.50 ± 1.19 ^{bc}	15.48 ± 0.78 ^a
생균제	5.03 ± 0.33 ^b	11.57 ± 0.66 ^a	68.92 ± 0.8 ^{ab}	35.31 ± 0.96 ^a	14.57 ± 3.14 ^a
당밀 + 생균제	4.98 ± 0.25 ^b	11.34 ± 0.04 ^a	68.24 ± 0.81 ^{ab}	34.49 ± 0.68 ^{ab}	14.56 ± 1.38 ^a
당밀 + 요소 + 생균제	5.39 ± 0.10 ^a	10.92 ± 0.09 ^a	66.62 ± 0.49 ^c	32.65 ± 0.31 ^c	16.16 ± 0.29 ^a

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물
a, b, c 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. / 파주 논B.

[표 16]은 당밀, 요소, 생균제의 첨가물 조합이 *In Vitro* 소화율에 미치는 효과를 보여주고 있다. 파주 논A에서 제조된 RSS에서는 생균제만을 처리한 경우가 가장 건물소화율이 높게 나타났으나, 유기물소화율에 있어서는 당밀 또는 당밀과 생균제를 조합한 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다($P<.05$). 이러한 경향은 남양주 논A에서 제조된 소형 사일로 사일리지에서도 나타나[표 17], 수용성 당의 첨가가 유기물의 소화를 돕는 것을 암시한다.

[표 16] 각종 첨가물 처리가 RSS의 *In Vitro* 소화율에 미치는 효과

처리*	건물 소화율 (%)	유기물 소화율 (%)
대조구	58.34±1.51 ^b	29.35±1.48 ^a
당밀	57.31±1.85 ^b	30.19±1.78 ^a
생균제	60.56±0.62 ^a	27.44±0.75 ^b
당밀+생균제	57.92±1.13 ^b	30.41±1.26 ^a

a, b 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함($p<.05$).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21/ 파주 논A

[표 17] 각종 첨가물 처리가 소형 사일리지의 *In Vitro* 소화율에 미치는 효과

처리*	건물 소화율 (%)	유기물 소화율 (%)
대조구	65.35±0.65 ^b	24.33±1.88 ^b
당밀	62.31±0.96 ^d	26.42±1.28 ^a
생균제	67.52±0.26 ^a	20.52±0.62 ^c
당밀 + 생균제	61.09±0.61 ^e	26.36±0.93 ^a
당밀+요소+생균제	63.31±0.42 ^c	24.79±0.48 ^b

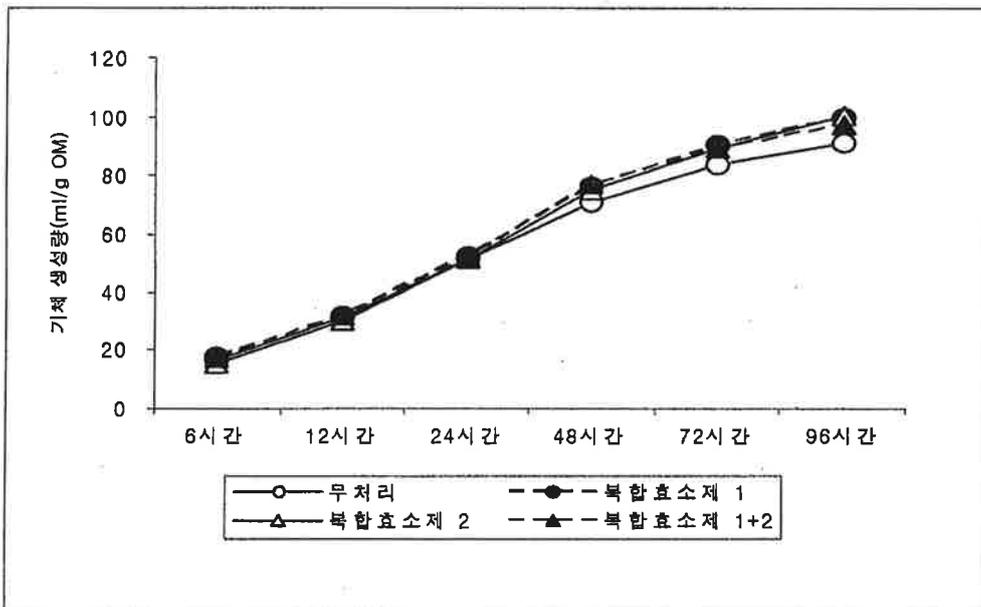
a, b, c, d, e 평균 ± 표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함($p<.05$).

* 수확 및 제조: 2004. 10. 24 / 남양주 논A

2) 효소제 첨가

가) 복합효소제의 생뱃짚 분해능력 검증

우수한 품질의 RSS를 제조하기 위한 첨가물로 복합섬유질분해효소제가 어느 정도 적합한지를 일차적으로 타진하기 위하여 실시한 *In Vitro* 실험 결과를 정리하면 다음과 같다. [그림 1]에서 보는 바와 같이, 배양과정에서 발생하는 기체의 양은 가용성 탄수화물의 양과 비례하는바, 본 실험에서 기체생성량은 배양시간이 경과하면서 증가하는 경향을 보였지만, 생뱃짚 시료에 대한 효소제의 처리는 공시 효소제의 종류에 관계없이 첨가하지 않은 대조구에 비하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>.05$).



[그림 1] 효소제 처리가 RSS의 *In Vitro* 배양 시 기체생성량에 미치는 효과

한편, 배양 시작 후 가장 빠른 분해를 보였던 12시간과 48시간에 채취한 배양액의 휘발성지방산(VFA)의 농도를 분석해 본 결과[표 18], 48시간의 배양은 12시간까지의 배양에 비하여 총휘발성지방산의 농도를 34~41%의 수준으로 증가시켰다. 즉 시료 g당 5mg 수준의 효소제 첨가로 반추위액에 의한 생분해의 분해는 배양시간의 경과와 함께 상당한 증가를 보여주었는바, 주요 휘발성지방산인 초산, 프로피온산 및 낙산의 농도는 배양 12시간 후의 대조구에 비하여 각각 약 35%, 63% 및 53%의 증가를 보였다.

[표 18] 효소제 첨가에 따른 휘발성지방산 농도의 변화

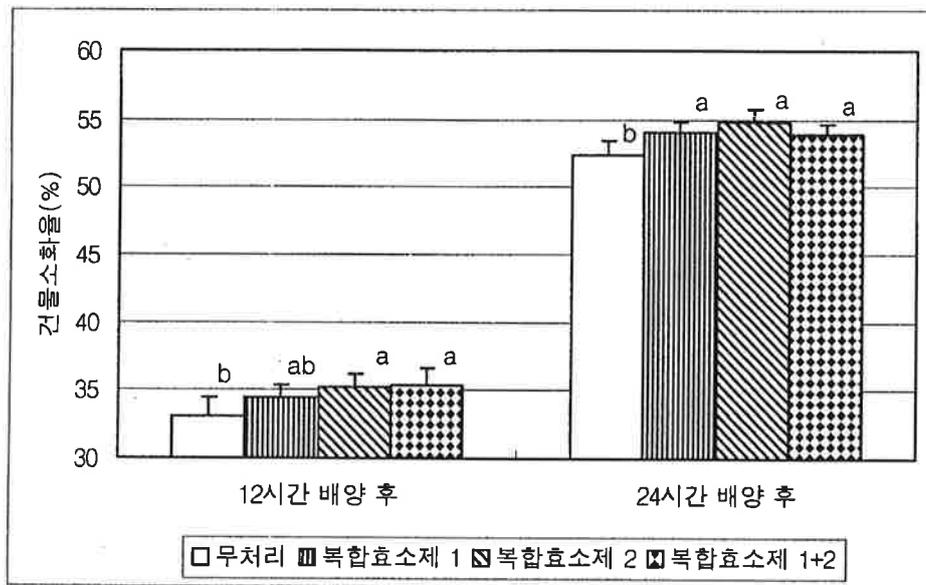
(Mol/100 Mol)					
구 분	대조구	복합효소제 1	복합효소제 2	복합효소제 1+2	P 값
12 시간 배양					
총휘발성지방산	95.12±1.07	97.12±0.93	94.11±0.93	96.33±0.93	0.19
초산	60.04±0.57	60.24±0.49	58.88±0.49	59.58±0.49	0.20
프로피온산	17.19±0.33	17.50±0.29	17.11±0.29	17.56±0.29	0.65
낙산	10.53±0.2 ^a	11.51±0.18 ^b	10.63±0.18 ^a	11.27±0.18 ^{ab}	0.01
48 시간 배양					
총휘발성지방산	127.41±1.75	129.60±1.52	132.60±1.52	134.00±1.51	0.06
초산	75.52±0.74 ^a	80.31±0.64 ^b	80.57±0.64 ^b	80.74±0.64 ^b	0.00
프로피온산	27.28±0.59	26.88±0.51	28.06±0.51	27.73±0.51	0.45
낙산	15.38±0.48 ^{ab}	14.17±0.42 ^a	15.01±0.42 ^{ac}	16.07±0.42 ^{b^c}	0.04

평균±표준편차, 반복수=4

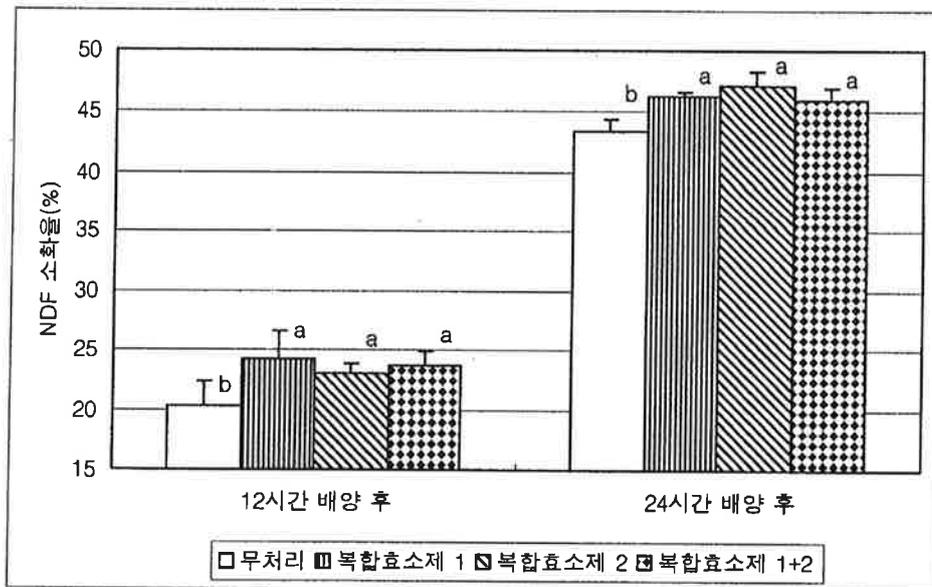
^{a,b,ab,c} 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함 (P<.05).

한편, *In Vitro* 배양과정에서 첨가한 효소제가 생볏짚의 건물(DM) 소화율에 미치는 효과를 보면[그림 2], 효소제 처리에 관계없이 배양 시작 후 24시간이 경과하였을 때 건물의 약 50% 이상이 분해되었다. 공시한 2종 효소제 및 두 효소제의 복합처리는 무처리 시에 비해 배양 12시간 및 24시간에 공히 소화율 상승을 보여 통계적 유의차를 나타냈으며($P < .05$), 이러한 경향은 중성세제불용성섬유(NDF) 및 산성세제불용성섬유(ADF)의 분해율에 있어서도 유사하게 나타났다[그림 3][그림 4]. 하지만 배양시간을 96시간까지 연장하였을 때에는 NDF와 ADF 공히 처리구 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > .05$). 실제로 볏짚은 높은 NDF와 ADF 농도, 그리고 소화를 방해하는 높은 규산 농도로 인하여 반추위 내 체류시간은 상당히 지연될 수 있는바, 전체적으로 효소제의 응용은 *In Vitro* 배양과정에서 두드러진 분해를 보여주지 않았다. 유사한 성격의 기존 연구 결과를 살펴보면, Meeske 등(2002)은 조사료용 연맥을 이용한 원형곤포사일리지를 제조함에 있어서 Cellulase, Hemicellulase 및 Amylase를 포함하는 젖산균제를 첨가하고 *In Vitro* 소화율 분석과 젖소사양 시험을 실시하였는바, *In Vitro*로 측정된 제조된 사일리지의 유기물(OM)과 조단백질(CP)의 소화율 뿐만 아니라, 중성세제불용성섬유(NDF)와 산성세제불용성섬유(ADF)의 분해율이 개선되는 효과를 발견하지 못하였다. 배양액 중의 낙산농도는 유의적으로($P < .05$) 감소하는 경향을 보였으며, 젖소 급여시험에서는 첨가물 처리를 하여 제조된 연맥 곤포사일리지를 급여한 우군에서 약 1kg의 산유량 증가효과와 우유중요소태질소(MUN)가 유의적으로 감소($P < .01$)하는 것을 관찰하였다고 보고하였다. 효소제 처리수준을 낮추어 제조사 측의 권장농도인 시료 건물 g 당 1.5ul의 수준으로 복합효소제를 첨가하여 배양시간별 건물분해율을 측정해 본 결과에 의하면[표 19], 효소제를 첨가하지 않은 대조구의 경우에는 48시간 경과 후 약 50% 이상, 그리고 96시간의 배양으로 거의 2배에 가까운 수준을 보였음에도 불구하고

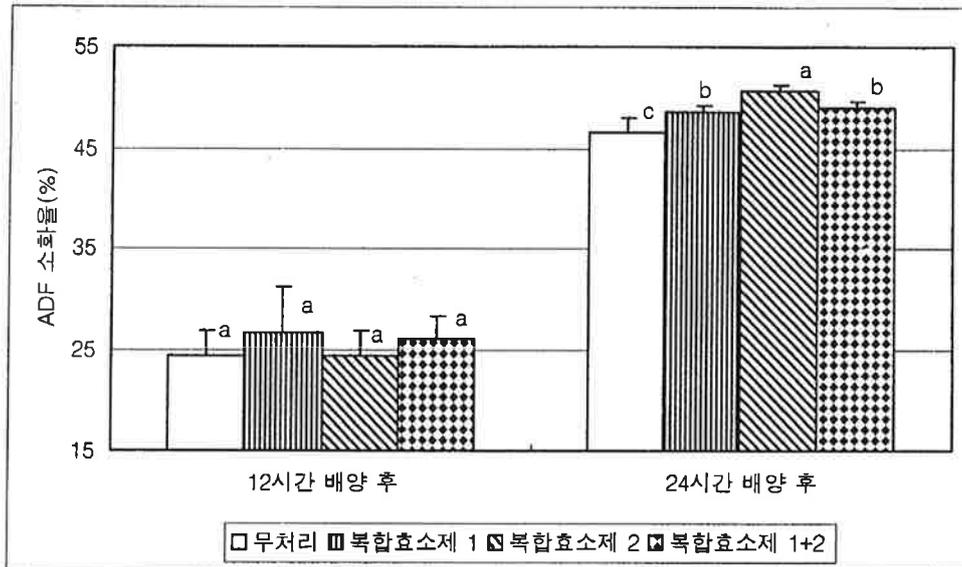
고 공시한 복합효소제의 처리는 무처리(대조)구에 비하여 거의 차이를 보이지 않았다.



