

원형베일 조사료용 트랙터 견인형 세절-급여기 개발(I) - 세절 메카니즘 개발-

Development of a tractor attached roughage cut-feeder for round bale(I)

- Development of a cutting mechanism -

홍동혁*
정회원
H.J.Kim

박경규*
정회원
K.K.Park

하유신*
정회원
T.H.Kim

김혁주**
정회원
Y.M.Koo

김병관***
정회원
B.K.Kim

1. 서론

최근 국내의 조사료의 이용에 있어 기계화 시스템이 보급됨으로 인하여 벧짚의 수거 및 담리작 랩-사일리지는 현재 대부분이 랩-사일리지의 경우 500kg 내외, 마른 벧짚의 경우 300kg 내외의 대형 원형 베일의 형태로 수거 저장되나, 급여시 압축·결속된 베일을 그대로 급여하거나 범용의 커터기로 대형의 원형베일을 일정 두께로 풀어서 세절 급여하므로 많은 허실로 인한 손실이 크고, 세절시 과다한 노동력과 시간이 허비되고 있다(김혁주, 2001). 또한 대형의 원형베일을 TMR 배합기에 정량 투입하기 어렵고, 벧짚의 줄기가 질겨서 배합하는데 많은 문제점을 발생시키고 있어, 대부분의 TMR 사료에서 벧짚 및 랩-사일리지를 이용하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 생산된 원형 베일을 우사로 운반 후에 한번의 작업으로 세절·급여 기능을 할 수 있는 원형 베일 세절·급여기의 개발이며, 이를 위해 본 연구에서는 국내 조사료 중 세절에는 가장 많은 에너지가 소요되는 벧짚을 기준으로 원활한

세절작용을 위한 세절 메카니즘 및 세절부의 부품을 설계 개발 하였다.

2. 재료 및 방법

1. 시작기 세절 장치부 설계

세절 장치부의 제작 및 개발은 본 연구에서 가장 핵심적인 내용으로서, 외국의 경우 조사료의 대부분이 일반 건초 또는 목초로 국내에서 주로 사용되는 벧짚과는 매우 다르다. 벧짚은 특성상 다른 건초에 비하여 매우 질길 뿐 아니라 규소성분이 많아 세절용 칼날의 마모가 심하고 또한 매우 큰 동력이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 국내 벧짚 및 랩-사일리지의 세절길이를 줄이고 재료를 정확히 절단하기 위해서 고정날-회전날-재료 고정 장치로 구성되는 새로운 세절 메카니즘을 설계하였으며, 여기에 알맞은 고정날과 회전날을 설계하고, 세절 작용시 칼날축부에 작용하는 토크에 의한 충격을 완화하기 위하여 회전날을 나선식으로 배열하였다. 또한 원형베일을 원활하게 풀어내고 잘려진 조사료를 배출장치로 배출하는 기능을 가진 칼퀴형의 브라켓과 회전날 축의 양 끝단이 재료에 감기지 않도록

* 경북대학교 생물산업기계공학과

** 농촌진흥청 농업공학연구소

*** (주)라이브 맥

하는 감김방지용 브라켓을 장착한 회전날 축을 설계하였으며, 축방향의 칼날 간격을 좁게 하고, 확실한 세절 작용을 위하여 회전 칼날 2개 사이에 고정 칼날이 지나갈 때의 틈새를 1~2 mm로 유지할 수 있도록 각 부품을 정밀하게 설계하였다.

1-1. 시작기의 세절 메카니즘 설계

본 연구에서는 새로운 세절 메카니즘을 아래의 그림 1과 같이 개발하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 원형의 베일은 칼날축에 용접으로 부착된 원형의 플랜지에 볼트로 조립된 회전날에 의해 일정한 두께로 세절부로 진입하는데, 일정 두께 이상은 고정날에 의하여 밖으로 다시 배출되고, 세절부로 진입한 재료는 고정날 및 회전날에 의해 이루어지는 원호형의 공간 내에 갇히고 이어서 회전날과 고정날의 세절작용에 의해 세절되어진다. 이 때, 재료의 세절은 원호를 따라 계속적으로 일어나고 마지막 남은 재료는 고정날과 회전날이 마주치는 지점에서 최종적으로 세절되므로 세절시 충격을 대폭 줄일 수 있다. 또한 회전날과 고정날에 의한 세절시에는 그림 1에 나타난 것과 같이 칼날부의 좌우측에 세절시 재료가 움직이지 않도록 고정하는 고정 잡이판이 설치되어 확실한 세절이 가능하도록 설계 하였다. 이와 같은 새로운 세절 메카니즘은 확실한 세절작용과 세절시의 충격완화작용이 이루어진다.

