

**원형베일 조사료용 트랙터 견인형 세절-급여기 개발(II)**  
**- 원형베일 조사료용 트랙터 견인형 세절-급여기 성능시험-**  
**Development of a tractor attached roughage cut-feeder**  
**for round bale(II)**  
**- Test of a tractor attached roughage cut-feeder for round bale-**

홍동혁* 정희원 H.J.Kim	박경규* 정희원 K.K.Park	하유신* 정희원 T.H.Kim	김혁주** 정희원 Y.M.Koo	김병관*** 정희원 B.K.Kim
------------------------	-------------------------	------------------------	-------------------------	--------------------------

### 1. 서론

최근 국내의 조사료의 이용에 있어 기계화 시스템이 보급됨으로 인하여 벧짚의 수거 및 답리작 램-사일리지는 현재 대부분이 대형의 원형베일로 수거 저장된다. 그러나 이러한 원형 베일은 잘게 세절이 되어야 직접 축사로 또는 배합기로 정량공급이 가능하다. 그러나 원형베일은 무게가 약 500kg 정도로 무거울 뿐 아니라 매우 단단하게 압축이 되어 있어 베일을 풀어서 가축에게 사료를 정량으로 급여하기가 매우 어렵다. 또한 가공된 맥류 램 사일리거나 벧짚은 줄기가 질겨서 TMR배합기에 정량으로 투입하여 배합하는데 많은 문제가 발생하고 있다. 일부 농가에서는 원형 베일을 통째로 자유급식의 형태로 급여를 하는 곳도 있는데 문제는 바닥에 떨어뜨리는 등 손실량이 20% 정도나 되는 것이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 생산·가공된 원형 베일을 우사로 운반한 후에 한번의 작업으로 세절·급여 기능을 할 수 있는 트랙터에 부착된 견인형 원형 베일 세절·급여기를 개발하기 위하여 시작기를 설계 제작하고, 제작된 시작기의 성능을

검증하기 위하여 시작기의 세절성능 및 소요 동력과 작업성능을 시험하고, TMR 배합기에 세절된 재료를 투입했을 경우 배합의 정도를 알기 위하여 배합성능 시험을 실시하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 1. 세절성능 시험

조농분리 급여 또는 TMR 급여 방식에 있어서 국내에서의 요구하는 조사료의 세절길이는 약 10cm정도이며, 본 연구개발을 수행함에 있어서 가장 핵심적인 내용은 대형의 원형베일을 빠른 시간에 양호한 절단성능을 가진 세절기의 개발이다. 이를 위하여 세절 장치부의 고정날과 회전날의 여러 조합을 개발하였으며, 각각에 대한 세절 성능시험을 수행하였다.

세절장치부의 개발을 위하여 참조모델의 세절 성능을 조사하고 다양한 형태의 설계 개발된 고정날과 회전날로 이루어진 세절부를 제작하였으며, 각각의 세절부 세절 성능을 시험하였다. 세절 성능시험은 경북대학교 칠곡 농장에서 이루어졌으며, 세절부만을 공장에서 따로 제작 후 현장에서 조립 후 실시

\* 경북대학교 생물산업기계공학과  
 \*\* 농촌진흥청 농업공학연구소  
 \*\*\* (주)라이브 맥

되었다. 사용트랙터는 포드사의 54ps급을 사용하였으며, 세절 성능시험에 주요재료는 절긴 정도가 가장 큰 벃짚을 사용하였다. 실험 후 배출된 재료의 세절상태를 확인하였으며, 재료의 세절길이별로 분류하여 측정하였다.

## 2. 배합성능 시험

일반적으로 세절하지 않은 벃짚을 TMR 배합기로 투입하면 배합효율을 떨어뜨리고, 배합시 소요동력의 증가 등 배합성능이 떨어지므로 반드시 적절한 길이로 세절한 후 투입하여야 한다. 본 연구에서는 개발된 원형 베일 세절·급여기를 통하여 절단된 벃짚을 현장에 사용하고 있는 TMR 배합기에 투입하여 배합효율과 배합사료의 상태를 확인하였으며, 이를 통해 원형베일세절기의 절단성능을 시험하였다. 시험은 영남대학교 축산학과 부속농장에서 웅진정밀의 WMT6 TMR 사료배합기를 사용하였다.