[그림 2] 효소제 첨가 및 배양시간에 따른 RSS의 건물 소화율 변화



[그림 3] 효소제 첨가 및 배양시간에 따른 RSS의 NDF 소화율 변화



[그림 4] 효소제 첨가 및 배양시간에 따른 RSS의 ADF 소화율 변화

[표 19] 효소제 처리에 따른 RSS의 건물분해율 변화

(g/kg)

처 리*	배양시간(h)				
	12	24	48	72	96
무처리	342.6	446.5	528.5	585.8	604.4
복합효소제 A	339.9	454.4	538.3	581.7	604.2
복합효소제 B	344.6	449.9	548.5	591.9	606.4
복합효소제 A+B	351.6	455.3	542.5	588.0	598.1

* 무처리: 효소제 무첨가 복합효소제 1, 2: 시료 건물 g 당 1.5ul의 복합 효소제 첨가 ; 복합효소제 1+2: 복합효소제 1과 2를 1:1로 혼합하여 시료 건물 1g당 1.5ul씩 첨가. 반복수= 4.

이는 섬유질 구성성분인 NDF와 ADF의 분해효과상으로도 반영되어 [표 20]에 제시된 바와 같이, 배양시간에 관계없이 공시한 복합효소제는 별다른 분해력을 보여주지 못하였다. 이 실험에 적용한 효소제의 권장수준이 효과를 나타내지 못한 이유에는, 기질로 이용된 볏짚의 물리화학적 특징도 작용하겠지만 배양조건이 실제 가축사료에 첨가하였을 때 적용되는 환경과 차이가 있기 때문으로도 볼 수 있다. 이러한 사실은 실제로 RSS를 제조한 현장시험의 결과에서 나타났으며, 결론적으로 공시 복합효소제들이 경제성을 갖기 위해서는 가격에 상대적인 역가의 제고가 중요함을 암시하는 것이다.

[표 20] 효소제 처리에 따른 RSS의 섬유질 소화율 변화

처리	배양시간(h)				
	12	24	48	72	96
NDF, g/kg					
무처리	209.8	336.4	436.8	526.7	541.7
복합효소제 A	227.0	356.8	459.9	521.5	538.5
복합효소제 B	225.0	349.4	471.9	52.51	545.5
복합효소제 A+B	243.6	344.8	464.7	525.2	543.4
ADF, g/kg					
무처리	247.7	367.4	467.6	552.1	569.4
복합효소제 A	258.3	383.0	485.3	549.9	568.4
복합효소제 B	263.3	378.2	497.2	552.3	572.4
복합효소제 A+B	276.7	373.4	492.0	555.5	571.8

나) 복합효소제를 첨가한 RSS 제조

실제로 복합효소제의 응용이 발효기질인 생볏짚 내 불용성탄수화물의 분해를 촉진시켜 발효효율을 높이는 데 도움을 주는지를 RSS 제조현장에서 검증하기 위하여 경기도 파주시의 논C에서는 재료 생볏짚에 효소제를 분무 첨가하는 시험을 하였다. 공시한 효소제는 *In Vitro* 실험을 통하여 가장 우수할 것으로 추정되었던 D사 제품의 반추동물 사료용 액상 복합효소제(R2)로, 섬유소분해효소를 비롯한 3종 이상의 불용성탄수화물 분해효소가 포함되어 있다. 제조 후 60일이 경과하여 완성된 제품을 분석한 결과는 [표 21] 및 [표 22]에서 보는 바와 같다. 효소제의 응용은 발효제품의 pH를 다소 낮추고 젖산 농도를 높이는 효과를 주었음에도 불구하고 NDF나 ADF 농도에는 전혀 변화를 주지 못하는 것으로 나타났다. 하지만, 생볏짚을 10cm 길이로 절단하여 소형사일로에 제조한 RSS에서는 젖산 농도나 pH면에서 보다 두드러진 효과를 보여주었는데[표 23], 실제로 젖산의 생성을 가져온 기질은 수용성 당류(첨가 당밀 포함)로서, 복합효소제의 기질인 불용성탄수화물(섬유질 성분)과는 거리가 멀어 효소의 성격상 직접적으로 영향을 주었다고 보기가 어렵다. 나타난 첨가효과는 주로 높은 수준의 농도로 처리한 경우에 나타났으며, 대체로 발효된 제품의 영양소조성이나 소화율 면에서 볼 때 개선효과는 기대치만큼 높지 않았다. 그 이유는 재료의 특성이나 곤포 내부의 환경이 효소들이 활성을 발휘하기에 적합하지 못하였던 탓으로 판단되며, 따라서 아주 고농도로 처리한 시험구에서만 효과가 나타난다는 점을 감안할 때 경제성 면에서 보더라도 RSS의 제조과정에 응용하기는 어려울 것으로 사료된다.

[표 21] 복합효소제 첨가수준에 따른 RSS의 건물, pH 및 젖산 농도

처리 ^a	건물(%)	pH	젖산(%) ^{**}
E0	50.34 ± 0.45 ^b	6.03 ± 0.27 ^a	0.64 ± 0.03 ^c
E2	48.63 ± 1.03 ^c	5.56 ± 0.11 ^c	0.67 ± 0.01 ^c
E10	45.17 ± 0.94 ^d	5.56 ± 0.30 ^c	0.93 ± 0.12 ^a
E20	51.69 ± 1.36 ^a	5.78 ± 0.13 ^b	0.85 ± 0.11 ^b

a, b, c, d 평균 ± 표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. / 파주 논C.

** 시료 용액 L당 젖산 농도 %.

[표 22] 복합효소제 첨가수준에 따른 RSS의 일반성분 조성

(%, 건물 기준)

처리 ^a	조단백	조회분	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
E0	5.67 ± 0.06 ^a	18.19 ± 0.07 ^a	67.18 ± 0.03 ^b	44.05 ± 0.19 ^a	7.66 ± 0.16 ^c
E2	5.75 ± 0.05 ^a	15.76 ± 0.03 ^c	68.54 ± 0.49 ^a	42.46 ± 0.01 ^b	8.65 ± 0.34 ^b
E10	6.58 ± 0.04 ^c	16.43 ± 0.06 ^b	67.31 ± 0.20 ^b	42.35 ± 0.47 ^b	9.73 ± 0.24 ^a
E20	5.41 ± 0.05 ^b	15.66 ± 0.05 ^d	68.82 ± 0.14 ^a	44.11 ± 0.32 ^a	8.61 ± 0.27 ^b

1) NDF: 중성세제불용성섬유 2) ADF: 산성세제불용성섬유 3) NFC: 비섬유성탄수화물

a, b, c, d 평균 ± 표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. 파주 논C.

[표 23] 복합효소제 처리수준 별 건물, 젖산농도 및 pH 비교

(소형사일로, 2004. 10; 남양주)

처리*	건물 (%)	젖산 (%)	pH
E0	33.58±2.04 ^a	0.66±0.02 ^c	5.35±0.24 ^a
E0.5	32.74±1.92 ^{ab}	0.68±0.02 ^c	5.23±0.07 ^a
E1	31.01±1.30 ^b	0.68±0.02 ^c	5.28±0.15 ^a
E2	31.61±1.53 ^b	0.99±0.24 ^b	5.04±0.09 ^b
E10	30.92±1.83 ^b	1.32±0.21 ^a	4.81±0.16 ^c

a, b, c, d 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 21. E: 효소제 처리수준.

3) 물 첨가

RSS 제조와 관련된 실험을 수행하는 과정에서 제품의 품질에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 재료 자체의 수분이었다. 따라서 실제로 적정 수분농도 65%를 기준으로 수분함량이 이에 미달되는 재료벚짚의 경우, 곤포제조 직전에 지하수를 분무하였을 때 제품의 소화율 개선정도를 관찰하기 위하여 2005년 가을에 실시한 RSS 제조시험에서는 재료중량을 기준으로 15%의 물을 첨가하는 처리구를 두었다. 이때 재료 생벚짚의 수분농도는 약 49.3%였는데[표 24], 물을 첨가한 처리구의 제품은, 비록 통계적 유의성은 나타나지 않았지만(P>.05), 무첨가구에 비해 발효특성 면에서 더 우수함을 보여[표 25] 재료의 수분농도가 발효와 제품의 영양적 효과에 영향을 주는 매우 중요한 요인이 될 수 있음이 입증되었다. 실제로 제품의 수분농도는 재료의 수분농도에 의하여 지배받으므로, 물을 첨가하여 제조된 RSS 제품의 건물농도와 pH 간의 관계를 회귀식으로 나타내 본 결과, [그림 5]에 나타난 바와 같이 둘 간에는 상당한 상관관계가 있음($r^2=0.44$)을 확인할 수 있었다.

[표 24] 원료 생볏짚의 건물 및 일반성분 조성

(%, 건물 기준)

처리*	건물	조단백	조회분	NDF ¹	ADF ^{2**}	NFC ^{3**}
원료볏짚	50.71 ±1.78	4.88 ±0.11	12.22 ±0.05	68.33 ±1.31	34.98 ±0.33	12.73 ±0.17

¹ NDF: 중성세제불용성섬유 ²ADF: 산성세제불용성섬유 ³NFC: 비섬유성탄수화물

* 벼수확 및 제조: 2005. 10. 26. / 파주 A목장 논

한편 재료 생볏짚에 물첨가(가수)와 당밀+요소+생균제 처리(MUL)를 한 RSS 시료에 대하여 건물과 NDF 및 ADF의 *In Vitro* 소화율을 측정해 본 결과, 통계적 유의성은 얻어지지 않았지만(P>.05), 건물소화율은 물을 첨가한 시료에서 낮은 값을 보인데 반하여 NDF 및 ADF의 소화율은 나머지 두 처리구에 비해 높게 나타났다[그림 6].

[표 25] 첨가물 처리수준별 RSS의 건물, 젖산 농도 및 pH

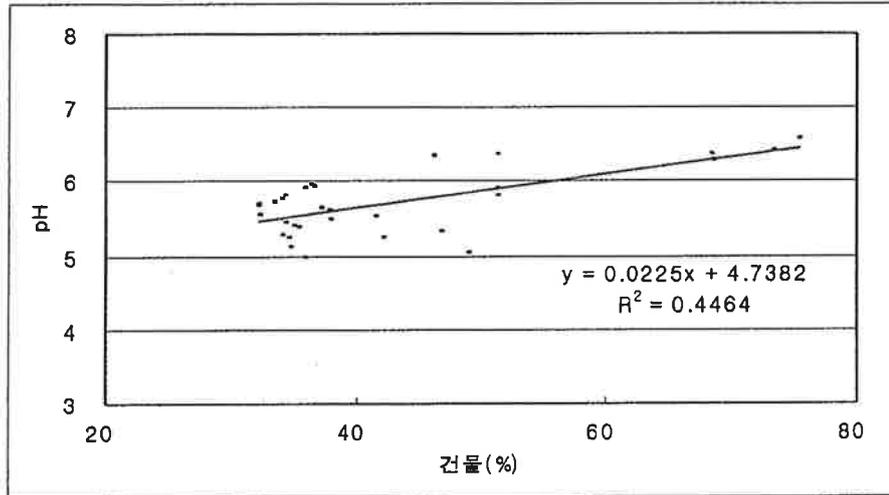
(2005. 10. 파주)

처리*	건물 (%)	젖산 (%)**	총유기산(%)	pH
무처리	50.26±1.87 ^b	1.55±0.14 ^b	7.92±1.18 ^b	5.84±0.72 ^a
물	42.43±1.46 ^c	1.63±0.23 ^b	8.45±1.14 ^b	5.40±0.21 ^a
당밀	48.49±0.70 ^b	1.86±0.50 ^{ab}	10.02±1.39 ^a	5.61±0.45 ^a
당밀+요소+생균제	52.62±2.09 ^a	2.14±0.93 ^a	10.75±1.52 ^a	4.98±0.35 ^a

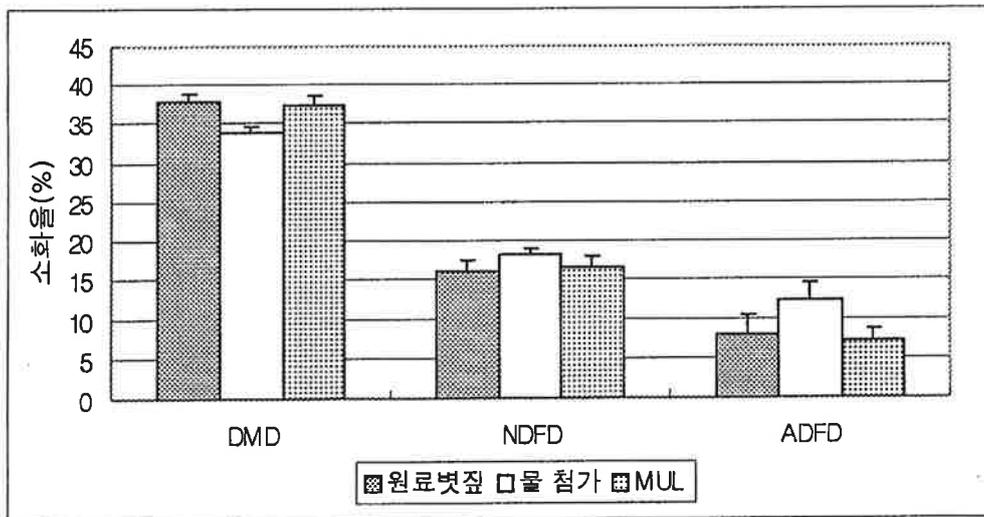
^{a, b, c} 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2005. 10. 26. / 파주 A목장 논.

** 시료 용액 1당 젖산 농도



[그림 5] RSS 건물 함량과 pH의 상관 관계(n=32)



DMD: 건물소화율 NDFD: 중성세제불용성섬유 소화율 ADFD: 산성세제불용성섬유 소화율

[그림 6] 첨가물 처리에 따른 건물 및 섬유질 소화율 비교(In Vitro)

[표 26]~[표 30]는 실험용 소형사일로에서 제조한 생벚짚사일리지 제조와 분석에 관한 결과를 보여주는 것이다. 합성수지(PVC)로 제조된 규격화 된 사일로를 사용하여 일정한 중량의 절단된 재료와 보다 표준화 된 보관조건을 이용한 본 실험은 보다 신뢰도가 높은 실험결과를 얻는 데 커다란 도움을 주었다. 원료벚짚의 성분과 비교할 때 발효제품의 조성은 첨가물의 종류와 처리수준의 영향을 다소 받기는 하지만 대체로 조단백질과 조회분은 약 1% 단위까지 증가하는 경향을 보였는데, 전자의 경우엔 미생물체 또는 효소의 증가를 생각할 수 있으며, 후자는 곤포제조 당시에 토사의 혼입이 일어날 수 있음을 암시하는 것이다.

