

농산 부산물 수확방법에 관한 연구(I)⁺

— 조제장치 —

Development of Harvesting System for Agricultural By-Product(1)

— Macerator —

김상현*	강화석*	신범수*	박청용*
정희원	정희원	정희원	
S.H.Kim	W.S.Kang	B.S.Shin	C.Y.Park

ABSTRACT

A macerating technique which can apply to the mechanical production system of the agricultural by-product was developed to increase the utilization of agricultural waste and solve the shortage problem in the forage supply for the livestock production. The macerating method is to shred the agricultural by-product by the two rolls which rotate at different speeds each other. The testing macerator was built and the optimum operating conditions are suggested.

Results of this research are as follows:

1. The increase of the base roll speed and speed ratio between two rolls shows the better shredding index but decrease the drying rate. The optimum conditions of the base roll speed and the speed ratio between two rolls for the rice straw are 1200 rpm and 1.7-2.0 respectively.
2. The macerated alfalfa was dried to the 15%(w.b.) within 3 hrs in a field at speed ratio of rolls, 2:1 and base roll speed, 1800rpm.
3. The milled surface and straight knurled surface for the macerating roll have same effect on the drying rate of material. Both rolls have self-cleaning functions during operation.

주요용어(Key Words) : 농산 부산물(Agricultural by-product), 조제장치(Macerator), 조사료(Animal Feed)

1. 서론

가축은 농후사료와 조사료를 위주로 사육되는데, 우리나라에서는 지가가 높고 충분한 초지 등의 확보가 어려워 대부분 농후사료에 의존하여 가축을 생산하고 있다. 그러나 국제 경쟁력 있는 양질의 가축생산을 위해서는 경제적이고 사료가치가 높은 양질의 조사료를 생산하여 조사료 위주의 가축사육이 요구되고 있는 실정이다. 우리

나라에서는 조사료 사용량 중 볏짚 등 농산 부산물이 46%를 차지하고 있으며 가을, 겨울 및 봄에 주로 소비된다. 그러나 Theander(1984) 등의 연구에 의하면 목초의 리그닌성분이 있는 부분을 그대로 가축에게 먹일 경우 가축의 섭취율과 소화력이 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 리그닌과 실리카 성분이 많은 볏짚 등의 저급 조사료인 경우 소화율을 높일 수 있는 조제 기술이 필요하며, 또한 수확 및 건조시의 품질저하와 양

+ 이 연구는 '93 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호 : KOSEF 931-1000-009-2)

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

적 손실을 최소화하는 방법으로 곡물 수확과 동시에 부산물을 조제하고 건조에 용이한 형태로서 매트를 형성하는 방법 등이 고려될 수 있다.

농산 부산물을 곡물 등의 수확과 동시에 조제가공 및 건조 수확할 수 있는 기계화된 수확 작업체계로는 콤바인 등의 수확작업후 1) 농산 부산물의 건조를 촉진하여 포장 건조 작업시 발생하는 기후의 영향과 양적 손실을 줄일 수 있는 부산물 조제장치와, 2) 조제된 부산물을 건조 및 수확에 용이한 작물 매트로 만드는 벨트 타입의 수분 추출장치, 및 3) 낮은 수분의 작물 매트를 포장에 배출하여 단기간에 건조하며, 건조된 작물 매트를 걷어 올려서 운반 및 저장에 용이한 베일을 만드는 장치 등을 들 수 있다. 목초 수확에 응용된 경우로서, Shinners(1985)는 6~8mm 두께의 목초 매트를 제작해서 포장에서 건조한 경우 6시간 이내에 작물 함수율을 80%에서 20%까지 떨어뜨릴 수 있다고 보고한 바 있다. 미국 농무성 연구소에서 개발된 조제 가공방법은 농산 부산물의 줄기 등을 파쇄 하여 가축소화율을 향상시키며 또한 건조 면적을 크게 하고, 작물 매트를 형성하기 용이한 상태로 만드는 방법이다(Ajibola 등, 1980). 그러나, 농산 부산물의 형상적 특성이 목초와 달리 줄기 등의 중심부가 비어 있으며 잎의 모양도 길어서 사료화 및 단기 건조를 위한 줄기 파쇄의 방법이 Shinners(1988)의 목초 조제방법과는 달라져야 한다. 식물의 수분을 빠르게 증발시키려면 작물내의 수분이 대기로 이동하는 과정에서의 저항을 줄이고 태양 에너지의 흡수를 늘릴 필요가 있으므로 줄기의 중심부가 비어 있는 농산 부산물에 적절한 조제 방법이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 농산 부산물인 벼, 보리, 밀 등의 짚을 수확과 동시에 조제가공하여 축산 조사료를 생산하는 농산 부산물 조제방법을 개발하는데 있다. 구체적으로는 농산 부산물 수확에 적합한 조제장치(macerator)를 개발하고 실험을 통해 포장에서 사용 가능한 적정작업조건을 구명하는데 있다.