배합기의 성능 시험에 사용된 원료는 표 1에서 보는 것과 같이 조사료 및 사일리지를 주원료로 사용하였으며, 배합효율을 분석하기 위하여 배합원료 중에 가장 비중이 낮은 면실(cotton seed)의 배합 분포도를 측정하여 배합효율을 판별하였다. 면실은 서로 엉기고 비중이 가볍기 때문에 잘 배합되지 않는 성질이 있다. 따라서 이러한 면실이 골고루 배합이 되어 있다면 배합효율이 좋은 것이며, 이는 원형베일 세절·급여기에서 절단된 벃짚의 길이가 배합에 적절한 것으로 판단해도 좋을 것이다.

배합효율은 1000g씩 10개의 샘플을 채취하여 각 샘플에서 면실의 무게를 측정하여 면실의 분포도를 나타내는 C.V.(Coefficient of variance of composited sample)값을 산출하여 분석하였다.

Table 1 Various mixture raw material

	cutting rice straw	rye hay	cotton seed	feed grains	corn silage
weight ( kg )	88	52	30	75	195

그림 1은 세절된 벃짚을 배합기로 투입하고 있는 장면이며, 그림 2는 배합기에서 배합되고 있는 모습이다.



Fig. 1 Input rice straw



Fig. 2 mixing process with cottonseed

## 2.3. 소요동력 및 작업성능 측정시험

원형베일 세절·급여기를 이용한 베일의 세절시 작용하는 소요 동력의 측정은 아래의 그림 3에서 나타난 바와 같은 계측 시스템을 구성하여 측정하고 data를 저장하도록 하였으며, 동시에 재료별 세절시간을 측정하여 작업성능을 측정하였다.

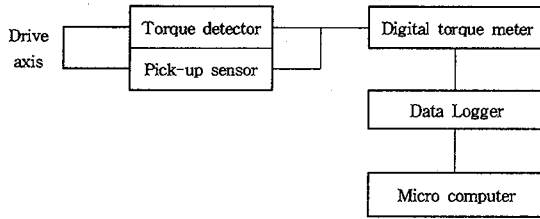


Fig. 3 Schematic of measuring power of driving axle

원형베일 세절-급여기의 소요동력 측정은 전라북도 김제의 만경공단에서 이루어졌으며, 트랙터는 KUBOTA사의 43마력 트랙터 GL418였으며, PTO에 연결된 유니버설조인트와 원형베일 세절-급여기 입력축 사이에 토크를 측정하기 위한 토크측정기와 회전수를 측정하기 위한 전자픽업센서를 설치하고 이들에서 발생된 신호를 증폭하여 토크와 회전수로 나타내는 디지털토크미터를 설치하였다. 또한 출력데이터를 수집하기 위하여 data logger를 설치하여 디지털토크미터에서 출력되는 값을 읽어 들였으며, 이를 RS-232 포트를 통하여 컴퓨터와 연결하여 토크와 회전수를 측정하는 시스템을 구성하였다. 시스템을 구성한 후 마른벼짚, 호맥 램사일리지, 보리 램사일리지, 수단 램사일리지 4종류의 베일을 투입하면서 토크 및 회전수를 측정하였다. 사용된 토크 측정장치의 사양은 아래의 표 2와 같고 그림 4와 그림 5에서 토크측정기와 디지털토크미터, 데이터 수집기의 설치장면을 나타내었다.

