

볏짚의 사료가치 향상을 위한 세절연화기 개발

Development of cutting-softening machine for improving the value of rice straw

박경규*

홍동혁*

김혁주*

나규동*

정회원

정회원

정회원

정회원

K. K. Park

D. H. Hong

H. J. Kim

K. D. Nah

I. 서론

젖소 및 한우 사육에 있어 이상적인 조사료:농후사료의 급여 비율을 60:40이라 볼 때 우리나라의 경우 33:67로서 일본의 48:52, 미국의 66:34에 비해 매우 낙후되어 있음은 물론 최소 한계치인 40:60에도 미치지 못하고 있어 조사료의 급여량이 절대적으로 부족한 상태에서 축산의 경쟁력 강화의 장애요인이 되고 있다.

이렇게 부족한 조사료의 내용을 살펴보면 양질의 조사료는 알팔파 등의 수입분을 포함하여 약 30% 미만이며 대부분의 조사료는 영양소 함량 및 소화율이 매우 낮은 볏짚과 여름철에 이용 가능한 산야초 등으로 보충되어지고 있다. 풀사료를 구할 수 없는 계절에는 볏짚조차 구하기 힘들고 가격이 높아져 축산 경영에 큰 부담이 되고 있다. 따라서 축산 조사료의 충분한 공급을 위해서는 주조사료원인 볏짚의 사료 가치를 더욱 증대시키고 현재는 활용도가 매우 낮지만 이용 가치가 충분한 것으로 알려진 여러 가지 자원을 보다 적극적으로 활용해야 할 것이다.

그렇지만 이러한 부존사료자원들 중 거친 조사료원들은 그 화학적 구성성분이 주로 섬유질과 단단한 각질로 되어 있고 이화학적 결합체를 이루고 있으므로 쉽게 용해되지 않거나 소화율 및 소화속도가 떨어지고 섭취량이 극히 제한되어 사료가치가 낮은 저질 조사료로 평가되어왔다. 따라서 이러한 거친 조사료의 사료가치를 향상하기 위하여 세포막의 이화학적 결합을 와해하고 소화율의 장애요인이 되고 있는 리그닌과 실리카 등을 분리 또는 제거하여 섬유질과 각질을 연질화 시킴으로 인하여 소화율과 섭취량을 높이는 처리가 필요하다.

저급조사료의 사료가치 향상을 위한 연구 결과를 살펴보면 볏짚의 단순 세절은 화학적, 생물학적 처리 방법에 비해 그 효과가 떨어지는 것으로 나타나며, 볏짚을 절단함과 동시에 끓이거나 물에 담그는 등의 연화 효과를 추가하면 화학적 처리 방법 수준의 사료 가치 증대가 가능한 것으로 보인다. 위에서 언급한 화학적, 생물학적 처리 방법은 현재 우리나라에서의 적용이 아직 미미한 수준인 데, 암모니아 처리의 경우는 그 처리 과정의 번거로움과 처리후의 암모니아 성분의 유실, 불균일한 암모니아 처리 등의 난점을 가지고 있다.

* 경북대학교 농업기계공학과

또한 생볏짚을 사일리지하는 경우는 대규모의 기계가 동원되어야 하는 어려움이 있고 분쇄의 방법은 이후 공정으로 펠렛팅을 실시하여 사료의 밀도를 증가시키고 섭취량 증가시켜 젖 생산 및 증체에 효과가 있지만 제조 경비의 과다 소요로 현실성이 없어 현재 우리나라에서는 단순 세절의 방법이 사용되어지고 있다. 따라서 볏짚의 사료가치 증대를 위한 처리 방법으로는 현재 농촌에서 가장 손쉽게 할 수 있는 물리적인 처리방법을 이용하고 화학적 처리 방법과 같은 수준의 효과를 보일 수 있는 볏짚을 세절한 후 연화의 효과를 줄 수 있는 물리적인 처리를 가할 수 있는 기계 장치가 필요한 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 거친 조사료원을 세절과 동시에 별도의 암모니아처리와 같은 화학적 처리를 하지 않고도 기계적인 처리에 의해 연질화 시켜 소화율과 섭취율을 높이고, 또한 기호성을 높일 수 있는 거친 조사료 연화를 위한 세절-연화기를 설계·제작하고, 그 성능을 평가하였다.