2. 실험장치 및 방법

가. 조제장치

미국 농무성 연구소에서 개발된 목초의 단기 건조 수확방법에 적용된 조제장치를 본 연구의 부산물수확에 응용하였다. 그림 1은 Shinners등(1988)이 개발한 조제장치(Macerator)로서 목초를 파쇄하여 매트형성이 용이하도록 조제하는 장치이다. 구조는 직경 400mm 실린더와 주위에 설치된 수개의 직경 100mm의 롤로 이루어지며 실린더와 각 롤의 회전방향은 서로 반대방향이고 또한 실린더와 롤의 표면 선속도가 일정한 비율로 차이가 나서 실린더와 롤 사이에 투입된 재료의 조직이 으깨지며 파쇄가 일어난다. 롤 표면 속도비 1.5~2.5 사이에서는 에너지 소모에 큰 차이가 없었으며, 낮은 롤표면 속도비에서 작업량을 증가시킬 수 있다. 롤 수를 증가하여 파쇄정도를 높일 수 있지만 에너지 소모율이 증대되며 구조가 복잡하고 중량이 커지는 문제점이 있다.

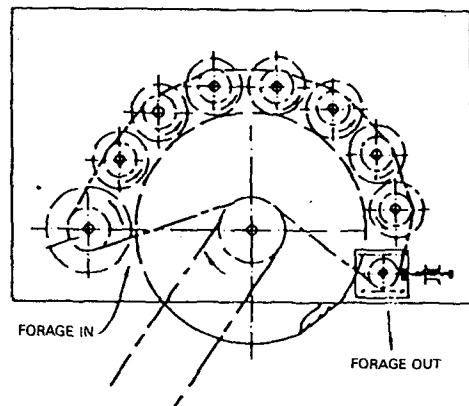


Fig. 1. Schematic diagram of macerator.
(Shinners et al, 1988)

농산 부산물은 수확시 목초와 달리 함수율이 60%(w.b.)이하로 낮으며 줄기의 중심부가 비어 있고 표면에 실리카성분이 많아서 조제장치가

목초수확용과 달라져야 한다. 농산 부산물의 사료화에 필요한 파쇄와 단기건조를 위해 Shimmers등(1988)의 기본적인 이론을 도입하였으며 기구를 간단히 하고 경량화할 수 있는 부산물 조제장치를 설계하기 위한 기초 실험장치를 제작하였다.

부산물 조제장치는 두개의 롤이 한쌍을 이루며 연속적으로 여러 쌍을 설치하여 그 사이를 통과하는 부산물을 처리하는 구조이며, 실험 결과에 따라 적정한 롤 수를 선정할 수 있다. 조제장치 설계에 필요한 기본자료를 얻기 위해 한 쌍의 롤을 설치한 실험장치를 제작하였으며 롤의 표면은 밀링가공에 의한 요철홈의 형상이며 직선널의 표면형상을 갖는 롤도 사용되었다.

설계, 제작된 실험장치는 그림 2에서 보는 바와 같이, 한 쌍의 롤, 프레임, 롤간격 조정장치 및 동력전달장치로 구성하였다.

1) 6mm 요철 홈의 롤

롤은 길이 700mm, 외경 165mm 이고 두께가 4.8mm 인 철재 실린더로 이루어졌다. 실린더의 양끝을 철판으로 마감하고 중앙에 직경 31mm 강봉을 설치하여 동력을 전달한다. 실린더의 표면은 축방향으로 피치 6mm, 깊이 2mm의 요철홈의 형상이다.

2) 직선 널의 롤

롤의 외경은 150mm 이고, 표면은 피치 2mm, 산 2mm인 직선 널(knurl)의 형상으로 기본구조는 6mm 요철 홈의 롤과 같다. 표면 가공은 널링 공구를 사용했으며 요철홈의 롤가공보다 제작이 용이했다.

3) 프레임

두 롤을 프레임에 고정하며 동시에 롤간의 간격을 조정할 수 있는 장치를 설계하였다. 두 롤의 축은 서로 평행하게 유지하였고, 두 롤 표면사이의 간격은 아래 롤의 베어링케이스를 상하로 조정하여 유지했으며 조정장치는 볼트로 되어 있어 미소한 간격도 정확히 조정할 수 있게 하였다.