Table 2 Specifications of the power measuring system

item	specification
Torque detector	Model : SS-500
	Capacity: 50kg-m
	Maximum speed: 6000rpm Company: ONO SOKKI
Digital torque meter	Model : TS-200
	Company: ONO SOKKI
Data log	Model : HP34970A
	Company: Agilent Technologies
Software	HP Benchlink

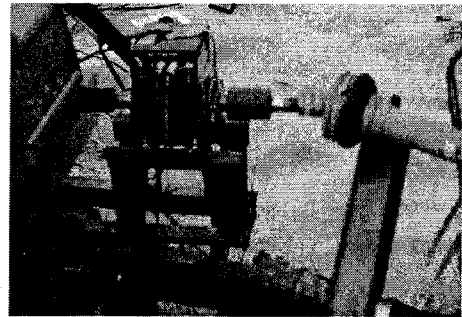


Fig. 4 Torque detector

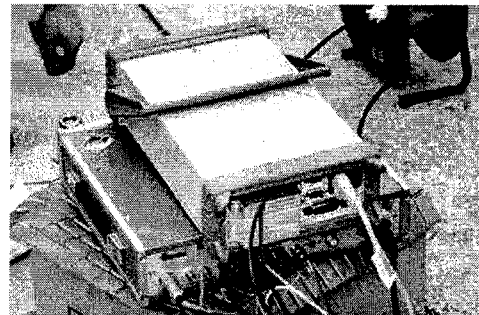


Fig. 5 Toque meter and data log

원형베일 세절·급여기의 작업성능은 소요동력 측정과 동시에 진행되었으며, 베일당 처리시간을 기준으로 평가하였다. 처리용량은 마른벼짚베일, 호맥 램사일리지, 보리 램사일리지, 수단 램사일리지 4종류의 재료를

각각 투입하여 완전히 세절 배출될 때까지의 시간으로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1. 세절성능 시험

원형베일 세절-굽여기의 세절장치부는 원형 베일을 풀어내면서 세절장치부의 고정날과 회전날 사이에서 조사료를 세절하고 이를 배출장치로 보내게 된다. 그런데 개발참조모델의 세절 시험 결과 세절길이가 40~50cm 정도로 우리나라에서 이용하기 위해서는 새로운 세절부의 설계 및 제작이 필요했다. 따라서 길이가 20~30mm 길어진 빗살무늬 삼각날을 사선으로 설치하여 회전날과 끝단부가 날카롭게 날이 있는 계단형태의 고정날로 변경하고, 고정칼날 하나에 회전칼날 두 개가 2~3mm의 간격을 가지는 총 18쌍을 설치하여 보다 효과적인 세절 작용이 이루어지는 세절부를 설계 제작했으며, 그 결과 세절 길이가 10~15cm(80%), 15~25cm(20%)정도로 배출되었으며, 또한 재료가 단순히 절단되는 것이 아니라 타격에 의해 찢겨지면서 부드럽게 연화되는 효과를 가져 세절과 타격에 의한 연화작용이 동시에 일어나 매우 우수한 세절성능을 보였다.

#### 1.1. 참조모델의 세절성능 시험

개발 참조모델의 세절 성능시험 결과 재료가 예리하게 절단되는 것이 아니라 찢어지는 형태를 보였으며, 재료가 타격은 되었으나 세절되지 않은 것이 다수 발생하였다. 호맥 랩 사일리지 세절 시험한 결과 세절길이는 30-40cm인 것으로 나타났으며, 작업성능은 베일 하나를 세절하는데 약 5-8분정도 소요되는 것으로 나타나 상당히 우수하였으나, 세절길이는 벧짚과 호맥 사일리지 모두 매우 길게 세절이 되어져 국내 축산농가 및 TMR 배합소에서 필요로 하는 세절길이에 크게 못 미치는 것으로 나타났다. 세절 성능시험을 통한 세절 매카니즘 분석 결과 고정날이 없