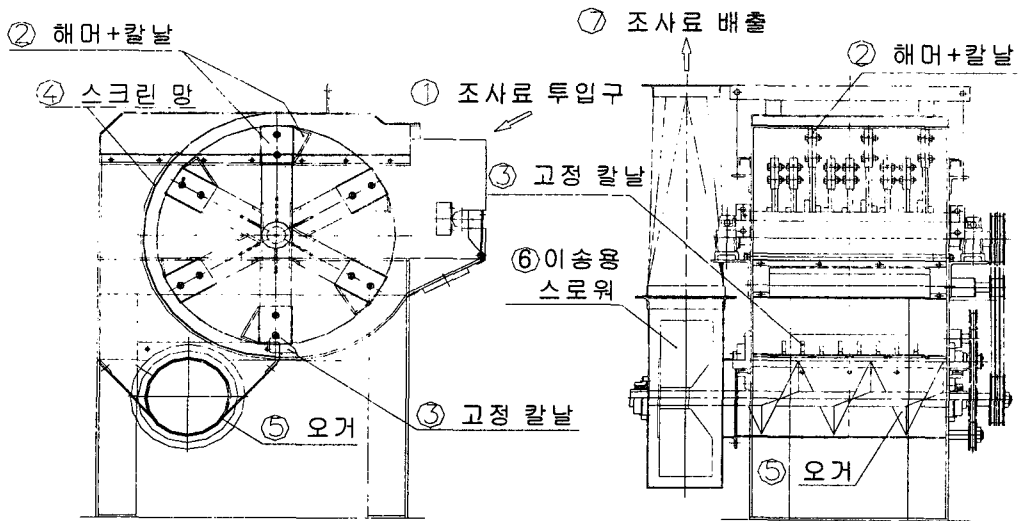
II. 재료 및 방법

가. 세절-연화기 개발

국내부존조사료자원 중 가장 많이 생산되어지는 볏짚과 옥수수대 등과 같은 저급 조사료원을 화학적 처리 없이 기계적 처리만으로 세절, 연질화 시킬 수 있도록 기존의 단순 세절 기능만을 가진 절단기와는 다르게 햄머형의 칼날이 세절과 동시에 스크린 망에 재료가 타격되어지도록 하여 재료가 세절과 동시에 연질화 되도록 하였으며, 연질화된 재료는 오우거를 통하여 드로우어로 이송된 다음 드로우어를 통하여 배출 할 수 있는 세절-연화기를 개발하였다.

(1) 세절-연화기의 가공 메카니즘

본 장치의 세절-연화기의 메카니즘을 살펴보면 재료가 투입구(1)로 투입되면 아래 방향으로 회전하고 있는 회전날(2)의 타격력과 회전날 및 고정날(3)과의 전단 작용으로 재료가 세절되고, 세절된 재료는 해머(2)의 끝단부와 스크린 망(4)의 사이에 끼어 스크린 구멍을 통과하여 하부로 떨어질 때까지 타격 작용을 받게 된다. 스크린 망 하부로 떨어진 세절, 연화된 재료는 오거(5)에 의해 이송용 드로우어(6)에 보내져 배출구(7)를 통하여 원하는 위치까지 이송되어 진다. 따라서 세절-연화기에서는 재료의 세절 이외에 타격 작용에 의한 연화가 일어나 보다 기호성이 좋은 부드러운 사료의 제조가 가능하며 스크린망의 스크린 규격을 변경함에 따라 세절 길이의 조절과 함께 연화의 정도까지도 조절할 수 있도록 하였다.



<그림 1> 개발된 볏짚 세절-연화기의 구조도

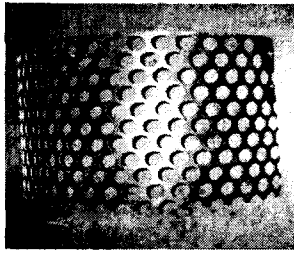
(2) 세절-연화기 시작기의 제작

본 연구를 위해 제작된 개발된 세절 연화기는 미국 Davis 사에서 개발한 것으로 사료 작물이나 곡물 원료의 분쇄에 많이 이용되고 있는 기계 장치이다. 알팔파 건초 등을 베일 형태로 처리할 수 있어 소요 동력에 비해 처리 능력이 높은 기계인 데, 건초 베일 등은 conditioning된 작물을 압축한 것으로 우리나라의 볏짚에 비해 매우 약한 강도를 가지고 있다. 따라서 이 장치를 볏짚이나 옥수수대등에 이용하면 작물을 세절하면서 동시에 연화의 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단하였다.