[표 26] 실험용 소형 사일리지용 원료벚짚의 건물함량 및 일반성분 조성
(%, 건물 기준)

논*	건물	조단백	조회분	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
남양주 A	45.42 ±0.46 ^a	4.03 ±0.05 ^b	13.42 ±0.08 ^a	69.54 ±0.34 ^a	39.68 ±0.69 ^a	11.32 ±0.28 ^a
남양주 B	36.80 ±0.65 ^b	5.30 ±0.05 ^a	14.61 ±0.02 ^a	66.93 ±0.13 ^b	40.71 ±0.45 ^a	11.11 ±0.41 ^a

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

^{a, b} 평균±표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벚수확 및 제조 : 2004. 10. 24 / 남양주

[표 27] 각종 첨가물 처리에 따른 실험용 소형 생뿔짚사일리지의 발효특성

처리*	건물(%)	pH	젖산**	총유기산
대조구	34.71±0.57 ^c	5.19±0.18 ^a	1.62±0.13 ^c	9.87±1.69 ^a
당밀	35.33±0.45 ^{bc}	4.97±0.03 ^b	1.72±0.11 ^c	10.14±1.15 ^b
생균제	36.40±0.97 ^a	4.41±0.18 ^c	2.36±0.13 ^b	11.28±1.82 ^{ab}
당밀 + 생균제	35.61±0.76 ^b	4.06±0.07 ^d	2.68±0.11 ^a	13.43±0.94 ^a
당밀 + 요소 + 생균제	37.10±1.24 ^a	4.18±0.05 ^d	2.55±0.07 ^b	13.03±1.96 ^{ab}

a, b, c, d, 평균±표준편차, 반복수=4, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 비수확 및 제조: 2004. 10. 24 / 남양주 논A

** 시료 용액 1당 젖산 농도 %.

[표 28] 각종 첨가물 처리에 따른 실험용 소형 생뿔짚사일리지 일반성분 (% , 건물 기준)

처리*	조단백	조지방	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
대조구	4.77 ±0.19 ^c	14.32 ±0.12 ^{ab}	71.03 ±0.24 ^a	40.74 ±0.63 ^a	8.45 ±0.18 ^b
당밀	5.13 ±0.25 ^b	14.42 ±0.29 ^a	70.18 ±0.46 ^b	39.81 ±0.56 ^{bc}	8.83 ±0.48 ^b
생균제	5.03 ±0.23 ^b	14.19 ±0.80 ^a	70.71 ±1.09 ^a	40.45 ±1.29 ^{ab}	7.78 ±1.21 ^b
당밀 + 생균제	5.04 ±0.18 ^b	14.07 ±0.32 ^b	69.18 ±0.62 ^c	39.62 ±1.06 ^c	9.85 ±0.46 ^a
당밀 + 요소 + 생균제	5.50 ±0.14 ^a	14.20 ±0.52 ^{ab}	69.48 ±0.83 ^c	39.89 ±0.81 ^{bc}	8.65 ±1.28 ^b

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

a, b, c 평균±표준편차, 반복수=4, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 수확 및 제조: 2004. 10. 24 / 남양주 논A

PH와 유기산의 농도는 생균제를 첨가하여 제조한 사일리지에서 가장 우수한 수치를 나타내었다. 효소제의 첨가는 E10구를 제외한 나머지 처리구에서는 서로 간에 유의적 차이를 보이지 않음으로써 현장 제조시험에서

의 결과와 유사하게 나타났다[표 29], [표 30]. *In Vitro* 소화율에 있어서도 역시 곤포사일리지와 소형 사일리지 공히, 각종 첨가물을 응용하여 제조한 경우가 무첨가인 대조구에 비해 전반적으로 높은 소화율을 보였다.

[표 29] 효소제 처리수준에 따른 실험용 소형 생뿔짚사일리지 발효특성 비교

처리*	건물(%)	pH	젖산(%)**
E0	33.58±2.04 ^a	5.35±0.24 ^a	0.66±0.02 ^c
E0.5	32.74±1.92 ^{ab}	5.23±0.07 ^a	0.68±0.02 ^c
E1	31.01±1.30 ^b	5.28±0.15 ^a	0.68±0.02 ^c
E2	31.61±1.53 ^b	5.04±0.09 ^b	0.99±0.24 ^b
E10	30.92±1.83 ^b	4.81±0.16 ^c	1.32±0.21 ^a

a, b, c 평균 ± 표준편차, 반복수=4, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 수확 및 제조: 2004. 10. 24 / 남양주 논B

** 시료 용액 L당 젖산 농도 %.

[표 30] 효소제 처리수준에 따른 실험용 소형 생뿔짚사일리지 일반성분 비교

(%, 건물 기준)

처리*	조단백	조회분	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
E0	5.91 ±0.06 ^c	14.43 ±0.04 ^d	74.12 ±0.47 ^a	43.85 ±0.21 ^a	3.78 ±0.33 ^d
E0.5	6.10 ±0.07 ^b	14.73 ±0.04 ^c	69.81 ±0.22 ^c	43.59 ±0.21 ^a	7.61 ±0.18 ^b
E1	5.92 ±0.08 ^c	15.25 ±0.03 ^a	69.06 ±0.59 ^d	43.43 ±0.13 ^a	7.76 ±0.47 ^b
E2	5.85 ±0.02 ^c	14.77 ±0.02 ^c	72.31 ±0.17 ^b	43.44 ±0.72 ^a	5.35 ±0.10 ^c
E10	6.39 ±0.08 ^a	15.16 ±0.01 ^b	67.71 ±0.43 ^e	40.73 ±0.01 ^b	9.04 ±0.36 ^a

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

a, b, c, d, e 평균 ± 표준편차, 반복수=4, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* 벼수확 및 제조: 2004. 10. 24 / 남양주 논B

다. RSS의 생산비 분석

RSS의 매매 또는 TMR 제조에 이용 시 생산단가는 기존 조사료의 대체나 도입을 위한 경제성 분석에 적용되는 중요한 결정기준이 된다. 2004년을 기준으로 조사된 생산비 계산 사례를 보면 다음과 같다.

1) 사례 1

생뿔짚의 가격은 곤포의 크기(중량)에 따라 달라지겠지만, 논 200평(660m²)당 생뿔짚의 구입가격은 평당 100원으로 2만원이 되며, 이것으로 2.5개의 원형곤포를 제조할 수 있다고 본다. 포장용 비닐랩 가격은 롤 당 75,000~80,000원으로, 롤 당 약 15개의 곤포가 제조되며, 발효촉진용 첨가제로는 당밀과 생균제를 물에 용해시켜 사용시 곤포당 1,000원, 1인 1일 인건비와 기계사용료를 30만원, 5인의 작업인력이 참여하여 제조할 수 있는 곤포 수는 평균 120개로 잡았다. 여기에 기계에 필요한 연료비, 식대 및 잡비를 기타비용으로 포함시킨 결과는 [표 31]에서와 같다.

[표 31] 생뿔짚 원형RSS의 생산비 분석결과 <사례 1>

항 목	가격(원/곤포)	비 고
생뿔짚	10,000	20,000원/660m ² (2.5개 제조)
비닐랩	5,000	75,000원/롤 (곤포 15개 제조)
첨가제	1,000	당밀 +생균제
인건비	12,500	기계장비의 감가상각비 포함
기타	500	식대 및 유류대
총 계		27,000 원

2005년 현재 시중 유통 RSS의 가격은 개당 보통 32,000~35,000원 정도 이고, 곤포의 개당 중량 450kg 산정 시 kg당 가격은 약 75원(335,000원/450kg)으로, 건조뽕짚 185원/kg, 톨페스큐짚(약 260원/kg)보다도 훨씬 낮은 가격이다. 건물기준 가격으로는, 본 사일리지의 건물률을 40% 기준으로 할 때 kg 건물 당 가격은 187.5원으로, 건조뽕짚 205.5원/kg(90% DM), 톨페스큐짚 288.9원/kg (90% DM)보다 크게 낮은 가격이다.

2) 사례 2

경기도 파주시 소재 4개 목장에서 논을 임차하여 제조한 RSS의 생산원가를 분석하였다. 이들은 5인 1조가 되어 수확 직후의 생뽕짚을 논 1평당 100원씩 지불하고 1,000평당 평균 10개의 곤포(400kg/개)를 제조하고 있었으며, 이 경우 계산하였을 때 얻어진 생산원가는 다음 [표 32]에서와 같이 분석되었다.

[표 32] 생뽕짚 원형RSS의 생산원가 분석결과 <사례 2>

항 목	가격(원/곤포)	비 고
생뽕짚	10,000	100,000원/3,300m ² (곤포 10개)
곤포망	1,000	-
비닐랩	4,600	55,000원/롤 (곤포 12개)
인건비	10,000	기계 감가상각비 제외
기타	500	식대 및 유류대
총계		26,100 원

여기서 원형곤포의 마무리용 망(網)을 롤 당 1,000~1,500원씩 구입하였으며, 비닐랩은 롤 당 55,000원 선으로 롤 당 12개를 제조 가능하였으며,

제조과정에서 발효촉진용 첨가제는 사용되지 않았으나, 수분이 충분하였던 관계로 제품의 품질은 우수하였다. 인건비는 장비의 감가상각비를 포함시키지 않고 1인 평당 100원을 적용하였으며, 기계장비의 감가상각비를 <사례 1>과 동일하게 적용할 경우, 생산비는 27,000원선으로 산출되었다.

결론적으로 이상 소개한 두 지역의 사례를 모두 감안할 때, 현재로 권장할 수 있는 생볏짚 RSS 1개(450kg 기준)의 적정 유통가격은 35,000원~37,000원(운임 포함) 수준으로 결정할 수 있을 것으로 보이는데, 건조볏짚과 동일한 건물률(40%)을 적용하여 환산된 가격(187.5원/kg)은 일반 건조볏짚 가격과 비교할 때 뚜렷하게 차이나는 것이며, 품질에 따른 영양적 효과상의 차이를 포함한다면 그 차이는 훨씬 커질 수 있다.

2. RSS의 소화율 검정결과

사료의 소화율은 동물의 섭취가능량을 결정하고, 또 그 사료의 가소화 영양소 함량을 결정하는 기준이 되므로 TMR을 비롯한 사료배합비를 작성하는데 중요한 기준으로 이용된다. 본 소화시험에 공시한 RSS는 경기도 파주에서 당밀+요소+생균제를 첨가하여 제조된 것으로 수분농도 62%의 상등품이었다. 평균 체중 320kg의 홀스타인 육성우 4두에 RSS를 10cm 길이로 절단하여 단일사료로 급여하면서 3주 동안 전분채취법에 의한 소화율 검정을 실시한 결과는 [표 33]과 같다. 검정을 실시한 결과, 공시 RSS는 외견상 건물소화율(Apparent DM digestibility) 63.7%가 얻어져, 볏짚 발효사료로서는 매우 우수한 값을 보였으며, 분석치를 기초로 계산된 TDN은 건물 기준으로 57.4%로 계산되었다. 이는 중질 화분과 목건초나 사료용 총채벼(김 등, 2006)의 TDN가에 해당하는 것으로, RSS를 고품질로 제조할 경우에는 현재 TMR용으로 수입 이용되는 화분과 건초에도 뒤지지 않는 양질의 조사료로 이용할 수 있음을 암시하는 것이며, 실제로 시험기간 동안 육성우들은 일 평균 11kg 이상의 많은 양을 섭취하였다.

[표 33] 홀스타인 육성우에 대한 생뿔짚사일리지의 *In Vivo* 소화율
검정결과

(%, 건물 기준)

항 목*	건물	조희분	조단백	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
사료내 농도(%)	38.34 ±0.34	16.34 ±0.08	4.73 ±0.07	67.19 ±0.07	41.65 ±0.72	10.31 ±0.13
영양소 섭취량(kg)	4.18 ±0.47	0.68 ±0.08	0.20 ±0.02	2.81 ±0.32	1.69 ±0.18	0.44 ±0.04
분 중 농도(%)	19.22 ±2.42	22.36 ±1.05	6.91 ±0.09	59.63 ±1.02	34.19 ±1.40	9.17 ±1.07
영양소 배설량(kg)	1.52 ±0.39	0.34 ±0.13	0.11 ±0.02	0.84 ±0.26	0.52 ±0.18	0.14 ±0.05
외견상 흡수량(kg)	2.66 ±0.47	0.34 ±0.09	0.09 ±0.02	1.97 ±0.34	1.17 ±0.23	0.30 ±0.09
외견상 소화율(%)	63.66 ±2.09	50.06 ±3.69	46.98 ±2.65	67.70 ±2.15	69.09 ±2.64	68.03 ±3.42

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

* 평균±표준편차, 반복수=4

3. RSS 섭취가능량의 현장조사

RSS를 단일 조사료로 급여하든지 TMR 원료로 사용하기 위하여 필요한 잠재섭취량을 목장에 의뢰하여 젖소의 체중 및 생리상태에 따른 사례를 조사한 결과는 다음과 같다. 양쪽 다 섭취량은 항상 건조젖소보다 높았는데, 그 이유는 사일리지의 다즙성이고 유기산의 산취가 식욕과 소화를 자극하기 때문인 것으로 사료된다.

- 6~15개월령 육성우에서의 조사 결과 :

4.5kg 배합사료 + 버개스 1kg 급여 하에 하루 평균 9.5kg 섭취.

- 16개월령 이상의 초임우와 건유우에서의 조사 결과 :

5kg의 배합사료 + 버개스 1kg을 급여하에 하루 평균 12.5kg 섭취.

여기서 얻어진 수치는 RSS의 건물함량이 45%일 때이며, 따라서 건물을 기준으로 환산하면 위의 섭취량은 각각 4.3kg 및 5.6kg에 해당한다.

4. RSS를 포함한 TMR 제조기술 개발

TMR용 조사료로서 RSS의 이용 가능성을 추정하기 위하여 일차적으로 중요한 것은 소화율과 섭취량을 늘릴 수 있도록 절단하는 방법의 개발이며, 다음에 중요한 것이 절단된 사일리지의 섭취가능량과 소화율을 결정하여 배합비에 적용하는 문제이다.