는 칼날부에서 세절이 잘 일어나지 않았고 V자 형으로 조립된 2개의 칼날과 고정날 사이의 세절도 매우 둔하게 이루어지고 있었으며, 또한 칼날의 타격을 받았지만 잘려지지 않은 것이 다수 발생하였다. 특히 호맥을 가공한 랩-사일리지와 벧짚 등을 세절한 결과 조사료의 세절 길이는 각각 30~40cm, 40~50cm로 조사되어 가축에 급여하기에는 매우 길며 TMR 배합기에 투입할 경우 배합이 불가능하거나 소요동력이 매우 커질 우려가 있는 것으로 판단되었다.(박경규, 1998) 이에 대한 주원인으로는 칼날 길이가 짧아 재료에 대한 타격력이 부족하며, V자 형의 굽은 칼날은 조사료 절단에 좋은 효과를 내지 못하고 있었으며, 회전날의 날 부분이 예리하지 못하고 고정날의 끝단에도 날카로운 부위가 형성이 되어있지 않아 세절이 정확히 이루어지지 않은 때문인 것으로 판단되었다. 또한 세절되지 않고 빠져 나오는 재료도 일부 발생하고 있었는데 그 것은 축 방향의 칼날의 간격이 약 30cm가 되어 빈 공간이 많이 발생했기 때문으로 분석이 되었다. 따라서 세절 길이를 줄이고 재료를 정확히 절단하기 위해서는 새로운 세절 장치부의 개발이 필요하다. 그림 6은 세절 후 벧짚의 모습이다.

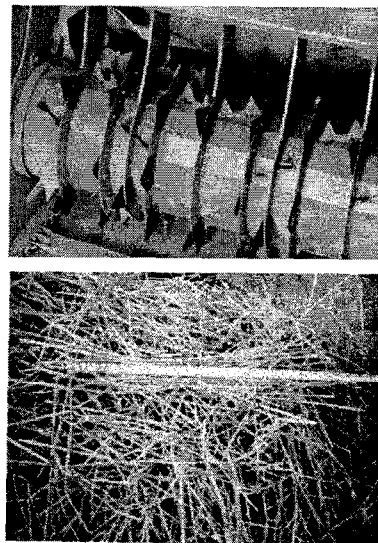


Fig. 6 Cutting length of reference system

1.2. 세절 장치부 수정 후의 세절성능 시험

국내 원형 베일의 효과적인 사용을 위해서는 세절길이가 약 10cm 정도가 알맞은 것으로 조사되었으나, 참조모델의 세절길이가 40~50cm로 나타나 새로운 세절부의 개발이 필요했으며, 다양한 형태의 고정날과 회전날을 제작하고, 여러 형태의 조합을 통하여 세절부를 제작 완료하였다. 아래의 그림 7은 고정날의 개수를 늘리고, 고정날의 형태를 날카롭게 하여 재료의 세절이 효율적으로 이루어지도록 하였으나, 세절시험 결과 재료가 타격은 되었으나 세절이 이루어지지 않은 것이 다수 발생하였으며, 벧짚의 세절 길이는 40~50cm(60%), 25~35(20), 15~20(20%)로 나타나 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

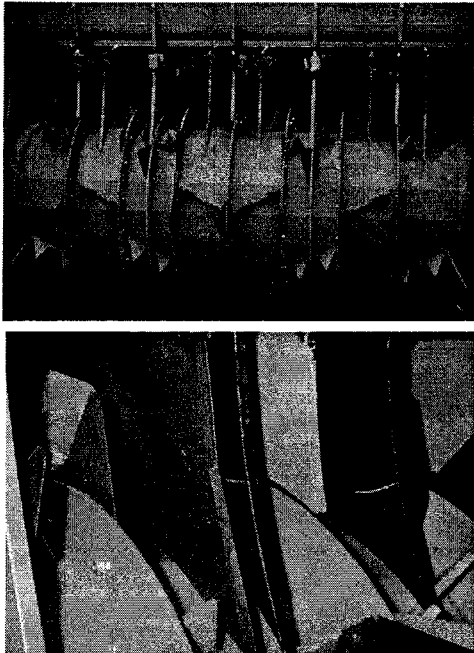


Fig. 7 Redesign of the fixed blades by addition more modified blades

그림 8은 고정날의 형태를 수정한 후 추가 조립하였으며, 회전날을 모두 일자형의 민무늬 형태로 수정한 후 조립한 모습이며, 재료의 세절시험 결과 앞서의 결과보다는 양호한 결과를 얻었으나, 벧짚의 세절길이가 30~

40cm(60%), 20~25(20), 15~20(20%)인 것으로 나타나 여전히 기준에 적합하지 않았다.