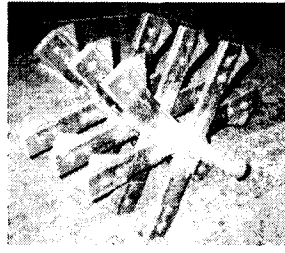
세절-연화기 시작기는 본 연구실과 안산의 (주)은성플랜트가 협조하여 축사에 고정시켜 사용할 수 있도록 고정식으로 3상 10마력의 전동모터를 동력원으로 사용하였다. 스크린망은 $\phi 20$, $\phi 24$, $\phi 40$, $\phi 50$, $\phi 100$ 의 원형 스크린망과 75×75 의 사각 스크린망 다섯종류를 제작하였으며, RPM은 1780rpm으로 하였다. 표. 1은 세절-연화기 제원을 나타낸 것이며, 그림. 2, 3, 4는 세절-연화기의 부품별 제작사진을 나타낸 것으로써 그림 2는 스크린 망, 그림 3는 칼날부, 그림 4는 오우거와 드로우어의 모습이다. 그림 5는 세절-연화기의 설계도와 완성된 시작기의 모습을 나타낸 것이다.

<표.1> 세절연화기의 제원

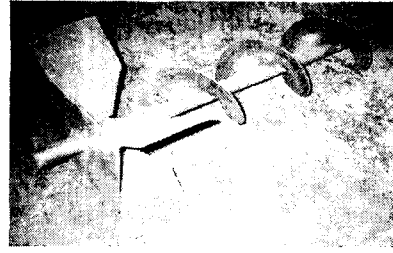
구 분	세절-연화기 시작기
동 력	10HP 3상 모터
칼날 회전수	1750 rpm
grinding chamber	3400 in ⁴
구 동 형 식	V - belt
Hammer	24" granulator 18개의 칼날
파쇄 형식	칼날이 달린 햄머에 의한 분쇄
처리가공 작물	볏짚, 건초, 곡물 알갱이, 옥수수대 등



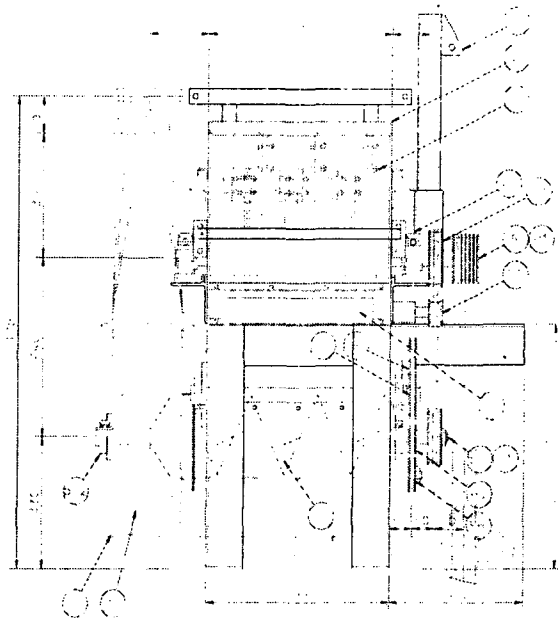
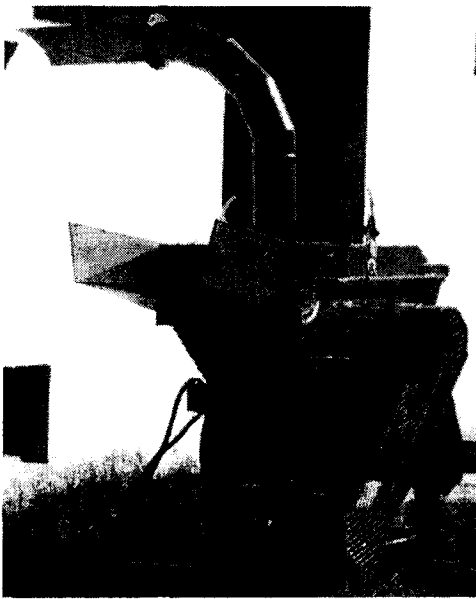
<그림 2> 스크린망