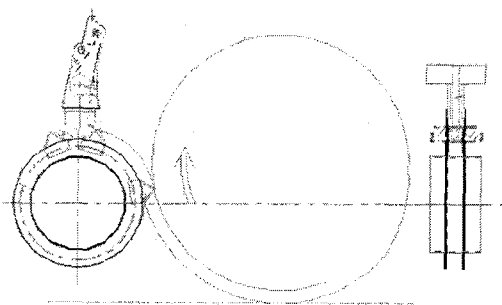


Fig. 1 cutting mechanism of the prototype cut-feeder

1-2. 고정날과 회전날의 설계

새로운 세절 메카니즘의 의해 설계된 회전날과 고정날 사이에서의 재료의 세절작용이 원활히 이루어지기 위해서는 그림 2에서와 같이 회전날과 고정날 사이의 협각(挾角)이 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 협각은 20°~50°사이에서 세절이 가장 깨끗하게 이루어지는 것으로 보고되고 있는데, 본 연구에서 개발한 세절 시스템에서는 25°~30°사이의 세절 협각을 유지할 수 있도록 설계 하였다. 또한 본 메카니즘에서의 회전날부의 절단각은 자유절단시 세절작용이 가장 좋은 35°~40°사이인 37.5°로 고정하고 고정날의 톱니부분의 각도는 회전날과의 각도가 위의 협각을 벗어나지 않도록 설계하였다.

회전날 및 고정날의 경우 재료를 정적인 상태에서 절단하여 보면 재료에 따라 차이가 있지만 대체로 그 계각을 약 20°~30°로 하는 것이 가장 적당하였으며, 따라서 본 연구에서는 회전날과 고정날의 계각을 25°로 설계 하였다.

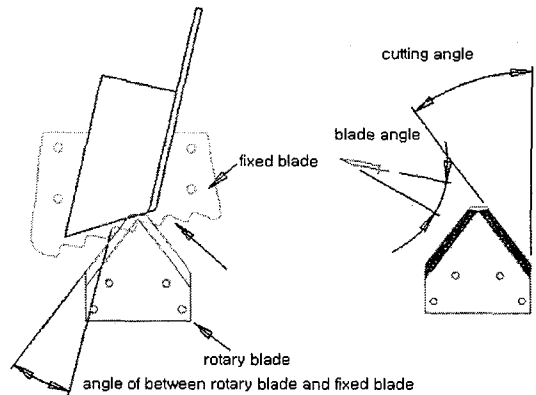


Fig. 2 Rotary blade and fixed blade for the designed cutting mechanism

1-3. 토크에 의한 충격을 완화하기 위한 나선식의 회전날 배열

이렇게 설계된 세절장치부도 회전날을 전체 칼날축 상에서 일(一)자 형태로 배열하게 되면 세절부로 진입하는 재료가 일시에 세절되고

따라서 전체 칼날축부에 큰 충격을 가하게 된다. 따라서 이를 방지하기 위해서 그림 3과 같이 회전날을 칼날축 상에서 나선형으로 배열하여 재료의 세절작용이 칼날축의 회전에 따라 1번 플랜지 첫 번째 부착 칼날에서 우측으로 순차적으로 일어나도록 하였다. 그림에서는 플랜지 당의 칼날이 4개씩 부착되므로 1번~18번의 플랜지까지의 칼날은 나선형의 배열이 되고 플랜지 측면에서 보면 90°의 각도가 된다.