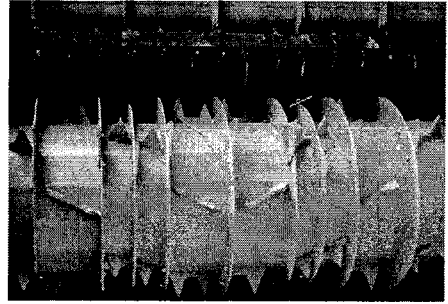


Fig. 8 Redesign of the fixed and rotary blades

그림 9는 민무늬 삼각 회전날을 부착한 플랜지를 7cm 간격으로 회전날 프레임에 추가로 조립하고, 토크를 일정하게 유지하기 위하여 회전날을 사선으로 조립하였으며, 세절의 효과를 높이기 위하여 날이 있는 새로운 형태의 고정날을 제작하여 회전칼날 1개와 고정 칼날 2개가 한 조를 이루어 틈새가 2~3mm간격으로 유지할 수 있도록 제작 조립한 모습이며, 벧짚의 세절시험 결과 세절길이가 30~

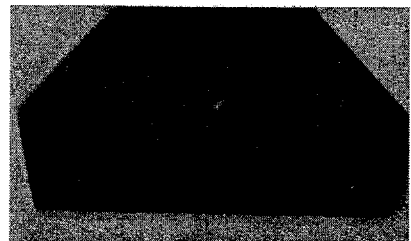


Fig. 9 Redesigning by adding more blades

40cm(30%), 20~25(20), 10~15(50%)로 앞서의 세절성능에 비하여 많이 개선되었으나 여

전히 기준에는 적합하지 않는 것으로 판단되었다.

그림 10은 고정칼날의 배열을 회전칼날 1개와 틈새가 2~3mm간격이 되도록 수정한 후에 조립한 모습으로 벚짚의 세절시험 결과 30~40cm(35%), 20~25(25), 10~15(40%)인 것으로 나타나 그림 9에서 제작된 세절부에 비하여 세절성능이 더 못한 것으로 나타났다.

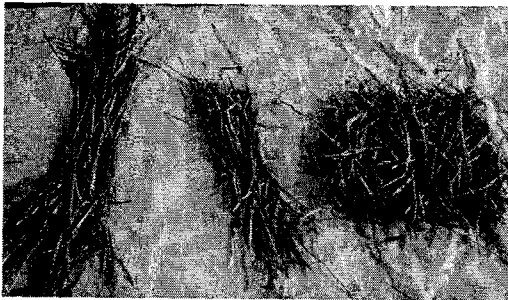
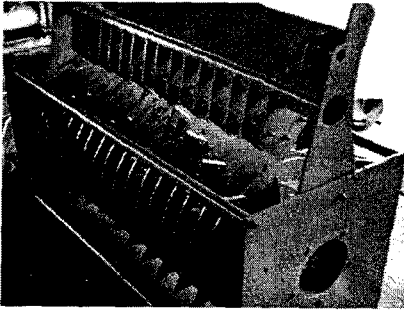


Fig. 10 Adjustment of the fixed blade arrangement and picture of cutting length

### 1.3. 시작기의 세절성능 시험

새로운 세절 메카니즘의 의해 제작된 시작기는 회전날과 고정날 사이에서의 재료의 세절작용이 원활히 이루어지기 위해서는 그림 11에서와 같이 고정날의 형태를 날이 있는 계