가. 절단의 기대효과와 절단기의 성능 비교

조사료는 질이 낮을수록 절단 또는 분쇄에 의한 소화율 증가효과가 크게 나타남은 전술한 바와 같이 잘 알려진 사실이며, 컴바인 내부 절단을 이용한 본 실험결과에서도 절단의 효과는 잘 드러나고 있다. 절단을 통하여 입자도를 작게 하는 것은 조사료의 용적중(Bulk Density)을 높이고 TMR의 혼합효율을 높이는 관계로, 생볏짚사일리지를 포함시켜 TMR을 제조하는 경우 공정상의 이해관계에 가장 큰 요인으로 작용할 수 있다. 절단이 안 된 채 곤포로 제조되고 발효된 생볏짚사일리지는 그 물리적 특성이나 수분농도에 따라 절단 효율에 상당한 영향을 받는다. 예를 들어, 사각 곤포(Rectangular bale)로 제조된 건초나 짚(볏짚 포함)의 경우에는 이미 일정 길이 이하로 절단이 된 상태에 있기 때문에 보통의 오거(Auger)형 TMR 혼합기에서 혼합공정에서 절단과 혼합이 동시에 일어나면서 무리 없이 제대로 혼합된 TMR을 제조할 수 있다. 이와는 달리 RSS와 같이 절단되지 않은 원형상태의 볏짚사료의 경우에는 혼합기의 작

동에 무리를 주어 파손을 가져오거나, 충분히 절단되지 못한 상태에서 다른 원료사료들과 불균일하게 혼합되는 경우를 자주 볼 수가 있다. 따라서 TMR 제조과정 상의 효율은 물론, TMR 제품의 포장 후 내부에서 일어나는 후속발효, 나아가 동물의 영양적 효과 면에서 별 기대를 하기 어렵다는 약점을 지니고 있다. 바로 이 점에서 TMR 제조과정 또는 동물급여의 전단계로 절단공정은 필연적으로 요구될 수밖에 없다. 유통형 TMR의 보급이 낙농을 중심으로 증가하고, 추가적인 조사료 공급이 필요없는 TMR사료에 대한 양축가의 요구가 증가하면서, 유통형 TMR에 건초의 혼합비율이 증가하자, 원형(圓形) 또는 성형(星形) 날이 부착되어 있는 오거식 TMR 혼합기가 주류를 이루고 있으나, 여전히 볏짚사료를 TMR 혼합 공정에서 절단하는 문제는 볏짚의 고유특성이어서 해결이 쉽지 않은 장벽임에 틀림이 없다. 차체에 RSS가 빠른 속도로 보급되면서 절단기계의 개발도 최근 수년 간 박차를 가하기 시작하였는바, 본 연구에서 조사된 것만 보더라도 그 동안 국내에는 여러 종류의 절단기가 개발되고 일부가 시판 보급되고 있는 것으로 나타났다. 그 대표적인 기종을 특징상으로 분류해 본다면 다음과 같다.

- 경운기 부착형 원형곤포절단기 - 농촌진흥청 농기계연구소
- 자주식 회전식 원형곤포절단기 - 경북대
- 다중 프레스형 수평식 절단기 - S사
- 프레스형 수직 절단기 - D사

연구팀이 조사한 결과, 이 중에서도 최근에 개발된 D사의 프레스형 수직 절단기는 절단시간과 처리성능 면에서 가장 우수한 것으로 평가되어 본 실험연구에 사용되었는바, 생산모델과 성능 특성을 소개하면 다음과 같다.

생산 가능 모델

- 전기식 : 전력선을 이용 5마력(HP) 소요, 고정식
- 전기식(타이어 부착) : 상과 동, 바퀴로 이동
- 콤바인부착식 : 35 또는 37HP의 콤바인에 부착하여 궤도륜으로 이동

특성 : 원형곤포의 특정 규격(예: 직경 1,300mm 이상)을 조건으로 하는 타 기종에 비하여, 900~1,000mm 도 절단 가능함.

절단기에 놓여진 곤포를 좌우상단의 측면 방향으로부터 조여 고정시키는 방식을 택하여 개발된 관계로, 날이 접촉하는 면적을 최소화 함으로써 고속으로 자르며 내려 갈 수 있으며, 따라서 매우 짧은 길이(약 7cm)로도 절단이 가능하다는 점이 특징이며 장점임. 단일 날을 사용하며, 날받이가 없는 관계로 날의 내구성이 매우 좋으며, 장착된 상태에서 날의 연마가 가능함.

나. RSS의 TMR 혼합효율 검정

TMR의 제조와 운용원칙 중 가장 중요한 것의 하나가 혼합효율인바, 이는 편식을 방지하고 균일한 조성의 영양소를 공급하여 균일한 생산효과를 낼 수 있는 관건이 된다. RSS를 절단기를 이용하여 약 10cm 길이로 절단한 다음, TMR 내에 약 5% 씩 증량 대체하면서 혼합하고[표 34], 혼합효율을 CV Test를 통하여 검정한 결과는 [표 35]에 제시된 바와 같다.

[표 34] 공시 TMR 내 RSS의 목건초 대체율(%)

처리*	대조구	R5	R10	R15
알팔파 건초	3	3	3	3
이탈리안 라이그라스 건초	15	10	5	0
RSS	0	5	10	15

* TMR 제조시 1 batch 전체 배합비 중 대체율(건물 기준)

[표 35] CV Test 결과

처리	대조구	F5	R10	R15
NaCl (%)	0.66 ±0.04*	0.60 ±0.03*	0.63 ±0.04*	0.62 ±0.03*

* 평균±표준편차, 반복수=9

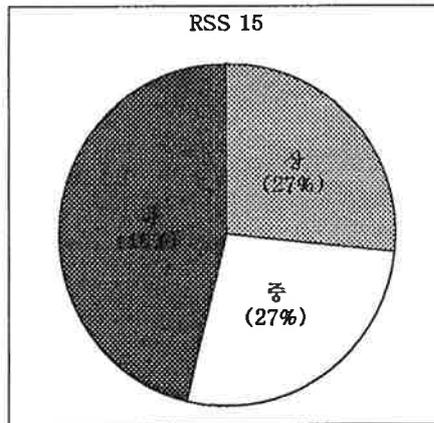
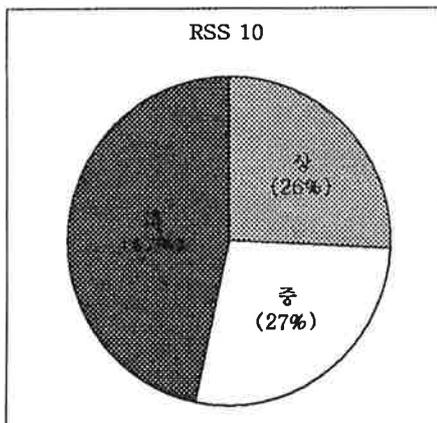
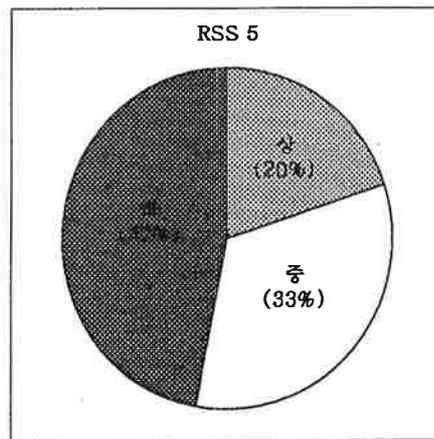
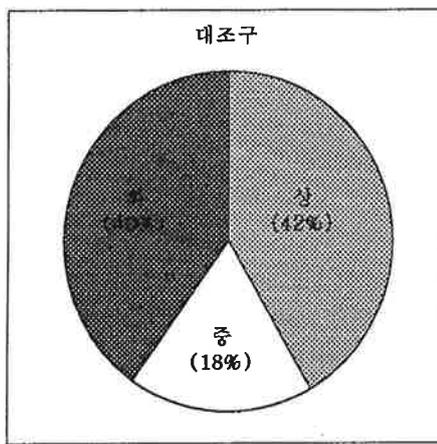
표지물로 혼합한 식염(NaCl)의 농도를 분석한 결과, 농도의 변이는 매우 근소하게 나타남으로써 혼합의 균일도는 매우 우수한 것으로 나타났다. 흔히 건조벚짚과 달리 사일리지로 제조된 RSS는 절단으로 입자크기가 작아지고 수분이 있어 비중(Bulk Density)도 높아지는 관계로, 혼합효율 면에서 볼 때 건물기준 15%까지도 무리 없이 잘 혼합될 수 있을 것으로 사료된다.

다. RSS의 혼합에 따른 TMR의 입자분포

RSS를 포함하는 TMR의 입자별 분포변화를 알아보기 위하여, 함률을 달리하여 생산된 TMR 제품을 3단의 특수 체(Particle Size Separator)를 가지고 측정하여 얻어진 입자크기 분포(백분율)를 [그림 7]에 도시하였다. 이탈리아라이그라스 건초를 대체한 RSS 혼합률을 각각 5, 10, 15%(건물 기준)로 하였을 때 제조되는 TMR의 입자별 분포변화를 보면, 본 시험에서 얻어진 결과와 <입자도 권장 비율>을 비교해볼 때, 대조구의 경우, 중간체에 남은 입자의 비율이 낮고 상단 체에 남은 입자의 비율이 높다. 반면 RSS 첨가구는 대체로 권장 비율에 적합한 결과를 보였고, RSS를 10% 이상 혼합하여도 상, 중, 하단체에 남은 입자의 비율은 크게 변하지 않으나, RSS 첨가는 15% 수준까지도 TMR의 입자도 분포에 영향을 주지 않으며, 따라서 TMR용 조사료로 손색이 없는 것으로 평가된다.

- Penn State Particle Size Separator 사용 시의 권장 입자도 분포 -

구 분		TMR
체에 남는 비율 (%)	상단 체	6~10% 이상
	중간 체	30~50%
	하단 체	40~60%



Con: RSS 0% TMR, RSS 5: 5% TMR, RSS 10: 10% TMR, RSS 15: 15% TMR(건물 기준)

[그림 7] RSS 투입수준에 따른 TMR의 입자크기(상, 중, 하) 분포

TMR을 배합함에 있어서 각 원료사료의 수분함량은 입자크기와 함께 용적중(Bulk Density)에 영향을 주므로 혼합효율에 영향을 미칠 수 있다. 실제로 [표 36]에서 보는 바와 같이, 화분과 건초를 RSS로 5, 10, 15% 수준까지 대체하여 감에 따라 TMR 전체의 건물률은 67.8%(대조구)에서 58.4%까지 감소하여, TMR의 혼합에 필요한 적정 수분농도 40%에 도달하는 데 도움을 주었다.

McCullough(1991)에 의하면 고능력우용 TMR의 가장 이상적인 건물농도는 55~65%이며, 조사료로 사일리지만을 사용할 때가 아니면 60% 전후의 건물함량을 유지할 필요가 있다고 하였는바, 본 연구에 공시된 TMR에는 RSS 이외에 건초도 조사료 원료로 포함되어 있으므로 58~64% 수준의 건물농도는 적절한 범위라고 볼 수 있다. 지금까지의 관련 연구에서 RSS의 수분농도가 65%를 넘는 경우는 거의 없었던 관계로 재료 생분해도가 최대한 수분농도를 갖는 상태에서 제조된 RSS를 TMR 원료로 사용하게 되면 혼합물 15% 수준까지는 전형적인 국내 TMR용 원료사료들과 잘 조화되면서 적정수분을 유지하는 데도 상당한 도움을 줄 것으로 사료된다.

[표 36] RSS 투입수준에 따른 TMR의 수분 농도 변화

처리	RSS	CON(대조구)	R5	R10	R15
건물 (%)	31.64 ±1.33	67.83 ±0.53	64.23 ±1.17	60.67 ±1.56	58.41 ±0.88

* 평균±표준편차, 반복수=9

라. 효소제 처리가 RSS TMR의 사료가치에 미치는 효과

효소제를 응용함으로써 RSS를 포함하는 공시 TMR의 사료적 가치가 향상될 수 있는지를 알아보기 위하여, 공시 복합효소제(R2)를 권장수준에 맞추어 희석한 다음, 건물의 2%(EI) 및 5%(EII)수준으로 분무하고[표 37], 제품으로 생산된 후 비닐포장된 상태로 각 2, 4, 6, 8일간 경과하여 성분조성과 *In Vitro* 소화율의 변화를 조사한 결과는 [표 38] 및 [표 39]에 제시된 바와 같다. 먼저 TMR의 일반영양소 농도를 보면, 효소제의 분무로 건물함량은 처리구가 다소 낮았으며, 효소제의 특성상 섬유질 부분에서 효과가 나타났다. 즉 효소제를 2% 수준(EI)에 비하여 5% 수준으로 혼합한 경우(EII)에 NDF와 ADF의 농도가 대조구(C)에 비하여 상당히 감소하였으며, 상대적으로 NFC는 증가하는 경향을 보였다. 하지만 조단백질과 조회분 농도에서는 별다른 차이를 보이지 않았다. 제조 후 효소에 의한 숙성 가능성을 타진하기 위하여 만 8일 간을 보관하면서 시료를 채취 분석하였는데, 전반적으로 6일 이상 경과한 경우에 NFC 농도의 감소가 나타난 것을 제외하면 제조 후 시간경과에 따른 성분변화는 기대했던 것 만큼 크지는 않았다.

[표 37] RSS TMR 제조 시 효소제 첨가수준

(%, 건물 기준)

처 리	효소제
대조구	0
E I	2
E II	5

실제로 *In Vitro* 소화율에 있어서도 효소제 처리는 TMR의 소화율에 별로 커다란 변화를 주지 못한 것으로 나타났으며, 효소제 처리구에서는

제조 후 6일 이상이 경과하면 건물과 유기물의 소화율이 오히려 감소하는 것으로 나타나[표 39], 그 이유를 구명하는 일을 비롯하여 앞으로 사료의 제조는 물론, 동물체 내 소화율을 높이기 위한 효소제첨가효과에 관한 한 장차 세부적인 연구가 필요하다고 사료된다.

[표 38] 효소제 처리수준 및 시간경과 별 RSS TMR의 일반성분 조성
(%, 건물 기준)

처리 ^a	건물	조단백	조지방	NDF ¹	ADF ²	NFC ³
C-2	64.37 ±1.00 ^a	16.38 ±0.02 ^b	8.16 ±0.10 ^c	48.88 ±0.74 ^a	26.13 ±0.36 ^a	20.71 ±0.18 ^b
C-4	64.99 ±0.59 ^a	15.51 ±0.11 ^c	8.33 ±0.02 ^b	48.65 ±0.80 ^a	23.00 ±0.15 ^b	21.75 ±0.13 ^{ab}
C-6	65.39 ±1.10 ^a	15.40 ±0.13 ^c	8.01 ±0.04 ^d	45.11 ±0.08 ^b	25.12 ±0.20 ^{ab}	24.71 ±0.08 ^a
C-8	64.31 ±0.69 ^a	16.71 ±0.07 ^a	8.68 ±0.04 ^a	48.04 ±0.19 ^a	24.88 ±0.21 ^{ab}	20.89 ±0.21 ^b
E I-2	63.29 ±0.22 ^{ab}	15.85 ±0.19 ^b	8.28 ±0.02 ^{bc}	47.26 ±0.40 ^a	22.25 ±0.32 ^b	23.17 ±0.31 ^b
E I-4	63.75 ±0.54 ^a	15.82 ±0.03 ^b	8.37 ±0.07 ^b	45.36 ±0.21 ^b	22.50 ±0.09 ^b	24.80 ±0.26 ^a
E I-6	62.89 ±0.54 ^b	16.56 ±0.07 ^a	8.60 ±0.07 ^a	46.15 ±0.90 ^{ab}	24.95 ±0.71 ^a	23.76 ±0.28 ^b
E I-8	62.29 ±0.66 ^b	16.04 ±0.06 ^{ab}	8.71 ±0.10 ^a	47.70 ±1.60 ^a	22.54 ±0.12 ^b	21.85 ±0.09 ^c
E II-2	63.74 ±0.66 ^a	15.41 ±0.13 ^b	7.86 ±0.13 ^d	41.55 ±0.22 ^b	19.02 ±1.15 ^b	29.82 ±0.16 ^a
E II-4	62.26 ±0.53 ^b	15.47 ±0.06 ^b	8.23 ±0.04 ^c	42.67 ±0.37 ^b	21.02 ±0.04 ^b	28.58 ±0.32 ^a
E II-6	62.29 ±0.97 ^b	16.02 ±0.03 ^a	8.37 ±0.04 ^b	46.93 ±0.43 ^a	21.04 ±0.56 ^b	23.44 ±0.15 ^b
E II-8	61.77 ±0.25 ^b	15.80 ±0.06 ^{ab}	8.68 ±0.06 ^a	45.85 ±0.40 ^a	24.29 ±0.28 ^a	24.28 ±0.38 ^b

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

^{a, b, c, d} 평균±표준편차, 반복수=3, 각 처리후 경과일수 별로 통계처리를 함,

서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

^aC: 대조구(무처리), E I: 2% 수준 효소제 처리(건물기준), E II: 5% 수준 처리(건물기준)

[표 39] 효소제 처리 RSS TMR의 제조 후 경과일수 별 *In Vitro* 소화율

(%, 건물 기준)

처리*	건물 소화율	유기물 소화율
C-2	73.25 ± 0.52 ^a	74.85 ± 0.52 ^a
C-4	72.91 ± 2.24 ^a	73.87 ± 2.05 ^a
C-6	72.95 ± 1.56 ^a	74.28 ± 1.43 ^a
C-8	72.65 ± 2.49 ^a	79.80 ± 1.88 ^a
E1-2	73.12 ± 1.88 ^a	74.89 ± 1.92 ^a
E1-4	71.92 ± 2.64 ^a	73.85 ± 1.55 ^a
E1-6	70.95 ± 1.96 ^a	73.26 ± 1.06 ^a
E1-8	65.06 ± 0.51 ^b	66.80 ± 0.52 ^b
E2-2	73.00 ± 1.91 ^{ab}	75.23 ± 1.87 ^{ab}
E2-4	74.72 ± 1.36 ^a	75.97 ± 1.49 ^a
E2-6	71.27 ± 1.65 ^b	72.69 ± 1.47 ^b
E2-8	66.07 ± 2.30 ^c	67.43 ± 2.12 ^c

a, b, c, d 평균±표준편차, 반복수=3, 각 처리후 경과일수 별로 통계처리를 함.