4) 동력 전달장치

동력은 모터에서 V 벨트로 아래 롤에 전달되고 위 롤은 아래 롤에서 양면 V 벨트로 전동된다. 두 롤은 두개의 아이들 풀리를 사용하여 서로 반대방향으로 회전하게 하였다. 아래 롤과 모터 풀리의 조합을 이용하여 1200, 1600, 1800과 2000rpm인 기준롤 회전속도를 설정하며 두 롤간의 속도비는 위 롤의 풀리를 교체하여 1.5 : 1, 2.0 : 1, 및 2.4 : 1로 하였다. 그러나, 롤간의 속도비가 2.4 : 1보다 큰 경우에는 위 롤의 풀리가 커져서 아이들 풀리를 사용한 동력전달이 어려워져, 아래 롤은 단상모터로 동력을 전달하고 위 롤은 별도의 VS모터를 이용하여 큰 속도비를 얻을 수 있도록 하였다.



Fig. 2. Experimental apparatus.

나. 실험 방법

실험 재료는 건조된 벗짚, 보리짚, 수확 직후의 벗짚 및 사료 작물인 호밀과 알팔파 등을 사용하였다. 수확 직후의 벗짚은 벗 수확기의 짧은 기간동안만 확보가 가능하므로 고수분의 목초도 사용되었으며 수확기가 아닐 때에 고수분 상태의 벗짚에 대한 성능 실험을 위하여 건조된 벗짚을 15시간 침수한 후 음지에서 한시간 동안 표면수를 제거하여 시료로 사용하였다. 조제장치는 쌍으로 이루어진 두 롤사이에 부산물을 공급하여 줄기를 파쇄 하는 작업을 수행하게 되는데, 이때 두 롤간의 속도비와 기준롤의 회전속도

및 두 롤표면 사이의 간격 등이 재료의 파쇄정도를 좌우하게 된다. 따라서, 본 실험에서는 상기 3개의 효과를 주 요인으로 하고 각각의 수준을 다음과 같이 설정하였다.

1) 기준롤의 속도 : 900, 1200, 1600, 1800, 2000, 2400rpm

2) 롤 표면의 속도비 : 1.5, 1.7, 2, 3, 4, 5, 6

3) 롤 간격 : 0.33, 0.7

또한 부산물이 롤사이를 통과한 횟수에 따른 파쇄정도를 측정하기 위하여 조제횟수를 1, 3, 6 회로 하였다.

조제장치의 성능은 조제된 부산물의 파쇄정도와 건조속도로 표시할 수 있다. 파쇄정도는 조제 과정에서 원형의 줄기가 잘게 파쇄된 것을 지수화 한 것으로 300g의 시료를 조제하여 조제전 원형의 줄기 수에 대한 50mm 이상의 길이인 줄기 수를 파쇄정도의 지수(shredding index)로 정의했다. 건조속도는 조제장치를 통과한 재료 중 50g을 채취하여 10mm 철망 위에 고루 펼친 후 0.12

kg/cm²의 압력으로 2분간 압축하여 재료 두께를 3-5mm정도로 형성한 후 천일 혹은 항온항습기내에서 시료의 무게를 일정한 시간 간격으로 측정하여 구했다.

조제장치의 적정작동조건은 요철홈 표면의 롤을 사용하여 주 요인들의 수준을 변화시키며 구하였고, 제작이 용이한 직선널 형상인 롤의 적용 가능성을 검토하기 위해 건조속도 실험을 하였다. 실험재료간의 작업특성은 본실험에서 고려하지 않았다.

1) 6mm 요철 홈의 롤실험

가) 파쇄정도

조제장치의 작동조건인 기준롤의 속도와 롤 표면의 속도비 및 두 롤표면 간격의 변화가 부산물의 파쇄정도에 미치는 영향을 표 1의 실험 1, 2, 4와 같은 조건에서 실험하였으며, 공급롤의 영향도 측정하였다.