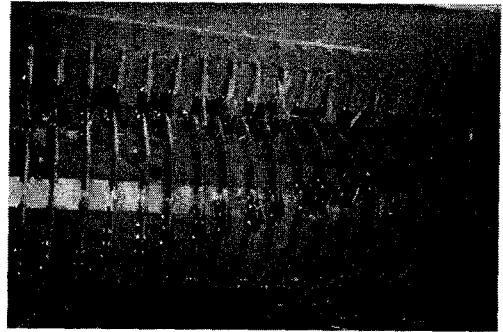
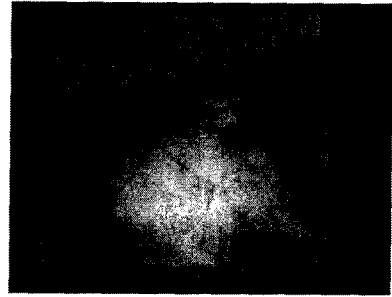
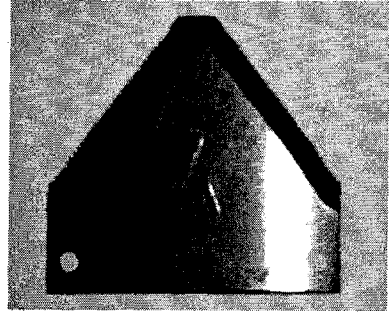


Fig. 11 Designed prototype of cutting model

단식의 형태로 제작하고, 빗살무늬 회전날로 교체한 후 고정날 1개와 회전날 2개를 1조로 하여 18조로 조립하였으며 이 때 회전날과 고정날의 틈새를 2~3mm 간격으로 하였으며, 고정날과 고정날 사이의 틈은 재료가 세절없이 통과되는 것을 막기 위하여 고정판으로 막아 세절의 효과를 극대화 시켰다. 그림 12는 벚짚의 세절길이를 나타낸 것으로 세절성능 시험 결과 15~25(20), 10~15(80%)로 나타나 기준에 도달하는 것으로 나타났다.

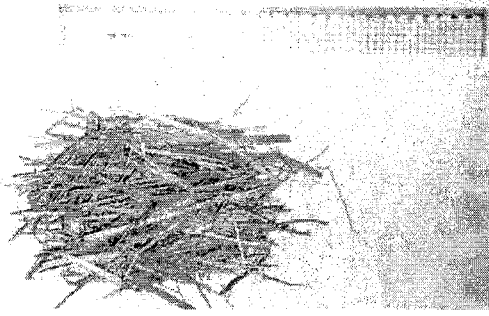


Fig. 12 Shortened specimen in length after cutting process

## 2. 배합 성능 시험

배합성능 시험 결과 조사료 및 사일리지 위주의 배합원료임에도 불구하고, 조사된 면실의 배합 상태는 면실의 무게에 대한 C.V. 값이 13.6%로 배합정도가 우수한 것으로 나타났다. 또한 그림 13은 원형베일 세절·급여기로 세절 후(절단길이 10~15cm(80%)) 투입된 볏짚이 배합과정을 거치면서 길이가 더욱 짧아지고 부드럽게 연화된 모습(절단길이 3~4cm)이며, 그림 14에서는 배합된 사료의 모습을 보여주고 있는데 배합이 매우 양호함을 알 수 있다. 따라서 배합효율과 배합상태를 고려하였을 때 개발된 원형베일 세절-급여기의 볏짚 절단성능은 양호한 것으로 판단된다.