<그림 3> 칼날부



<그림 4> 오우거와 드로우어



<그림 5> 세절-연화기 시작기의 완성된 모습과 설계도

나. 세절-연화기 시작기의 성능실험

(1) 공시재료

본 실험은 경북대학교 칠곡농장에서 실행되었으며, 실험에 사용된 공시 재료는 함수율 8.5%의 마른 벗짚과 함수율 42.7%의 벗짚, 함수율 71%의 옥수수대를 사용하였다. 공시재료의 함수율은 오븐법에 의한 습량기준함수율(%)로 구하였다.

(2) 작업성능의 측정

작업 성능은 시간당 처리용량을 기준으로 평가하였으며, 처리용량은 벗짚은 5kg, 옥수수는 10kg으로 묶은 다음 재료를 공시기로 투입하였으며, 투입한 다음부터 세절-연화기의 토크와 RPM이 무부하시의 정상상태로 돌아오기까지의 시간으로 측정하였다.

(3) 소요동력의 측정

설계 제작된 세절-연화기의 소요동력 및 작업성능의 분석은 앞으로의 기계 설계의 기초 자료로 활용하기 위하여 재료별, 함수율별로 시험을 행하였다. 공시 시험기는 은성 플랜트에서 제작하여 경북대학교 칠곡 농장에 설치된 세절-연화기를 사용하였다. 동력 측정 시스템은 토크측정을 위한 토크미터와 회전수를 측정하기 위한 타코미터 그리고 이들 신호를 증폭하기 위한 앰프와 앰프에서 증폭되어진 신호를 컴퓨터로 출력할 수 있도록 하기 위한 AD/DA 컨버터 카드 및 이들 신호를 출력하기 위한 컴퓨터로 시스템을 구성하였다. 표. 2는 동력측정에 사용된 장치의 사양을 나타낸 것이다.

<표 2> 동력측정 장치의 사양

구 분	제 원
Torque detector	Model : SS-501, Capacity: 50kg-m Maximum speed: 6000rpm Company: ONO SOKKI
Digital torque meter	Model : TS-200 Company: ONO SOKKI
Interface card	PCL-812PG
Software	GENIE 3.01 Company: ADVENTECH

소요동력 산출을 위하여 본 실험에서는 토크 측정기 SS-501를 모터와 부하부 사이에 설치하였고, 또한 사용되어진 토크 측정기에 마그네틱 타코미터를 부착하여 토크의 측정과 동시에 축의 회전수까지도 측정할 수 있도록 하였다. 토크 트랜듀서 SS-501과 마그네틱 센서에서 발생되어진 신호는 앰프를 통하여 증폭되어지고, 앰프를 통하여 증폭되어진 신호는 16개 채널을 가진 AD/DA 컨버터 카드 PCL-812PG를 통하여 초당 20개의 입력신호로 컴퓨터로 입력 되도록 하였다. 입력된 신호는 GENIE 3.01 프로그램에 의하여 연산 처리되어 마이크로소프트사의 엑셀 프로그램을 통하여 데이터를 출력할 수 있도록 하였다. 이렇게 설치되어진 동력측정 시스템을 가지고 각각의 공시재료를 일정 무게로 한 단위씩 묶은 다음 스크린 크기별로 공시재료를 투입하면서 그 때의 토크와 RPM을 측정하여 소요동력을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