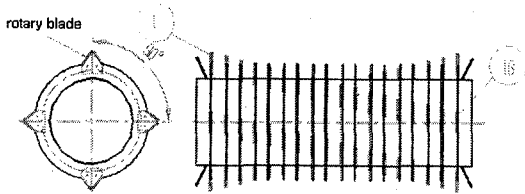


Fig. 3 Spiral arrangement of four rotary blades per a flange

또한 그림 4와 같이 플랜지 당의 칼날수를 6개로 할 경우 그 각도는 60°가 되며 위의 칼날 배열보다 칼날간의 각도가 적어 세절시 재료의 고정작용이 보다 확실해서 세절작용이 우수하지만 칼날의 갯수가 많아 가격 면에서 불리할 것으로 판단되어 본 연구에서는 플랜지 당 칼날수를 4개인 것으로 설계하였다. 그러나 위와 같은 칼날의 배열은 칼날축상의 회전날을 나선형이 되도록 하지만 칼날축 회전시 세절은 1개소에서 일어나므로 전체 칼날축으로 보면 세절시 충격에 의해 칼날축부 좌우측단의 불균형을 초래하는 측면이 있는데, 이는 세절량이 많을수록 그 효과가 크게 나타날 것으로 판단된다.

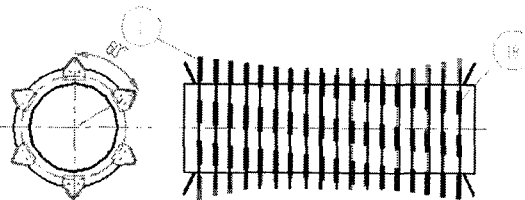


Fig. 4 Spiral arrangement of six rotary blades per a flange

따라서 이러한 경우에는 세절부의 공간을 줄여 회전날 1개당의 세절량을 줄이고 칼날축상의 회전날의 나선형 배열을 그림 5와 같이 하여 칼날축 회전시 1번 및 2번 회전 칼날에서 세절이 동시에 일어나고 이러한 작용이 순차적으로 우측으로 전달되면서 일어나도록 설계 하였다. 이렇게 하면 세절시의 충격이 칼날축상에서 균형적으로 가해지게 되어, 보다 안정적인 세절작용이 가능할 것으로 판단된다.

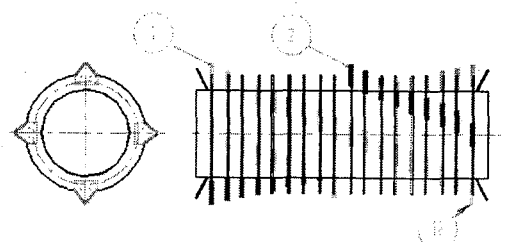


Fig. 5 Spiral arrangement for two blades simultaneous cutting

1-4. 세절기능 향상을 위한 칼날축의 설계

본 연구에서는 회전날 축에는 여러 가지의 세절성능 향상을 위한 장치를 마련하였는데 그림 6에 나타낸 플랜지와 플랜지 사이에 칼퀴 형의 브라켓은 원형베일을 세절부로 안정되게 잡아당기는 기능과 세절된 재료에 원심력을 가하여 전방으로 보내주는 기능을 하는 장치이다. 본 장치가 없을 경우 원형베일이 풀릴 때 좌우측이 안정적이지 못하며, 세절된 재료가 외부로 송출되지 못하고 적재함 내부에 떨어지게 되어 연이어 투입되는 재료의 세절작업을 방해한다. 따라서 브라켓은 칼날축을 전방에서 보아 중앙을 중심으로 좌우 대칭이 되도록 “∧”형태로 배열하였다.

또한 조사료는 길이가 길어 회전축에 감기는 현상이 발생할 수 있는데, 특히 칼날축 좌우측의 회전부와 고정부 사이 틈새에 끼이면서 감기면 칼날축 회전에 악영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해 그림과 같이 좌우 끝단에 감김 방지 브라켓을 설치하였으며, 회전날 축의 단면은 16각형으로

제작하여 세절 작업시 비틀림에 대한 저항력을 증대시키도록 설계 하였다. 계산에 의하면 회전축 중심에 대한 단면계수가 16각형인 경우 같은 반경을 가지는 원형 회전날축에 대하여 2.2배 높으므로 같은 회전 부하에 대하여 16각형의 회전날축이 원형의 회전날 축에 비해 2.2배 높은 안전도를 유지할 수 있다.