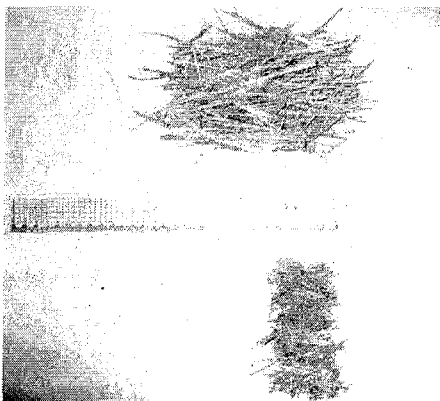


Fig. 13 Shortened specimen in length after mixing process

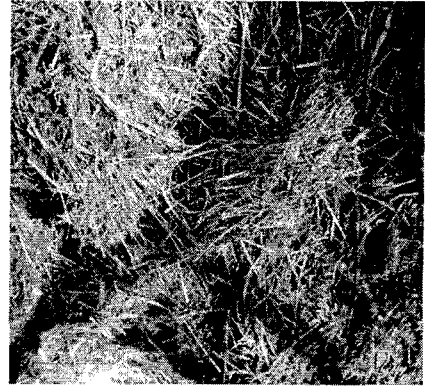


Fig. 14 Experimental mixture state after mixing process

## 3. 소요동력 및 작업성능 시험

원형베일 세절-급여기의 무부하 소요동력 측정은 트랙터 엔진 회전수를 2,100rpm으로 고정시켰으며, 이때의 PTO 회전수는 240rpm으로 나타났다. 재료의 투입 없이 원형베일 세절-급여기 세절부만을 작동시켰을 때의 동력은 3~4ps이 소모되는 것으로 나타났으며, 배출 팬을 동시에 구동하였을 때는 7~8ps가 소모되는 것으로 측정되었다. 원형베일 세절-급여기의 재료별 소요동력의 측정은 고정날을 최대한 앞쪽으로 밀고 컨베이어의 이송속도를 조절하여 재료의 세절량이 일정하도록 투입량을 조절하였다. 측정결과는 아래의 그림에서 투입재료별로 나타내었다. 그림 15는 마른볏짚베일의 시간에 따른 세절소요동력을 나타내고 있으며, 그림 16은 호맥, 그림 17은 보리, 그림 18은 수단그라스의 시간에 따른 세절소요동력을 나타내고 있다.