가. 작업성능

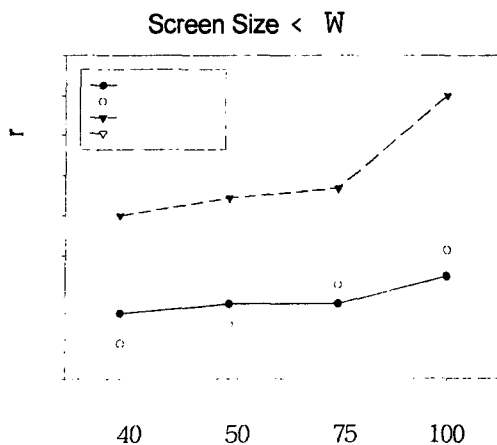
세절-연화기를 이용하여 재료별, 함수율별, 스크린 크기별로 처리용량을 측정하였는데 그 결과는 표. 3과 같이 나타내었다. 아래의 표. 3는 스크린별, 시험재료별, 함수율별 처리용량을 나타낸 것으로 스크린망 크기에 따라 처리용량이 늘어남을 알 수 있었고, 벧짚의 경우 스크린망이 작을때는 함수율이 높을수록 처리능력이 떨어지나 스크린망이 커질수록 함수율

이 높은 경우에 보다 높은 처리능력을 보였다. $\phi 100$ 에서 7.9% 함수율을 가진 벚짚이 450kg/hr, 30%의 함수율을 가진 벚짚이 514kg/hr로 가장 양호한 결과를 나타내었으며, 옥수수대에서도 $\phi 100$ 에서 900kg/hr로 가장 좋은 결과를 보였다.

<표 3> 재료별 처리용량

		(kg/hr)		
		벚 짚 함수율 7.9%	벚 짚 함수율 30%	옥수수대 함수율 71%
세 질	$\phi 24$	-	-	-
	$\phi 40$	360	286	600
연 화 기	$\phi 50$	383	333	643
	$\phi 100$	450	514	900
	□ 75*75	383	429	667

그림 6는 표 3에서 나온 결과를 그래프로 그린 것으로서 벚짚의 경우 낮은 함수율의 벚짚은 스크린 크기가 커짐에 따라 처리용량이 높은 함수율의 벚짚에 비하여 완만하게 증가함을 보여준다. 또한 스크린 크기가 작았을 때는 낮은 함수율의 벚짚이 처리용량이 많았으나 스크린 크기가 커질수록 높은 함수율의 벚짚이 처리용량이 많아졌다. 이는 함수율이 낮은 벚짚이 스크린망이 작았을시에는 함수율이 높은 벚짚보다 빨리 세절, 연화됨으로 해서 스크린망을 빨리 통과하여 배출되기 때문인 것으로 보인다. 또 옥수수대의 경우 $\phi 100$ 에서 처리용량이 급격하게 늘어나는데 이는 재료가 $\phi 100$ 스크린을 통과하는데 까지는 빨리 세절, 연화되나 $\phi 50$ 아래의 스크린을 통과하기에는 비교적 긴 세절, 연화시간이 필요하기 때문인 것으로 보인다.



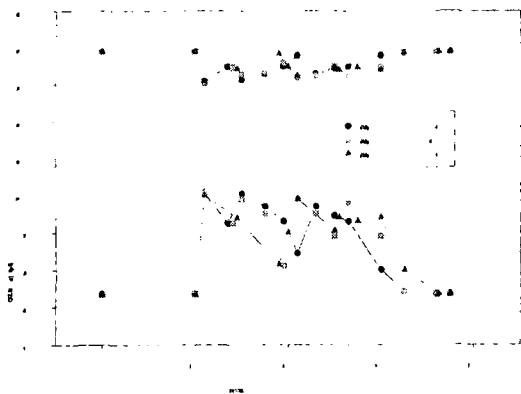
<그림 6> 스크린별 처리용량

또한 사용되어진 공시재료들 중 옥수수대는 높은 함수율 때문에 $\phi 50$ 이하의 스크린망에서 스크린에 걸리는 현상이 일어나고 드로우어에서 배출파이프로 이송중에 파이프에 막히는 현상이 나타났으므로 50% 이상의 높은 함수율의 재료들은 세절-연화 작업시 피하여야 한다.