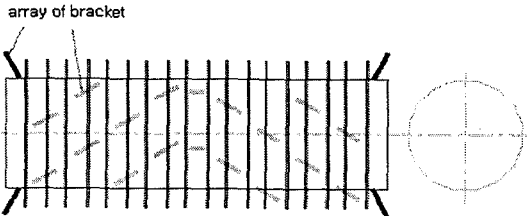


Fig. 6 Arrangement of brackets for raking and preventing from wound roughage on the shaft

3. 결과 및 고찰

1. 세절장치부의 제작

세절장치부의 구성은 크게 고정날 프레임에 부착된 고정날 부분과 원통형의 회전 드럼에 플랜지가 용접되어 칼날을 장착하는 회전날 부분이 조합되는 방식을 채택하였으며, 세절부는 원형 베일을 풀어내면서 고정날과 회전날 사이에서 조사료를 세절하고 이를 배출장치로 보내도록 하였다. 또한 조사료는 고정날에 닿지 않더라도 회전날이 고속으로 회전하면서 잘게 잘라지게 된다.

세절부 칼날축의 제작에 있어 가장 중요한 사항은 1,000rpm 이상의 안전한 고속 회전이 가능하고 이를 통하여 조사료를 완전히 절단 하는 것이다. 이러한 고속 회전이 가능하려면 칼날축 회전시의 회전 balance의 불균형이 없도록 제작되어야 한다. 따라서 고속 회전시 질량의 불균형이 있으면 회전 중 파손 등의 극히 위험한 상태에 이를 수 있으므로 이러한 현상을 방지하기 위해서 레이저를 이용하여 부품을 정확하게 가공하였으며, 용접 변형을 방지하기 위하여 용접지그를 제작 이

용하였다. 또한 제작완료 후에는 칼날축 중심의 동 밸런스를 점검해야 하는데, 운전 중에 이러한 밸런스의 불균형을 조사할 수 있는 장비는 매우 고가이므로 제작된 세절부는 정적인 상태에서 질량의 불균일 상태를 점검하기 위하여 그림 7과 같은 별도의 장치를 제작하였다. 이러한 장치를 이용하여 수동으로 정적인 상태에서의 질량의 불균형량을 찾아내고 이를 제거하면서 칼날축의 제작을 완료하였다. 또한, 제작된 칼날축의 고속회전 테스트 결과 큰 문제점이 없는 것으로 나타났다.

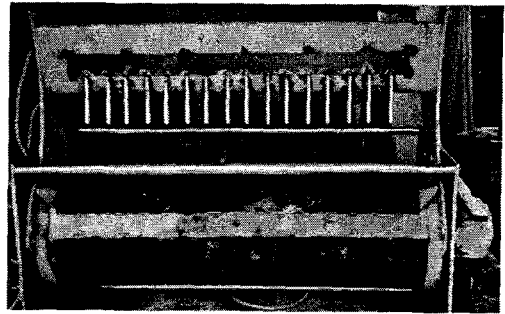


Fig. 7 Jig for removing unbalanced mass

그림 8과 9는 제작된 고정날과 회전날의 모습이며, 그림 10과 11는 고정날 및 회전날 프레임이며, 그림 12는 회전날 2개 사이에 고정날이 1-2mm 간격을 가지고 1조를 이루어 세절작용을 할 수 있도록 제작되어진 최종 개발기대의 세절장치부 모습이다.