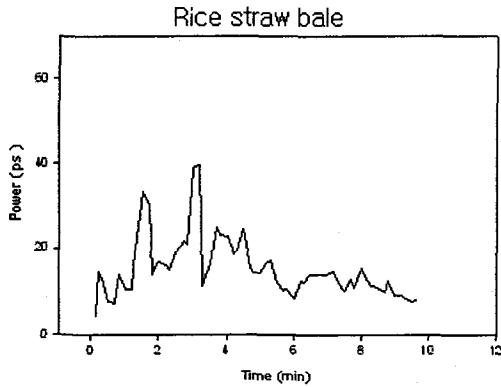


Fig. 15 required cutting power rice straw Rye bale

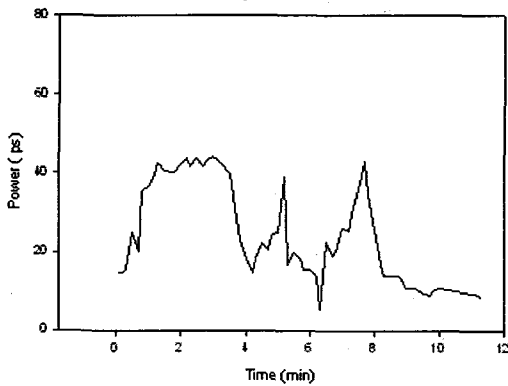


Fig. 16 required cutting power rye wrap silage

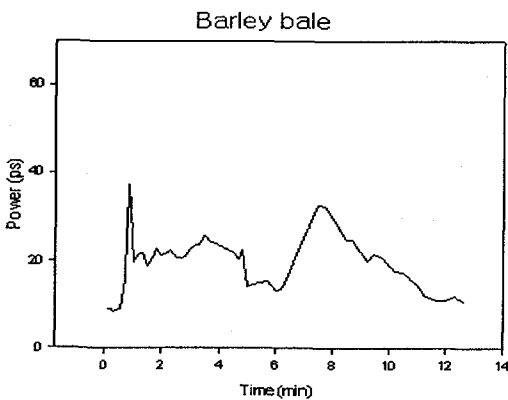


Fig. 17 required cutting power barley wrap silage

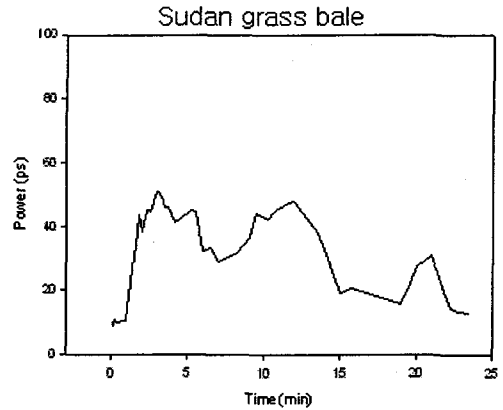


Fig. 18 required cutting power sudan grass wrap silage

소요동력은 세절 작업 중 불규칙적으로 나타나 회전날에 의한 세절량이 불균일한 것을 알 수 있으나, 위에서 살펴본 바와 같이 동력이 최소 8ps에서 최대 51ps(수단그라스 랩 사일리지)까지 소요되어 작업 트랙터는 개발 예상 제원인 50~70ps을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 예상과 달리 마른벼짚이 20ps 이하의 동력을 소모하면서도 가장 빠른 작업성능을 나타내었으며, 수단그라스 랩 사일리지가 35ps 이상의 비교적 높은 동력을 소모하면서도 가장 낮은 작업성능을 나타내었다. 이는 세절부에서 세절시 세절 재료의 함수율이 높으면 세절재료가 고정날과 회전날 사이에서 절단이 일어나는 것이 아니라 뭉쳐지면서 세절 공간을 막아 소요동력이 증가하기 때문인 것으로 판단되며, 실험시 수단그라스 랩 사일리지의 경우 피복된 비닐이 파손되어 상당히 높은 함수율의 상태였다. 표 3은 재료별 최대소요동력과 작업성능 측정 결과이다.



Table 3 Capacity and max requirment power

	no load	rice straw bale	rye bale	barley bale	sudan grass bale
max requirment power( ps )	8	39.8	43.9	37.3	51.0
capacity ( min/bale )	-	9.7	11.3	12.3	23.5

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 국내 낙농의 규모화에 문제가 되고 있는 원형 베일의 세절 및 급여에 소요되는 과도한 노동력과 효율적인 사료급이를 위해서 2년에 걸쳐 수행되었으며, 설계 제작된 시작기의 성능시험 결과는 다음과 같다.

가. 원형베일 세절-급여기 시작기의 세절 성능시험 결과 세절 길이가 10~15cm 벧짚이 80%정도 배출되어 국내 축산 농가 및 TMR 배합소에서의 조사료 투입에도 가능한 것으로 판단되었다.

나. 시작기에서 세절된 벧짚을 TMR 배합기를 통하여 조사된 면실의 배합 결과는 면실의 무게에 대한 C.V. 값이 13.6%로 배합정도가 우수한 것으로 나타나 배합효율과 배합상태를 고려하였을 때 개발된 원형베일 세절·급여기의 벧짚 절단성능은 매우 양호한 것으로 판단되었다.

다. 시작기의 소요동력은 최소 8ps에서 최대 51ps까지 소요되어 작업 트랙터는 개발예상 제원인 50~70ps을 만족하는 것으로 나타났으며, 세절 작업성능은 베일당 10-12분 정도인 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 김혁주.2001. 답리작 맥류 랩 사일리지의 기계화 시스템 모델 개발. 경북대학교 박사학위 논문.
2. 한국농업기계학회. 하계학술대회 논문집. 2002.
3. 박경규 외 6인. 1996a. 축산기계 및 시설. 문운당.
4. 정창주, 김경옥. 1997. 농작업기계학. 서울대학교 출판부.
5. 시험연구보고서 농업기계화연구소. 2000
6. 김혁주, 박경규, 김태한, 구영모. 답리작 맥류 랩-사일리지의 기계화 시스템 모델 개발(3).한국농업기계학회지. 28(3): pp199-208. 2003.
7. Donnell Hunt. 1983. Farm power and machinery management
8. Kepner, R. A., Roy Bainer, E. L. Barger. 1973. Principles of farm machinery