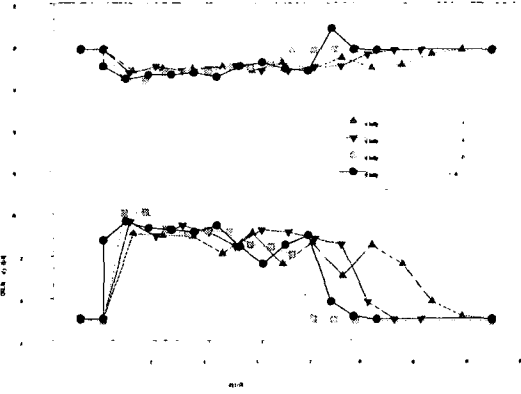
나. 소요 토크의 측정

세절-연화기는 공회전시 안정된 토크와 RPM이 작업기에 공시재료를 투입하는 순간 토크는 큰 폭으로 높아지고 회전수는 떨어짐을 볼 수 있다. 세절-연화기의 작업성능과 소요동력의 측정에 있어서 공회전시의 토크와 회전수를 기준으로 실험을 하였다. 공회전시의 토크는 460kgf-cm이었으며, 회전수는 1780rpm이었다.

그림. 7, 8, 9는 함수율이 다른 벚짚과 옥수수대의 토크와 회전수를 스크린별로 측정하였다.

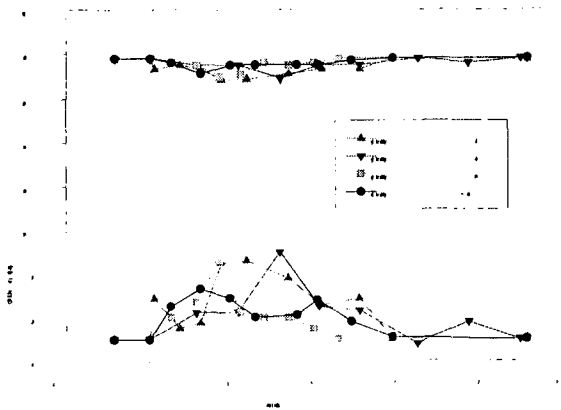


<그림 7> 7.9% 벚짚의 토크와 회전수



<그림 8> 30% 벚짚의 토크와 회전수

그림 7과 8은 7.9%의 함수율과 30%의 함수율을 가진 벚짚의 세절-연화기 작업시의 토크와 RPM을 나타낸 것으로 벚짚의 경우 함수율과 스크린망 크기의 변화에 상관없이 최대 토크는 10kgf-m로 거의 일정하게 나왔으며, RPM의 변화는 토크가 높아짐에 따라 낮아져서 대부분 1610~1630rpm 사이를 유지했다. 따라서 세절-연화기 작업시 함수율과 스크린망 크기에 따라서 토크와 RPM의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 비슷한 부하가 걸리는 것을 알 수 있다.

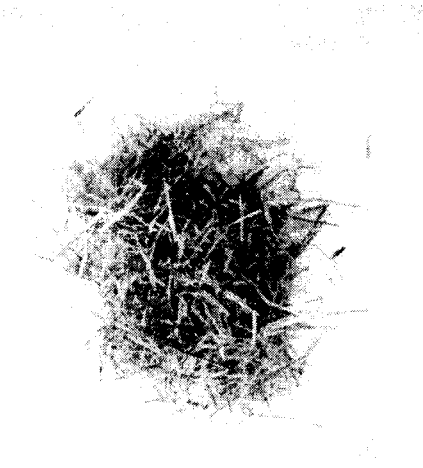


<그림 9> 71% 옥수수대의 토크와 회전수

그림 9는 함수율 71%의 옥수수대를 세절-연화기에 투입했을때의 토크와 회전수 그래프이다. 옥수수대의 경우에는 최대토크가 9kgf-m 정도로 비교적 낮고 회전수 또한 1700~1750을 유지하였다. 이는 벚짚의 경우보다 토크의 경우는 1kgf-m, 회전수의 경우는 약 100rpm 정도가 낮으므로 투입량을 늘려 처리용량을 늘릴 필요가 있다.

다. 재료의 평가

본 실험에 사용된 공시재료 모두 스크린망 크기가 작을수록 연화의 정도가 높았으며, 벗짚의 경우 $\phi 100$ 의 원형 스크린과 75×75 의 사각스크린에서 아주 양호한 결과를 얻었다. 특히 옥수수대의 경우 높은 함수율로 인하여 원형 스크린과 사각 스크린 모두에서 부드럽게 연화되어졌다. 그림. 10, 11는 세절-연화기를 통해 연화된 벗짚과 옥수수대의 모습을 나타낸 사진이다.