서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

* EI : 2% 수준 효소제 처리(건물기준), EII : 5% 수준 효소제 처리(건물기준)

5. 생뿔짚사일리지 TMR의 *In Vivo* 소화율 검정

TMR 제조 이용의 전단계로 RSS의 사료가치를 검정할 필요가 있다. 가장 기초가 되는 소화율을 측정하기 위하여 첫 인공수정을 앞 둔 체중 약 330kg의 육성우를 가지고 RSS를 포함하는착유우용 TMR 배합비 2종 (RSS 혼합률 5% 및 10%)에 대하여 *In Vivo* 소화율 검정시험을 실시하였는바, 결과를 [표 40]에 제시하였다.

[표 40] RSS TMR의 *In Vivo* 소화율 검정 결과

(%, 건물 기준)

함 뎁*	건물	조화분	조단백	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
1군(5%)	62.97 ±1.17 ^a	43.33 ±0.66 ^a	62.64 ±3.83 ^a	60.46 ±1.27 ^a	49.32 ±0.44 ^a	73.15 ±0.97 ^a
2군(10%)	65.79 ±0.62 ^a	43.17 ±1.51 ^a	67.74 ±0.87 ^a	65.59 ±0.41 ^b	51.89 ±0.58 ^b	66.92 ±3.41 ^a

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물
a, b, c 평균 ± 표준편차, 반복수=2, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

6. 착유우에서의 생뿔짚사일리지 TMR 급여효과

가. RSS 혼합률에 따른 산유성적 비교

하절기를 포함하여 105일 간 수행된 착유우 사양시험에 홀스타인 착유우 24두를 공시하여 비유일수를 기준으로 2개 군에 구분 배치하고, I군에는 급여하는 TMR에는 RSS가 5% 수준으로, 그리고 II군에는 10% 수준으로 혼합되었으며, 각 일반영양소 함량은 [표 41]에서 보는 바와 같다. 조사항목은 산유량과 유성분이었으며, 얻어진 결과는 [그림 9]~[그림 13]에 제시하였다.

[표 41] 착유우용 공시 TMR의 일반성분 농도

(%, 건물기준)

항목	건물	조희분	조단백	조지방	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾
I 군 TMR	72.25 ±1.48 ^a	9.23 ±0.10 ^b	18.60 ±0.01 ^b	7.24 ±0.04 ^a	60.50 ±0.16 ^a	26.80 ±0.23 ^b	4.44 ±0.36 ^b
II 군 TMR	68.79 ±0.54 ^b	9.43 ±0.08 ^a	18.40 ±0.02 ^a	7.07 ±0.02 ^a	56.99 ±0.13 ^b	32.19 ±0.24 ^a	8.11 ±0.45 ^a

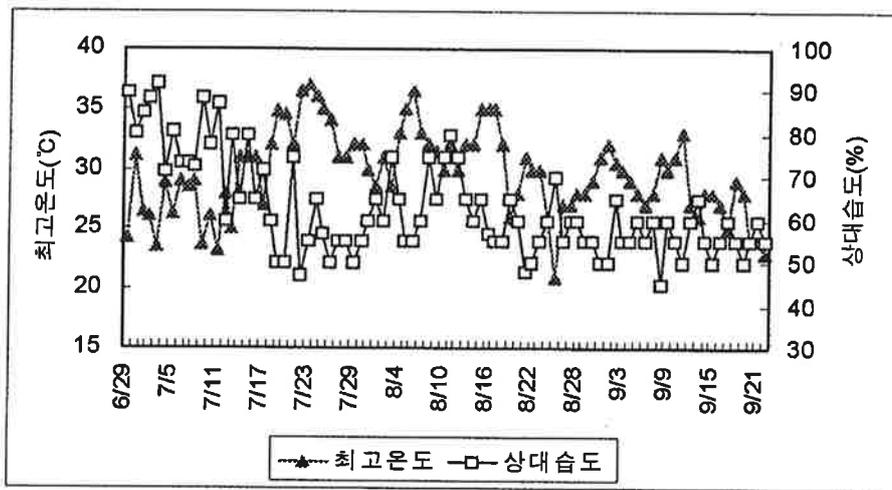
¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

^{a, b} 평균±표준편차, 반복수=7, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p<.05).

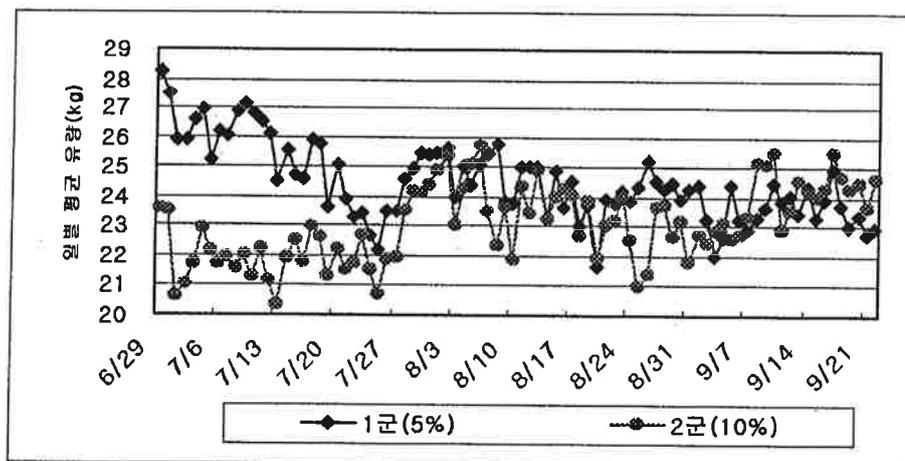
* I군 TMR: RSS 5% 포함. II군 TMR: RSS 10% 포함

공시된 TMR 2 가지는 거의 동일한 에너지 함량과 조단백질을 함유하도록 배합되었으며[표 42], 계산상의 목표 에너지 함량을 보면, I군(5% RSS)의 경우 약 1,207 kcal NEI/kg, II군(10% RSS)은 1205kcal NEI/kg이며, 또 TDN으로는 각각 75.6 및 75.7%로 계산되었다. [표 41]에서 보는 바와 같이, 조단백질을 비롯한 분석된 일반영양소의 함량에서도 양 군이 매우 유사한데, 클라인그라스건초 대신에 RSS를 10% 혼합한 II군의 TMR에는 NDF 함량은 낮은 반면 ADF 함량이 유의적으로 높은 특징을 보여주었다. 사양시험이 시작된 시기는 하절기 고온기로 측정된 일 최고 기온과 습도를 [그림 8]에 도시하였다. 산유량의 변화를 보면, 시험 초기에 두 군 간의 1일 산유량은 4~5kg의 커다란 차이를 나타내었으나, 20여 일이 지나서부터는 회복되어 서로 간에 별 차이를 보이지 않았다[그림 9]. 사양시험이 시작된 고온기때 RSS가 10% 수준으로 혼합된 TMR 급여군(I군)의 소들은 II군(RSS 5% TMR)에 비하여 사료섭취량이 상당히 낮았는데[그림 10], 이는 ADF 함량이 높은 데 기인한 것으로 해석할 수 있을 것이다. TMR의 ADF 함량이 높을수록 소화속도가 느려지는 경향이 있고, 고온 환경 하에서 반추동물은 위 내에서 발생하는 발효열을 최소화하기 위하여 섭취량이 줄어드는 게 일반적이므로, 사양시험의 초기단계에

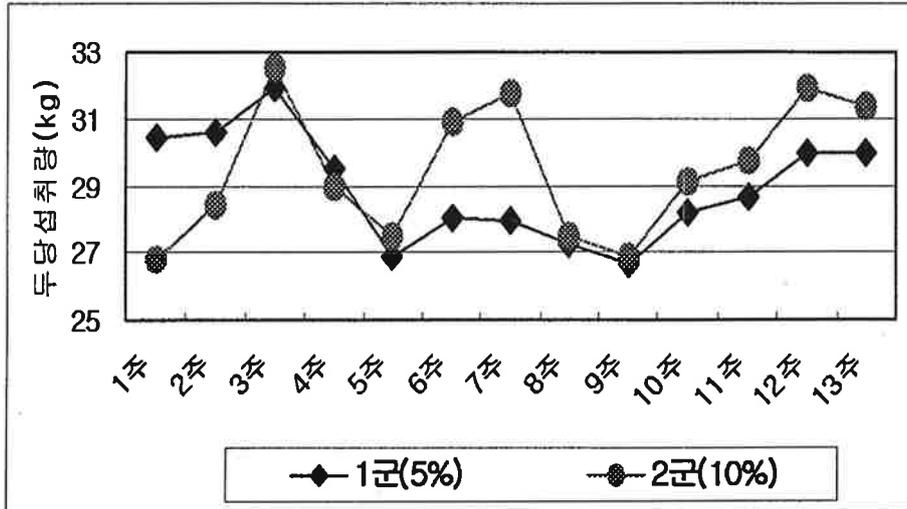
서 나타난 유생산량 감소의 원인으로 생각해 볼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 시험기간의 중후반에는 두 군간에 산유량 차이가 크지 않음을 볼 수 있으며, 유성분의 경우는 II군이 전 시험기간을 걸쳐 높은 유지율을 보임으로써[그림 11], 현재와 같은 유대 산정체계에서는 오히려 수익성 면에서 유리함을 암시하고 있다. 유단백과 MUN은 두 군간에 커다란 차이를 관찰할 수 없었다[그림 12], [그림 13].



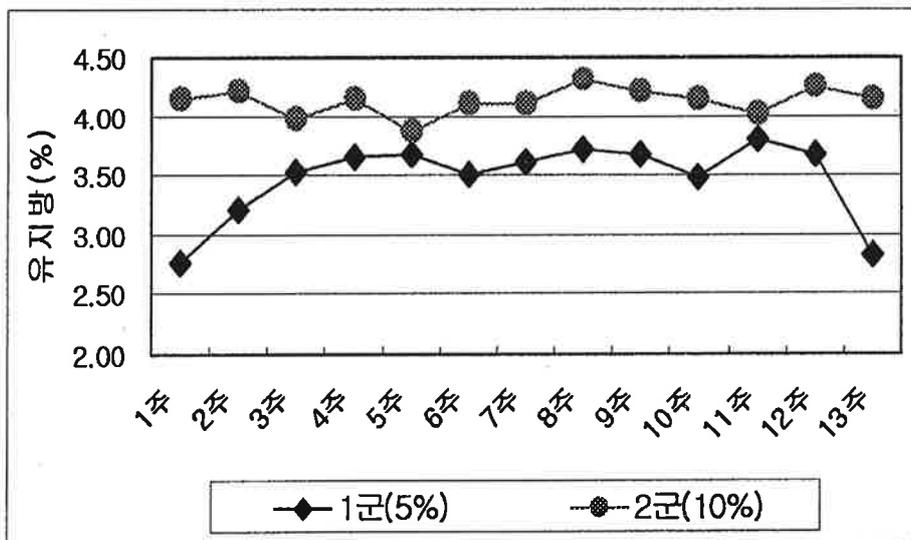
[그림 8] 시험기간 중의 최고온도 및 상대습도



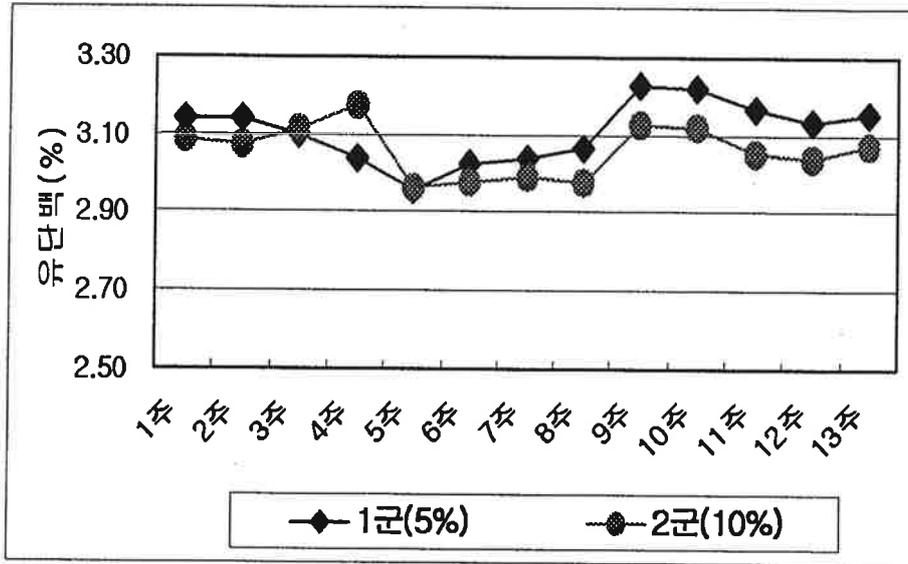
[그림 9] 일평균 산유량의 변화



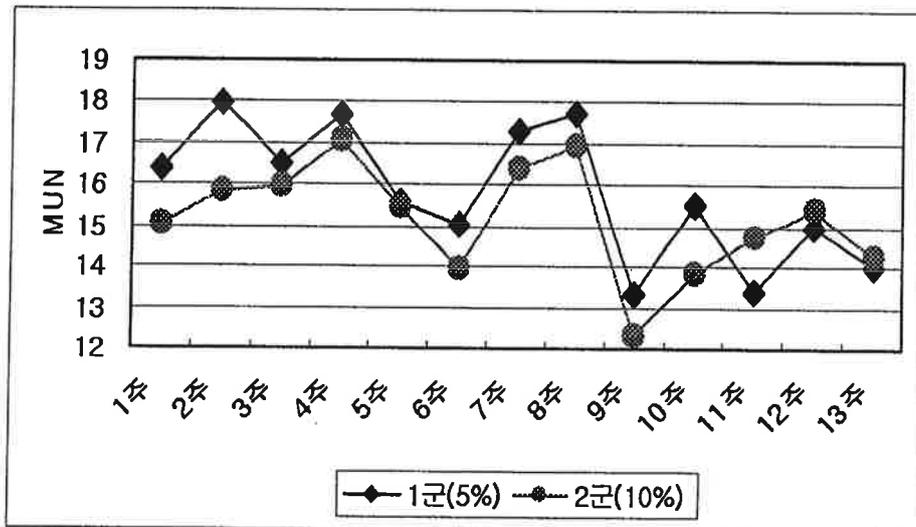
[그림 10] 개체별 평균 섭취량의 변화



[그림 11] 개체별 평균 유지율의 변화



[그림 12] 개체별 평균 유단백율의 변화



[그림 13] 개체유의 평균 MUN의 변화

나. RSS 혼합물에 따른 경제성 비교

본 젖소사양시험에 공시된 TMR의 배합비[표 42]와 시험에서 얻어진 산유성적을 바탕으로 경제성을 분석해 본 결과는 [표 43], [표 44], [표 45]에 제시된 바와 같다.