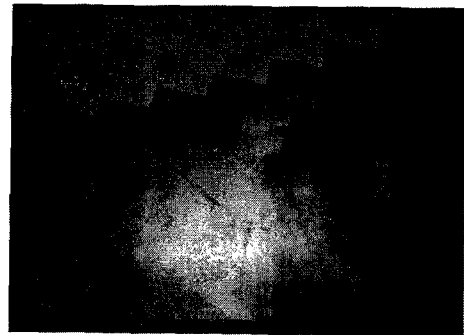


Fig. 8 A fixed blade

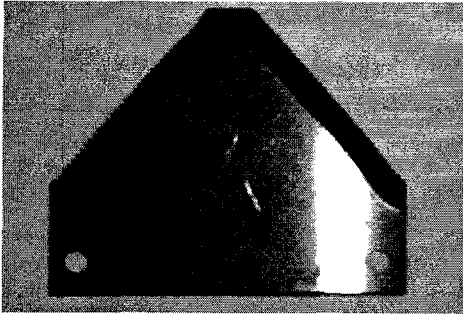


Fig. 9 A rotary blade

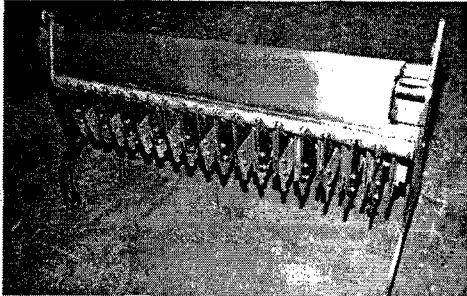


Fig.10 A assembly of fixed blades

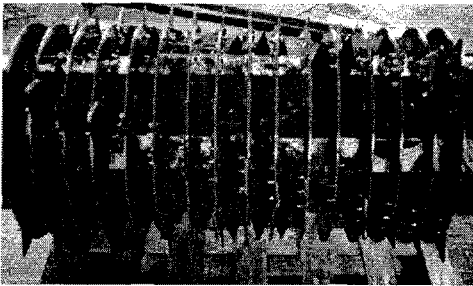


Fig.11 A designed rotary blade frame

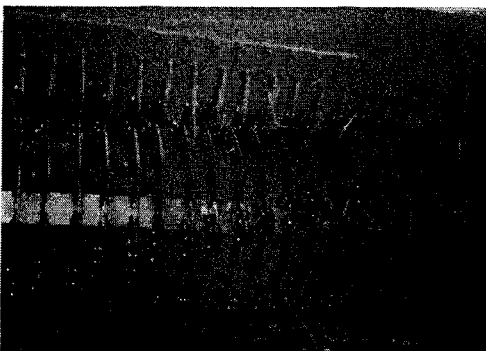


Fig. 12 A developed cutter

4. 요약 및 결론

본 연구는 국내의 답리작 램-사일리지 및 벧짚 등의 대형 원형 베일을 한번의 작업으로 세절 및 급여 할 수 있는 원형 베일 조사용 트랙터 견인형 세절-급여기 개발에 관한 것으로 외국의 건초나 목초와 달리 절단저항이 큰 벧짚 등의 원형 베일까지 원활히 세절할 수 있도록 하기 위하여 세절 메카니즘을 개발하고, 여기에 적합한 세절 부품들을 설계 제작 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 원형 베일 세절시 일정 두께 이상은 고정날에 의하여 밖으로 다시 배출되고, 세절부로 진입한 재료는 고정날 및 회전날에 의해 이루어지는 원호형의 공간 내에서 세절되어지며, 이때 칼날부의 좌우측에 재료가 움직이지 않도록 고정하는 고정 잡이판이 설치되어 확실한 세절이 가능하도록 설계된 고정날-회전날-재료 고정 장치로 구성되는 새로운 세절 메카니즘을 개발하였다.

나. 개발된 세절 메카니즘을 통한 원활한 세절작용을 위하여 절단각이 37.5° 인 벧살무늬 회전날과 끝단부가 날카롭게 날이 있는 계단형태의 고정날의 협각(挾角)이 $25^\circ \sim 30^\circ$ 사이를 세절시 유지하고, 각 날의 계각이 25° 가 되도록 설계 제작하였으며, 고정날 1개와 회전날 2개가 한 쌍이 되는 총 18쌍을 설치하였다.

다. 회전날을 회전날을 칼날축 상에서 나선형으로 배열하여 재료의 세절작용이 칼날축의 회전에 따라 1번 플랜지와 10번 플랜지의 부착 칼날에서 세절이 동시에 일어나고 이러한 작용이 순차적으로 우측으로 전달되면서 일어나도록 설계 제작하여 세절시의 충격이 칼날축상에서 균형적으로 가해지게 되어 보다 안정적인 세절작용 및 세절 토크를 줄이도록 하였다.

라. 원형베일을 세절부로 안정되게 잡아당기는 기능과 세절된 재료에 원심력을 가하여 전방으로 보내주는 기능을 하는 칼퀴 형의 브라켓을 플랜지와 플랜지 사이에 설치하였고, 세절시 길이가 길어 회전축에 감기는 현상을 방지하기 위하여 칼날축 좌우측의 좌우 끝단에 감김 방지 브라켓을 설치하였으며, 회전날 축의 단면은 16각형으로 제작하여 세절 작업시 비틀림에 대한 저항력을 증대시키도록 설계 제작하였다.

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, 김경욱. 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