<그림 10> 연화된 벗짚의 모습



<그림 11> 연화된 옥수수대의 모습

IV. 결론 및 요약

국내부존사료자원의 사료가치향상과 특히 이를 위한 기계 개발은 매우 중요하다. 본 연구는 이러한 저급 조사료의 사료가치 향상을 위한 기계 개발 및 시스템 구성에 관한 연구로서 세절-연화기를 설계 제작하고 성능과 재료의 연화정도를 시험하여 벗짚, 옥수수대 등의 저급 조사료의 사료가치 향상에 그 목적이 있다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 세절-연화기는 본 연구실과 (주)은성플랜트와 공동으로 3상 10마력의 동력원과 18개의 칼날, 스크린망 및 오우거와 드로우어를 가진 햄머밀 형태로 설계 제작하였다.
2. - 세절-연화기의 작업성능 실험에 있어서 스크린망의 크기가 커질수록 모든 공시재료에서 처리용량도 증가하는 것으로 나타났으며, 벗짚의 경우 함수율이 높은 재료가 함수율이 낮은 재료에 비하여 스크린망의 크기가 작아질수록 처리용량은 낮지만 스크린망의 크기가 커질수록 처리용량이 더 빨리 늘어남을 알 수 있다.
- 벗짚은 $\phi 100$ 에서 7.9% 함수율을 가진 벗짚이 450kg/hr, 30%의 함수율을 가진 벗짚이 514kg/hr로 가장 양호한 결과를 나타내었으며, 옥수수대도 $\phi 100$ 에서 900kg/hr로 가

장 좋은 결과를 보였다

- 세절-연화기 실험에서 71%의 옥수수대와 같이 함수율이 높은 재료들은 스크린망과 배출파이프를 막히게 하는 현상이 일어났으므로 고함수율의 재료들은 작업시 피하여야 한다.
- 3. - 세절-연화기 실험에서 3가지의 공시재료들은 모두 스크린 크기가 작을수록 연질화 정도가 높았으나 벧짚과 옥수수대는 최대 작업성능을 보인 $\phi 100$ 과 $\square 75 \times 75$ 에서도 아주 양호한 연질화를 얻었다.
- 5. 위의 2, 3을 종합하면 벧짚과 옥수수대와 같은 거친 조사료들은 세절-연화기 사용시 최대 작업성능을 보인 $\phi 100$ 에서 작업이 효과적이다.
- 6. 제작된 세절-연화기에서는 토크가 다른 함수율의 벧짚 두 가지 모두 약10kgf-m, 옥수수대는 9kgf-m 정도로 나타났으며, 함수율과 스크린망 크기에 따른 소요동력의 변화는 거의 없었다. 하지만 9.5kgf-m의 토크가 계속해서 이어지면 과부하가 걸려RPM이 떨어지며 기계가 작동을 멈춘다. 또한 15kg 정도의 벧짚 사각베일의 경우 동력의 부족으로 한꺼번에 처리하지 못하므로 효율적 작업수행을 위해서 동력원의 증대가 필요하다.
- 7. 이상의 시험 결과 저급 조사료원 중 벧짚과 옥수수대는 만족할만한 연질화를 얻었다.

참고 문헌

1. 박경규 외 : 1996, 축산기계 및 시설, 문운당.
2. 박경규 외 : 1985, 최신 사료학, 선진문화사.
3. 서 성 : 1994, 우리나라 조사료 이용의 현실과 미래
4. 박민수 : 1994, 낙농업의 생력화 방안
5. 류관희, 강성태 : 1991, 엔진 토크의 간접적인 측정 방법에 관한 연구
6. 이종순 : 1997, TMR 배합사료기의 동력전달 시스템 분석
7. 박천경 : 1994, 낙농 생산성 향상을 위한 사료 급여 요령
8. 정창주 외 : 1990, 농업기계학, 향문사.
9. 박상문 외 : 1991, 농사시험 연구논문집, 窄乳牛의 벧짚飼料 위주 飼育에 따른 釀造副産物 과 Beet pulp 添加에 관한 研究
10. 하중규 : 1988, 농사시험 연구논문집, 畜牛飼料에 대한 保護蛋白質 利用效果에 관한 研究