[표 42] 비유시험에 공시한 TMR의 군별 배합비 및 단가 분석

원료명	RSS 5%	RSS 10%
옥수수	12.8	12.8
단백피	8.0	8.0
소맥피	1.0	1.0
비트펄프	4.0	4.0
분쇄루핀	6.0	7.2
알팔파건초	8.0	8.0
RSS	6.7	13.5
클라인그라스건초	10.0	5.0
면 실	12.0	12.0
효모제	1.0	1.0
맥주박	24.0	21.0
장유박	2.0	2.0
보호지방	0.3	0.3
비타민제	0.4	0.4
생균제	0.8	0.8
석회석	0.9	0.9
식 염	0.1	0.1
당 밀	2.0	2.0
합(%)	100.0	100.0
단가/kg	220.0	215.0

[표 43] 비유시험의 평균산유량 및 두당 유대수입

	RSS 5%	RSS 10%
평균산유량(kg)	25.00 ^a	22.92 ^b
유지방(%)	3.5 ^a	4.1 ^b
원유가격(원/kg)	670.52	727.17
두당유대(원)	16,763	16,667

^{a, b} 평균값, 서로 다른 윗첨자는 통계적으로 유의차가 있음을 의미함(p>.05).

[표 44] TMR 섭취량에 따른 경제성 분석

	RSS 5%	RSS 10%	비고
사료섭취량	28.91	29.47	kg
건물섭취량	20.23	20.63	kg
사료가격	220	215	원
두당사료비	6,360	6,336	
기존건초 사료비	6,592	6,719	클라인글라스 이용시 228원/kg
차액	△232	△383	기존사료원가

착유우용 TMR을 배합함에 있어 기존에 수입조사료(예: 클라인글라스 건초)를 사용하던 것을 RSS로 5% 대체 사용 시에는 1일 두당 232원, 10% 대체 사용 시에는 1일 두당 383원의 사료비를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. RSS의 대체율을 5%로 하였을 때와 10%로 하였을 때 둘 간에 수익성 면에서 차이가 거의 나타나지 않은 이유는, 10% 대체 TMR 구에서 산유량의 감소가 있었음에도 불구하고 유지율이 높았던 데에 기인하는 것으로 사료된다.

[표 45] 젖소목장의 두당 수입비교

구분	RSS 5%	RSS 10%
사료대	6,360원	6,336원
원유가격	16,763원	16,667원
차액	10,343원	10,331원

결론적으로 RSS를 건물 TMR의 기준으로 10% 혼합 급여하였을 때 젖소들은 다소의 산유량 감소를 보였지만, 유지방은 높은 것으로 나타났다 ($P < .05$). 그러나 사료섭취량과 건물섭취량은 통계적 유의차가 보이지 않았는바, 일반적으로 사용되는 클라인글라스 건초를 생볏짚사일리지로 5% 수준까지 대체하여도 무난할 것으로 판단되었다. 본 시험에 사용된 생볏짚사일리지는 우수한 품질이 아니었으므로, TMR용 조사료 원료로 상등급 품질의 것을 사용할 경우에 동물의 생산반응은 더 우수할 수 있음을 기대할 수 있다. 낙농에 있어서 생볏짚사일리지는 6개월 이상의 육성우, 초임우 또는 건유우용 TMR 원료로 사용하는 게 보다 효과적일 것으로 사료된다.

7. 비육말기 거세한우에서의 RSS TMR 급여효과

비육말기에 있는 평균체중 약 550kg의 거세 한우 24두를 임의로 3개 군에 배치하였다. 이때, I군의 동물에게는 관행적인 마무리비육용 배합사료를 급여하면서 건조볏짚을 자유채식 시키고, II군의 소들에게는 건조볏짚을 사용한 TMR을 자유채식 시켰으며, III군에게는 생볏짚사일리지를 포함한 TMR을 자유채식 시켰다. 본 시험에 공시한 TMR의 배합비는 [표 46]에 제시된 바와 같으며, I군에 급여한 배합사료(펠릿)의 일반영양소 함량 분석결과를 [표 47]에 제시하였다.

[표 46] 거세한우 비육시험에 공시한 TMR의 배합비

원료명	건조벚짚 TMR	RSS TMR
옥수수후레이크	38.0	38.0
단백피	10.0	10.0
소맥피	5.2	5.2
비트펄프	2.0	2.0
면실	3.0	3.0
맥주박	15.0	15.0
루핀	6.0	6.0
당밀	2.0	2.0
효모제	3.0	3.0
건조벚짚	7.7	-
RSS	-	10.0
석회석	1.0	1.0
물	6.5	4.2
식염	0.2	0.2
생균제	0.2	0.2
비타민제	0.2	0.2
합 계	100.0	100.0

[표 47] 비육우 배합사료 일반성분 분석 결과

(%, 건물 기준)

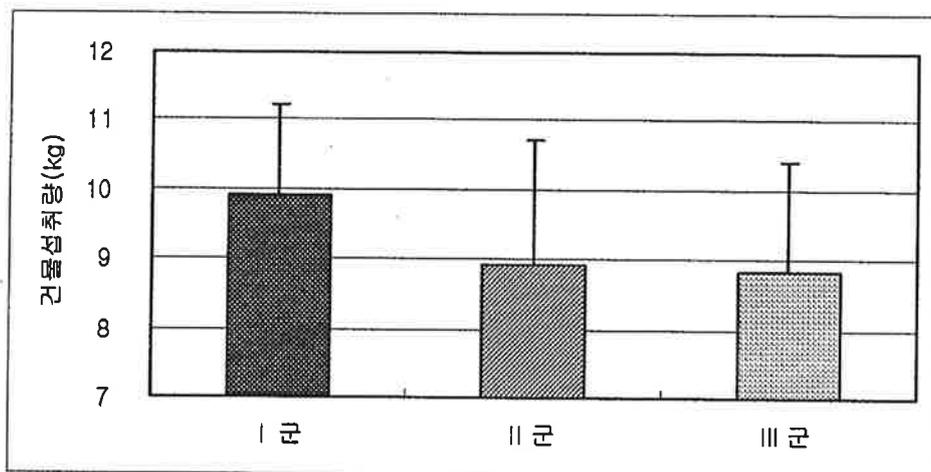
항목*	건물	조회분	유기물	조단백	조지방	NDF ¹⁾	ADF ²⁾	NFC ³⁾	
I 군	볏짚	71.31	11.46	88.54	4.03	1.55	60.08	31.71	22.88
	펠릿	90.39	6.41	93.59	11.88	2.77	35.44	14.37	43.5
II 군	69.91	6.33	93.67	12.78	5.27	50.96	19.3	24.66	
III 군	69.5	9.97	90.03	13.12	5.52	51.43	18.95	19.96	

* I 군: 건조볏짚 + 펠릿 II 군: 건조볏짚 TMR III 군: RSS TMR

¹⁾ NDF: 중성세제불용성섬유 ²⁾ ADF: 산성세제불용성섬유 ³⁾ NFC: 비섬유성탄수화물

가. 섭취량 및 섭취양상

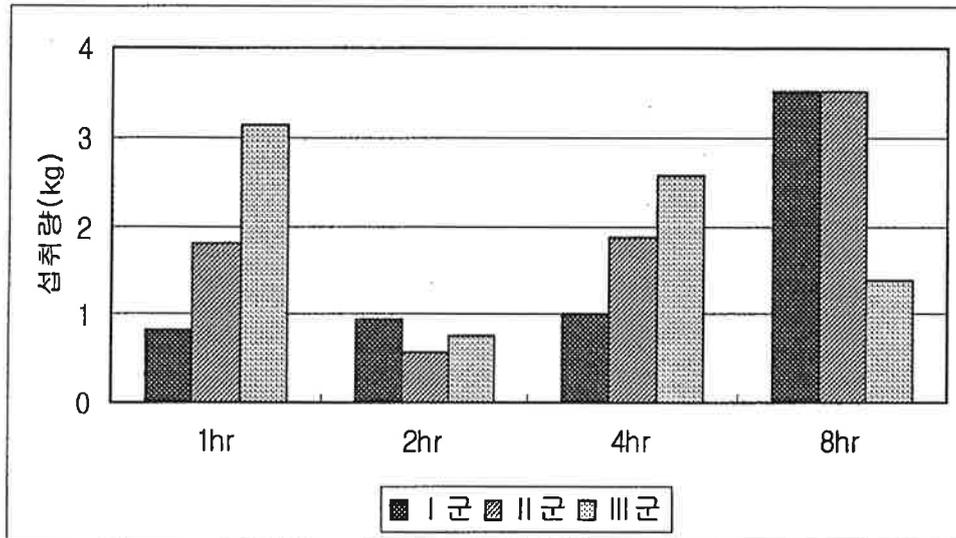
일차적으로 조사된 총 비육시험 기간 102일 간의 사료섭취량을 보면 [그림 14]에 도시된 바와 같다. 평균 건물섭취량은 볏짚을 따로 자유채식 하는 I군의 경우가 9.9kg으로 TMR의 형태로 공급한 II군(8.9kg)이나 III군(8.8kg)에 비하여 약 1kg 더 많은 양의 사료를 섭취한 것으로 나타났다. 사료의 형태와 함께 차이가 있다면 I군의 한우들은 건물 90.4%의 비육후기 배합사료 펠릿을 1일 평균 9.55kg 섭취하고 건조볏짚을 자유로이 채식한 데 반하여, II군과 III군은 수분농도 30%의 TMR 형태로 각각 8.9kg 및 8.8kg을 소비하였지만[그림 14], 사료의 영양소농도로 보면 TMR이 공히 조단백질과 지방농도에서 I군보다 높았다[표 47]. 동물은 필요로 하는 에너지 만큼에 해당하는 사료를 섭취하므로 공시사료를 모두 자유채식을 시키는 한, 궁극적인 에너지 섭취량은 비육기간 중에 증체로 나타날 것이다.



I 군: 건조벼짚 + 펠릿 II 군: 건조벼짚 TMR III 군: RSS TMR

[그림 14] 시험기간 중 군 별 개체우의 평균 건물섭취량

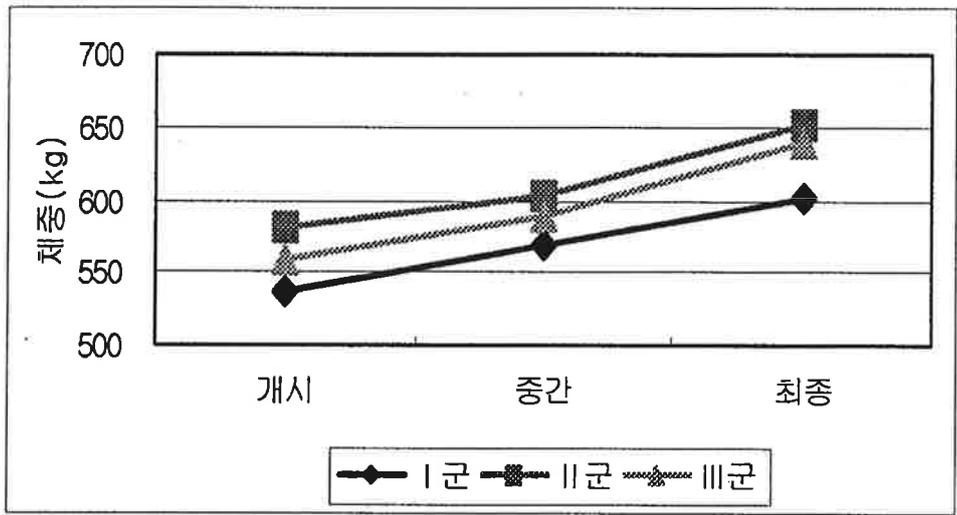
이는 실제로 군별 우 평균 증체성적을 보면 잘 반영되고 있음을 확인할 수가 있는데, [그림 17]에서 보면 III군, 즉 RSS를 조사료 원료로 제조된 TMR을 섭취한 우군은 가장 적은 양의 사료를 소비하였음에도 불구하고, 가장 우수한 증체능력을 나타내었다. 먹이의 형태가 처리군 별로 서로 다른 관계로 사료섭취 양상의 차이가 있는지를 함께 조사하기 위하여, 사료를 급여한 후 시간의 경과와 함께 섭취량의 변화를 추적 조사하여 보았다. [그림 14]를 통하여 알 수 있는 바와 같이 흥미로운 섭취양상이 관찰되었는데, 일단 거세한우들은 비육우에서 관행으로 많이 하고 있는 조농 분리급여 방식보다 TMR 형태의 단일 혼합 사료를 선호하는 것을 알 수 있다. 사료급여 후 처음 1시간 동안에 섭취한 사료량을 군별로 보면, III군의 소들이 급여 초기에 가장 많은 양의 사료를 섭취하였으며, 다음이 II군으로 나타났다. 반면에 I군은 사료를 급여한지 4시간이 지나 8시간이 경과할 때까지도 섭취량은 시간 당 1kg 이하를 섭취함으로써 TMR에 비하여 소량씩 수시로 채식을 하는 낮은 기호성을 보였다. 공식 TMR은 수분농도가 약 30%에 달하며, 대부분의 경우 내용물도 발효 성격을 띠고 있어 사료급여 직후에서부터 좋은 기호성을 가짐을 확인할 수 있었다.



I군: 건조볏짚 + 펠릿 II군: 건조볏짚 TMR III군: RSS TMR

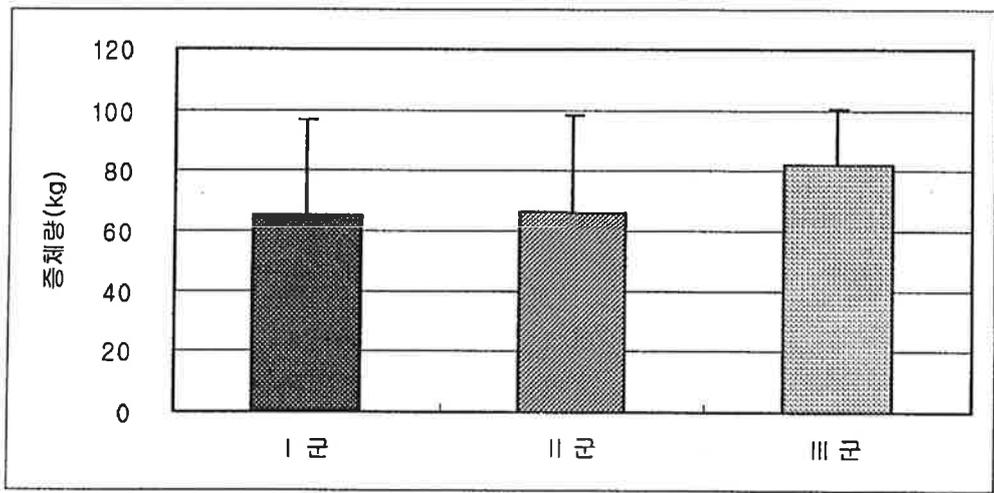
[그림 15] 사료급여 후 군별 개체우의 사료섭취 양상 변화

비육시험의 중기까지는 비슷한 증체를 보였으나, RSS를 포함하여 TMR의 형태로 급여한 III군의 소들은 마무리 단계에서 더 우수한 증체를 나타내, 배합사료와 건조볏짚을 별도로 급여한 I군보다 우수한 성적을 보여주었다[그림 17]. 뿐만 아니라 출하 시 얻어진 육등급의 판정결과를 보면 III군에서 1⁺A 및 1⁺B 등급의 출현률이 높게 나타남으로써, I군과 II군에 비하여 우수한 결과를 보였다[표 48]. 이상과 같은 시험결과는 궁극적으로 RSS를 비육우용 TMR에 포함시킬 경우에는 육량 뿐만 아니라 육질에 있어서도 우수한 성적으로 보상을 줄 수 있음을 시사하는 것이다.



I군: 건조볏짚 + 펠릿 II군: 건조볏짚 TMR III군: RSS TMR

[그림 16] 시험기간 중 군 별 개체우의 평균체중 변화



I군: 건조볏짚 + 펠릿 II군: 건조볏짚 TMR III군: RSS TMR

[그림 17] 시험기간 중 군 별 개체우의 평균증체량

[표 48] 처리군 별 육등급 판정 결과

항목	1A	1B	1C	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A
I군		1	1				2	3	1	
II군					2	1		4		1
III군	1	2		1	2		1			1

I군: 건조뿔짚 + 펠렛 II군: 건조뿔짚 TMR III군: RSS TMR

[표 49]는 본 거세한우 비육시험 기간 중에 소비된 3개 우군의 사료량을 가지고 산출한 사료비를 군 간에 비교한 것이다. 비육시험의 결과를 살펴보면, 우선 증체율에 있어서는 유의적 차이가 나타나지 않았다. 그러나 건물섭취량은 관행구 > 건조뿔짚 TMR > 생뿔짚사일리지 TMR의 순으로 높았으며, 1일 두당 사료비는 건조뿔짚구(I군)에서 266.8원, 생뿔짚사일리지 TMR구(III군)에서 323.6원 절감되는 것으로 나타났다. 기존 비육 후기요 배합사료 펠렛은 254원/kg, 수분 30%의 TMR인 건조뿔짚군과 생뿔짚사일리지 TMR 군은 각각 194원/kg과 190원/kg으로 계상하였다. 총 사료비에서 건조뿔짚군은 두당 평균 26,947원, 생뿔짚사일리지 TMR 군이 32,683원 절감되는 것으로 나타났는데, 이는 생뿔짚사일리지 TMR군의 증체성적을 고려하지 않은 것이다. [표 50]은 출하시 얻어진 육등급이 모두 1B로 군 간에 차이가 없다고 가정한 상태에서 증체량만으로 수입액을 환산한 다음, 사료비를 제하여 비교한 것으로, 여기서도 수익률에 있어 생뿔짚사일리지 TMR군(III군)은 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나 만일 거세한우를 비롯한 다른 비육우 사양 현장에서도 본 시험에서와 같은 우수한 육질 등급이 얻어진다고 가정할 때 그 가격차를 적용하면 수익률은 더욱 커질 것이다. 결론적으로 한우 거세우를 말기 비육하는 데 있어서

RSS를 이용한 TMR의 형태로 사료를 급여하면, 사료비와 증체성적, 그리고 경우에 따라서는 육질 등급까지도 우수한 비육효과를 얻을 수 있으므로, 비육우용 TMR의 조사료 원료로 생볏짚사일리지는 매우 잠재력이 높은 조사료인 것으로 사료된다.

[표 49] 한우거세우 비육시험에서의 사료비 분석

	I 군		II 군		III 군	
개시체중	536.1		579.9		558.3	
종료체중	601.6		651.4		640.3	
증체량	65.5		67.0		82.0	
총사료섭취량	비육후기	7718.6	TMR	10322.2	TMR	10299.8
	볏짚	1440	-		-	
소 계	9158.6		10322.2		10299.8	
총건물섭취량	비육후기	6976.8	TMR	7216.3	TMR	7122.3
	볏짚	1026.9	-		-	
소 계	8003.7		7216.3		7122.3	
1일두당 사료섭취량	비육후기	9.55	TMR	12.78	TMR	12.75
	볏짚	1.78	-		-	
소 계	11.33		12.78		12.75	
1일두당 건물섭취량	비육후기	8.63	TMR	8.93	TMR	8.81
	볏짚	1.27	-		-	
소 계	9.90		8.93		8.81	
1일두당 사료비	비육후기	254원x9.55 =2,425.7	194원x12.78 =2,479.3		190원x12.75 =2,422.5	
	볏짚	160원x1.78 =320.4	-		-	
소 계	2,746.1		2,479.3		2,422.5	
총사료비	277,356		250,409		244,673	
절감액			△26,947		△32,683	

I 군: 건조볏짚 + 펠렛 II 군: 건조볏짚 TMR III 군: RSS TMR

[표 50] 한우거세우 비육시험에서의 사료비 분석

	I 군	II 군	III 군	비고
증체량	65.5	67.0	82.0	
증체가격	648,450	663,330	811,800	생체 1B등급 =9900원/kg
총사료비	277,356	250,409	244,673	
사료비 비율(%)	42.8%	37.8%	30.1%	
이익	371,094	412,891	567,127	
이익증가 %	100%	111.3%	152.8%	

I 군: 건조볏짚 + 펠릿 II 군: 건조볏짚 TMR III 군: RSS TMR

제 3 절 종합고찰 및 현장지도용 기술지침

우리 국민의 쌀 소비와 벼 생산이 위축되는 추세를 직시하면서 대안으로 떠오른 하나가 논을 이용한 각종 조사료 생산이며, 이러한 연답구초(緣畝求草)의 실현은 자연순환형 농업을 실현으로 이어지는 지름길이 될 것으로 크게 기대된다. 문제는 어떤 사료작물을 재배할 것인가인데, 아직 사료작물을 통한 대체경작이 경제성면에서 쌀이나 알곡보리의 경작을 충분히 보상할 수준까지는 와 있지 못하다는 점을 직시할 필요가 있다. 사료용 벼의 경우에는, 개발 초기단계에 일본이 경험한 바와 같이, 가격의 고저를 떠나서 벼를 동물에게 먹이기 위하여 재배한다는 데에 부정적 인식을 가지는 농민들도 적지 않다. 또한 근래에 미작 대응으로 재배되는 작물을 비롯하여 답리작으로 생산되는 총채보리나 호밀 등의 사료작물은 그 자체가 목적작물인 관계로, 그 생산비에는 종자에서 비배관리 전반에 이르기까지 생산비용이 모두 포함되며, 따라서 정부차원의 지원이 수반되

지 않고는 아직 단가가 보상되기 어려운 게 사실이다.

이와는 대조적으로, 볏짚은 국민의 주식량 작물인 벼에서 유래하는 부산물로서 식량작물 생산을 희생시키거나 대체하는 게 아니라, 주작물의 경작과 수확에 의하여 자동적으로 얻어지는 부산물이므로 원가가 낮다는 점이 특징이며 커다란 장점이 된다. 따라서 우수한 기술로 좋은 품질의 제품을 생산하고 이를 축우용 TMR 원료조사료로 도입 이용할 경우에는 낙농이든 육우이든 생산비를 보다 효과적으로 절감함과 동시에 볏짚의 부가가치를 크게 높일 수 있다고 생각된다.

이러한 배경을 가지고 수행된 지난 2년 간의 시험연구를 통하여 얻어진 결과를 기초로, 사료제조 및 축우산업의 현장에서 RSS 제조와 TMR에의 응용에 관한 기술을 활용코자 할 경우, 이해를 돕고 인식을 개선하기 위하여 아래와 같은 사항을 기술적 지침으로 강조하고자 한다.

1. RSS에 대한 개념과 재인식

볏짚은 논에서 경작되는 주산물이 아닌 부산물로, 식용 벼가 생산되는 한 매년 자동적으로 얻어지는 귀중한 부존사료 자원이며, 양축가는 이제 볏짚을 건조시켜 이용하던 기존의 개념에서 벗어나 발효기술을 이용한 저장 조사료임을 깊이 인식할 필요가 있다. 즉, 적지 않은 수의 양축가들은 이제까지 건조시킨 볏짚을 볏단 또는 사각베일로 묶어 보관하면서 급여하던 방식에서, 신기술인 RSS 제조기술에서는 그저 빠른 속도로 볏짚을 묶을 수 있다는 것을 가장 큰 장점이라고 단순히 생각하고 있다. 또 랩포장을 하는 목적도 단지 눈비의 침투를 방지하기 위한 정도로 인식하고 있는 경우가 적지 않음을 발견할 수 있다. 그러나 수확 후 볏짚의 수분 손실을 최소화 하면 수분이 충분한 상태에서 RSS를 제조할 수 있어 훨씬 품질이 좋은 발효사료로 만들 수 있다는 사실, 그리고 랩포장을 하는 목적은 강

수로부터 내용물을 보호하기 위함은 물론이지만, 곤포 외부를 밀폐하여 혐기적 조건을 조성해 줌으로써 발효가 효과적으로 이루어지게 하기 위함임을 기술지도를 통하여 주지시킬 필요가 있다.

2. 제조기술 고도화의 필요성

곤포기와 랩포장기의 운전능력을 비롯하여 제조기술상의 격차가 적지 않음을 발견하였는바, 기술수준에 따라서 RSS 제품은 목건초(牧乾草)에 버금가는 우수한 품질을 가질 수 있는가 하면, 기존의 관행방법으로 제조된 건조뿔짚과 다를 바 없는 저품질의 제품으로 생산될 수 있어, 제조자의 의지와 기술수준, 발효원리의 준수 여부에 따라서 동물의 사료섭취량과 생산반응은 상당한 영향을 받게 되므로, 궁극적으로 이용농가의 수익에 차이를 가져올 수 있다.

3. 재료 수분농도의 중요성

RSS의 품질을 좌우하는 가장 결정적인 요인은 재료 생뿔짚의 수분농도임이 장기간에 걸친 반복시험을 통해 밝혀졌다. 따라서 가을철 벼 수확과정에서 배출되는 생뿔짚은 내부의 수분이 손실되지 않도록 짐초→곤포 제조→랩포장으로 이어지는 전 작업과정의 시간을 최대한으로 단축하도록 노력하지 않으면 효과적인 발효를 기대할 수가 없다.

4. 발효촉진용 첨가물 응용효과

곤포 제조과정에 각종 첨가제, 특히 수용성 탄수화물인 당밀을 요소용액과 혼합하여 분무하거나, 여기에 생균제를 첨가하여 재료에 분무하는 경우, 제품의 소화율과 섭취량은 처리하지 않을 때에 비하여 50% 이상 큰 폭으로 향상되므로, 번거롭더라도 첨가물을 반드시 사용하여야 한다.

5. 저장 보관

RSS는 바로 세워 3단 이하로 저장하여야 하고, 보관장소는 가급적 급여장소에서 가까운 곳을 선택하여야 한다. 제품을 운반하여 저장하고자 하는 경우에는 궁형(弓形)의 파지기를 사용하여 비닐랩에 균열 또는 천공이 일어나지 않도록 각별히 주의하여야만 곰팡이나 2차 발효를 예방할 수 있다.

6. RSS의 생산원가

2004년 현재 27,000원 선으로 운반 및 이운을 포함하면 35,000원~40,000원 선에서 유통될 경우, 사료영양적 효과면에서 수입 건초를 필적할 수 있는 좋은 조사료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

7. 축우용 TMR 원료로의 가치

RSS를 TMR용 조사료로 이용하면 국내 조사료자급도를 높이는 데 크게 기여할 수 있는바, 볏짚사료임에도 그 사료적 가치가 우수함이 TMR의 제조효율, 축우에 대한 기호성과 소화율, 생산효과 및 경제성 분석 등과 관련된 본 연구결과를 통하여 확인되었다. 낙농용 TMR에서는 체중 250kg 이상의 육성우용, 비유후기와 건유우용에 적합하며, TMR의 혼합효율과 영양소 공급수준을 고려할 때 건물 기준으로 5~10%까지 포함시킬 수 있음이 확인되었다. 비육우의 경우에도 RSS를 포함시킨 TMR의 급여는 건조볏짚이나 별도급여 방식에 비하여 기호성과 섭취량, 그리고 증체속도 및 육질에 이르는 효과 면에서 매우 긍정적인 결과를 주었다.

8. 유통의 활성화와 거래질서 확립

보다 안정된 조사료시장을 형성함으로써 RSS의 원활한 유통과 이용을

돕기 위해서는 매매 알선기관의 전문성, 그리고 품질의 등급화가 구매자의 신뢰 확보를 위하여 매우 중요할 것으로 판단된다. 따라서 적절한 품질규격의 확립과 그에 따른 가격차등화 문제는 장차 RSS를 비롯하여 조사료를 생산하는 주체의 인식을 개선하고, 거래질서를 확립하는 데 긍정적인 영향을 미칠 것이어서 장차 연구되어야 할 중요한 과제이다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

* 연도별 연구목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도 및 관련 분야의 기술발전예의 기여도 등을 기술

제 1 절 연구개발 목표와 내용 및 평가의 착안점

RSS의 이용을 증진시키기 위한 일환으로, 사일리지 제조단계와 TMR 제조단계의 들로 구분하여, 일차적으로는 사일리지의 영양적 품질을 가급적 높임과 동시에, 낙농 및 육우용 TMR에 조사료 원료로 도입함으로써 이용효율을 극대화 시키는 방법을 개발하는 데 있다.

이를 달성하기 위하여, 제 1차 년도의 연구에서는 RSS 제조단계 및 TMR로의 사일리지 이용단계에서 사료가치를 증진하는 데 요구되는 기초 정보를 얻고 방법을 개발하는 데 주력하였다.

구 분	연구 개발 목표	평가의 착안점
1차 년도 (2004. 5 ~ 2005. 5)	A. 생벚짚사일리지 및 TMR의 소화율 개선 B. 생벚짚사일리지 혼합 TMR의 사료적 평가	1) RSS 제조 단계에서의 개선방법 개발 가) 재료의 절단에 의한 발효효율 변화 조사 나) 첨가물 종류 및 농도에 따른 발효효율 조사 다) <i>In Vitro</i> 소화율 조사 2) TMR 제조 단계에서의 개선방법 개발 가) 사일리지 절단 투입에 의한 혼합효율 비교 나) 효소제 첨가에 의한 후속 발효현상 구명 ○ 생벚짚사일리지의 배합률에 따른 TMR 평가 가) 수분농도 및 혼합효율 개선효과 조사 나) 육성우에 대한 <i>In Vivo</i> 소화율 검정

구 분	연구 개발 목표	평가의 착안점
<p>2차년도 (2005. 5 ~ 2006. 5)</p>	<p>A. 생벚짚사일리지를 주조사료로 혼합한 육우용 TMR 개발</p> <p>B. 생벚짚사일리지를 주조사료로 혼합한 육우 TMR 개발</p>	<p>1) 기호성, 채식속도 조사결과의 유효성 2) 육우 비육용 TMR의 급여효과 판정</p> <p>1) 산유량 및 유성분 조사결과의 유효성 2) RSS 대체에 따른 유생산 효과 타당성</p>

제 2 절 연구목표의 달성도 및 기술발전 기여도

만 2년에 걸친 연구사업 전체를 종합한 목표수준의 달성도를 99.99%로 연구팀은 자체 평가하고 있다. 제 1차년도 연구에서 연구팀은 사전에 협조선을 구축하였던 경기도 파주시와 고양시의 양축가들과 연구팀과의 협동 작업에 의하여 공시용 RSS를 제조하였으며, 이들의 협조로 2차년도 실험연구에 사용될 RSS를 별도로 확보하여 보존케 하였다. 일차적으로 착수한 연구는 재료의 절단에 의한 발효효율의 평가로, 연구결과 절단작업의 효과가 우수함이 입증되었음에도 불구하고, 현실적으로 흔히 논의 소유주인 수확기(콤바인)의 소유주가 내부절단용 날의 조절을 기피하는 경우에는 실현이 어렵다는 점이 문제가 되었다. 하지만 제 2차년도 연구에서 RSS를 동물에 급여 또는 TMR 공정에 도입할 때 임의의 길이(10cm 이하)로 절단할 수 있는 시판용 기계장비가 농기계제작사에 의하여 개발 도입되었고, 실제로 성능이 TMR 제조용 RSS 절단에 적합함이

확인됨으로써 사료의 절단 문제는 자연스럽게 해결되었다. 또한 가급적 품질을 높여야 한다는 명제를 해결하기 위하여 제 1차년도 연구에서는 사일리지 발효촉진용 첨가물의 효과에 대한 검증적 성격의 연구를 실시하였다. 공시 첨가물인 복합효소제, 생균제(Inoculant), 당밀(Molasses), 그리고 요소(Urea)를 단독 또는 조합에 의하여 발효제품의 일반 영양소 및 유기산 농도와 pH를 기본지표로 사용하여 가장 우수한 조합을 찾아내 결론을 유도하고 동시에 경제성 분석을 실시하였다. 다음 단계로 확인용으로 특히 미생물을 위한 에너지공급제와 생균제를 함께 처리한 사일리지의 경우, 실험용 소형사일로 뿐 아니라 일반 원형RSS에서도 대조군에 비해 제품의 pH 감소 및 젖산농도의 증가가 관찰되었다. 그러나 RSS의 품질을 좌우하는 가장 결정적인 요인은 원재료인 생볏짚의 수분농도임이 재확인되었다. 한편, 평균체중 320kg의 Hostein 육성우 4두를 공시하여 전분채취법으로 *In Vivo* 소화율 검정을 실시한 결과, 건물소화율은 약 63%, TDN이 약 57%로 나타났다. 이 수치는 볏짚사료로서 상당히 높은 수치로, 생볏짚이나 건조볏짚과 비교할 때 첨가물을 응용하여 고도의 기술로 만들어진 상등품 RSS는 조사료 품질면에서 거의 중등급의 목건초에 필적하는 수준으로 기호성과 소화율을 높일 수 있음을 입증한 것이며, 여기서 얻어진 RSS의 가소화영양소 농도는 장차 TMR을 비롯한 각종 사료의 배합에 적용 가능하다고 사료된다.

제 2차년도 시험연구에서는 육우용 및 낙농용 TMR의 개발을 위한 준비단계로 제조 TMR용 원료 조사료로서 RSS의 이용 가능성을 타진하는 시험을 반복 실시하였는바, 이 사료를 기존의 TMR 원료로 사용했던 화본과 건초 대신 TMR 원료로 대체하였음에도 불구하고 혼합균일도 등에서 볼 때 일차적으로 제조공정상의 문제점은 없는 것으로 나타나 매우 긍정적인 결과를 얻었다. 또한 TMR 제조 단계에서 첨가한 효소제의 첨가농도

별 후속 발효특성에 관한 연구에서 공시 복합효소제(G2)는 TMR의 섬유질 분해를 다소 촉진시키는 것으로 나타났으나, 처리 수준과 단가를 고려할 때 경제성을 가질 만큼 우수한 효과를 기대하기는 어렵다는 것을 확인할 수 있었다. TMR에 혼합되던 기존 화분과 건초를 RSS로 일정 수준(DM 기준 5~15%) 대체하여 혼합 효율을 조사하고, 영양소농도 분석과 *In Vivo* 소화율 검정을 실시하였던 바, 적정 수분농도가 보장되지 않는 경우엔 10% 수준까지 무난하게 TMR 원료로 도입할 수 있음을 확인하였다. 이어서 낙농용 및 비육우용 TMR 을 2종(5% RSS 및 10% RSS 포함)으로 구분하여 배합모형을 만들고, TMR의 적합성을 조사하는 한편, *In Vivo* 소화율 검정을 실시하였는바, 양 TMR 공히 70% 수준의 높은 소화율을 나타내었다. 이 수치를 토대로 반복 생산된 TMR을 가지고 착유우 및 비육말기 거세한우에 대한 급여시험을 실시하였다. 착유우에서는 RSS 혼합률 차이가 산유량의 차이를 가져오지 않았으며, 10% 구에서는 오히려 유지율을 높임으로써 더 높은 경제성을 보여주었다. 비육말기에 있는 한우 거세우에 대한 사양시험에서 RSS를 10% 수준으로 포함한 TMR을 급여한 우군은 건조벚짚을 배합사료와 별도로 급여하거나, 건조벚짚을 포함시킨 TMR 급여군에 비하여 증체와 육질 면에서 더 우수한 결과를 보여 매우 긍정적인 효과를 확인시켜 주었다.

국내 낙농사양에 있어 TMR시스템은 날로 확산되어 이미 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 근래에는 육우사양에 있어서도 그 사용이 증가하고 있다. 안타깝게도 초지여건이 불비하여 유통TMR이 축우용 사료시장을 점유하고 있는 상황에서 조사료의 불일정한 공급과 품귀현상 및 가격양등등은 안정된 축우생산에 걸림돌이 되어 왔으며, 이에 자가TMR을 운용하는 양축농가는 물론, 유통 TMR 생산업체 등에서는 RSS로의 대체 가능성을 고려하고 있음에도 불구하고, 일차적으로 직면하는 어려움으로 이 사료의 영양가치 결정과 절단기술, 가능 배합율과 배합효율 등 여러 가지 기술적 문제가 대두되었었던바, 2년 간의 본 연구를 통하여 거의 대부분

이 해소될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구에서는 시종 일관 RSS 제조에서 TMR 제조 및 동물급여에 이르기까지 경제성 분석을 통하여 현실성 있고 응용 가능한 결과를 도출하고자 노력을 하였는바, 경제성 분석평가 전체를 통하여 RSS 제조 이용의 우수성과 잠재성을 입증한 점은 매우 중요한 기술적 기여라고 여겨진다.

이번 연구로 언급한 기술상의 문제가 해결 개선될 수 있으므로, 앞으로 RSS의 제조와 이용이 증가하고 수요가 확대되면서 유통량 증가와 함께 전형적인 TMR용 주요 조사료로 자리잡게 될 것이며, 궁극적으로 수입조사료를 줄여 외화절약과 방역에 기여하면서 이 나라 사료자급도를 높이는 데 크게 기여하게 될 것임을 확신한다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 시연회 개최

시연회는 이해관계자가 참석하므로 연구결과의 활용을 위한 가장 좋은 수단이며 관련 기술의 효과적 전파를 위한 좋은 기회를 제공한다. 지난 2006년 4월 27일 충북 음성에서 본 연구사업의 협동연구를 위탁받은 (주) 바이오사료연구소의 협조로 ‘생벚짚곤포사일리지를 이용한 TMR 제조 시연회’를 개최하였는바, 50여 명의 TMR 관련업계 종사자를 비롯하여 학계, 연구공무원, 생산분야 종사자들이 참석한 가운데, 연구개발의 의미, 실험연구 과정과 결과에 대한 설명회와 함께, RSS의 절단기계 작업시연과 TMR 혼합공정, 제조 TMR의 혼합효율 검증 등에 관한 시연이 있었으며, 활발한 토론을 통하여 정보를 교환하는 좋은 기회가 되었다.

2. 기술지침서 제작 및 배포

일부 기술관련 정보가 관련 전문잡지 또는 신문을 통하여 보도된 바 있지만, 궁극적으로 본 연구를 통하여 얻어진 새로운 기술관련 내용과 함께 쉽게 이해할 수 있도록 제작된 기술지도 지침을 최종적으로 마련 배포함으로써 RSS의 제조나 이를 유통 또는 이용하는 산업현장에 널리 새로운 정보와 가능성을 소개함으로써 많은 도움을 줄 것으로 확신한다.

3. 타 연구에의 응용가능성

자연의 다양성은 본 연구에서 얻어진 연구결과의 100% 재현을 어렵게 할 수도 있으며, 관련 연구는 일시적이 아닌 꾸준한 연구로만이 신뢰성 있는 결과를 축적할 수 있다. 본 연구에서 얻어진 결과를 토대로 연결되

어야 할 타 연구가 있다면, 이것은 각종 조사료가 장차 대규모로 유통될 경우를 준비하는 성격의 작업이어야 한다. RSS는 발효사료이면서 곤포 단위로 쉽게 유통이 가능하다는 것이 커다란 장점이며, 따라서 현재로 이와 관련된 가장 의미 있는 실용적 연구는 유통 조사료의 사료적 가치를 공정하게 평가할 수 있는 간편하고도 객관성 있는 기준을 수립하는 것을 목적으로 하는 주제여야 한다. 이러한 연구는 품질의 객관적 평가기준을 정립하여 가격을 차등화 할 수 있게 함으로써 저질 제품이 양산되어 불합리한 가격으로 유통되는 것을 막고, 높은 매매상의 신뢰와 함께 전형적인 고품질 발효사료로 쉽게 유통할 수 있는 기반을 만들어 줄 것이다.

4. 기업화 가능성

기존 RSS 제조 영농단을 비롯하여 TMR 제조공장에 대한 원료 조사료의 원활한 공급을 하는 기업은 빠른 속도로 증가할 것이 예상되므로, 본 연구 결과는 간접적으로 기업화에 도움을 줄 것이다.

5. 추가 연구의 필요성

이미 언급한 바와 같이, 적정 품질 등급화 및 가격 차등화를 위한 기술적 방법 개발이 현실적으로 필요한 우선적 연구이다. 다음으로, 본 연구내용 중 복합효소제의 응용은 경제성 면에서 기대치에 못 미쳤는데, 이와 관련된 부분은 별도의 연구를 통하여 다른 각도에서 이용가능성을 찾아야 할 것으로 판단된다. TMR 제조공정에서 현실적으로 개발되어야 하는 연구는, 절단기계 작업에서 원료사료 투입공정에 연결할 수 있는 자동화 가능성에 관한 연구이다. 한편 TMR 원료로서의 RSS와 가장 잘 조화되는 성격을 갖는 다른 원료사료나, 그 영양적 효과를 극대화 할 수 있는 첨가물을 개발하는 연구도 현 시점에서 필요하다고 사료된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

현재 아시아 국가들을 중심으로 참여하는 국제학회에서 발표되는 자료들을 보면, 품질은 낮지만 각종 식물산업 부산물로부터 조사료원을 개발하는 연구와 노력이 매우 활발함을 경험할 수 있다. 이러한 경향은 특히 동남아시아의 여러 나라에서 눈에 띄게 나타나는데, 우리나라와 같은 전형적인 사료 수입국의 입장에서는 오히려 개방화 추세와 함께 만연하고 있는 동식물의 병원체나 해충 등의 방역 차원에서 외부로부터의 조사료의 도입은 매우 신중을 기해야 함을 재삼 실감하였으며, 어렵게 수입이 불가피한 경우에는 반드시 고품질의 조사료이어야 의미가 있으며, 신뢰도 있는 수출선으로부터 들여와야 할 것이다. 이러한 점에서도 RSS의 고품질화와 이용 확대는 큰 의미를 지닌다고 볼 수 있겠다.

- 木部久街. 1974. 稻わらの 飼料的利用(I.Ⅱ.). 畜産の研究. 28:51.
- 강우성, 김종근, 정의수, 김종덕, 김경남. 1999. 라운드 베일을 이용한 생벚
짚사일리지의 품질 향상에 관한 연구. 한국초지학회지. 19:41.
- 곽종형, 김중희, 윤상기, 김현섭, 권응기, 김재황, 유성오. 1995. 벚짚의 과
산화수소 처리가 젖소의 반추위 내 건물소실률 및 분해특성에 미치는
영향. 한국영양사료학회지. 19:371.
- 김정일, 맹원재, 장문백. 1986. 암모니아 및 가성소다 처리벚짚 사료가치
향상비교. 한국축산학회지. 28:86.
- 김종근, 김원호, 서성. 2006. 벚 대체 사료작물의 재배 및 이용기술. 한국
초지학회 학술심포지엄 초록 '벚 대체 사료작물의 재배 및 이용방안'.
p73.
- 문양수, 하종규, 고종렬, 한인규. 1990. 벚짚의 사료가치 개선에 관한 연구.
한국영양사료학회지. 14:84.
- 배동호, 정근기. 1988. 벚짚 암모니아 처리시 암모니아원으로써 요소의 이
용. 1. 요소의 수준, 벚짚의 수분함량 및 처리기간이 벚짚의 화학적조성
및 in vitro 소화율에 미치는 영향. 한국축산학회지. 30:28.
- 서울우유협동조합. 2005. 목장종합실태조사.