Table 1. Test material and factors

Exp. NO	Material	Initial M.C. (w.b.)	Speed of Base roll (rpm)	Clearance between rolls (mm)	Roll speed ratio (x : 1)	Feed rate (kg/min)
1	Barley straw	Dried	1800, 2000	0.33	1.5	0.9
2	Rye	47%	1200, 1600 2000	0.33 0.7	1.5, 2	1.2
3	Rice straw	Dried	1200	0.33	2	0.9, 1.5, 2.1
4	Alfalfa	71%	1800	0.33	2, 3, 4, 5	0.9, 1.8
5	Rice straw	Dried	900, 1200 1800, 2400	0.33	2, 3, 4, 6	0.3
6	Alfalfa	65%	900, 1200 1800	0.33	2, 4, 6	0.45
7	Alfalfa	65%	900, 1800	0.33	2	0.45
8	Rice straw	75%	900, 1200 1800, 2400	0.33	6	1.8
9	Rice straw	75%	1200	0.33	2, 3, 4, 6	1.8
10	Rice straw	52%	1200, 1800	0.33	1.7, 3, 6	1.5

조제장치에 건조된 볏짚을 여러 번 반복해서 통과할 경우, 기준롤의 속도와 두 롤 표면의 속도비가 볏짚의 파쇄정도에 미치는 영향을 분석하기 위해 재료가 장치를 1, 3, 6번 통과할 때마다 시료를 채취하였다.

나) 건조속도

건조실험이 가능한 알팔파를 재료로 롤의 속도비의 변화에 따라 조제된 시료와 무처리된 시료를 맑은날 포장에서 건조하여 건조속도를 비교하였다.

건조조건을 일정하게 유지하며 건조속도를 측정하기 위해 조제된 알팔파를 항온항습기내에서(온도 30°C, 습도 30%) 건조하였다.

고수분의 볏짚을 이용한 건조속도를 측정하기 위해 건조된 볏짚을 침수시켜 시료로 사용했으며 건조는 항온항습기내에서(온도 30°C, 습도 30%) 이루어졌다. 실험 8의 분석결과 건조속도가 가장 빠른 조건인 기준롤 1,200rpm에서 속도비의 효과를 분석하기 위해 침수시킨 고수분의 볏짚을 시료로 건조실험을 행하였다.

2) 직선 널의 롤

직선 널의 표면형상을 가진 롤의 적용가능성을 분석하기 위해 곡물 수확 직후 수거된 볏짚을 조제하여 항온항습기내에서(온도 30°C, 습도 30%) 건조속도를 측정하였다. 롤을 제외한 주변 실험장치는 요철홈 실험의 경우와 동일하다.

3. 결과 및 고찰

가. 요철 홈의 롤

표 2는 조제장치의 작동조건에 따른 농산 부산물의 파쇄정도 지수를 표시한 것으로 지수가 클수록 파쇄정도가 높다. 부산물의 재료에 따라 파쇄정도는 큰차이를 보여 건조된 보리짚은 고습수율의 호밀이나 알팔파에 비해 파쇄가 용이하였다. 기준롤의 속도가 빠르고, 속도비가 크며, 또한 롤 간격이 작을수록 파쇄정도 지수가 커졌

으며 공급율은 작은 경우에 파쇄정도 지수가 커졌다.

Table 2. Effects of major factors on shredding index with various testing material

Experimental factors		Shredding index	Material
Speed of base roll (rpm)	1800	16.7	Barley
	2000	21.0	
Speed ratio (x : 1)	2	2.6	Alfalfa
	3	2.9	
	4	2.9	
	5	3.6	
Clearance between rolls(mm)	0.33	3.6	Rye
	0.7	2.9	
Feed rate (kg/min)	0.9	5.2	Rice straw
	1.5	4.1	
	2.1	4.1	

이러한 현상은 기준롤의 속도와 속도비가 커지고 롤 간격이 작아지면 롤이 재료에 가하는 전단력이 증대되어 파쇄가 용이해지며 또한 공급량이 적을 수록 재료가 롤표면에 의한 직접적인 파쇄작용을 많이 받아 파쇄정도가 증대되기 때문이다. 특히 파쇄롤간의 간격은 파쇄성능에 미치는 영향이 커서 간격이 0.7mm이상인 경우 파쇄효과가 거의 없었으며 간격을 줄일수록 파쇄가 잘되었으나 본실험에서는 조정가능한 최소 간격인 0.33mm에서 비교실험 하였다.

기준롤의 속도와 속도비에 따른 파쇄정도를 분석한 그림 3과 그림 4의 (a), (b)에서 보는 바와 같이 부산물인 볏짚의 경우 조제장치를 통과한 횟수에 따라 파쇄정도가 높아졌으며 조제횟수를 늘여서 7회이상 조제한 시료의 입자는 미립화하는 경향이 나타났다. 조제후의 부산물은 사료가치가 높으며 건조 및 수확에 용이한 매트를 형성하기에 적절한 형태를 이루어야 하는데 입자

가 작아지면 사료가치는 증대되나 취급과정에서 양적 손실이 발생되며 입자가 큰 경우에는 압착

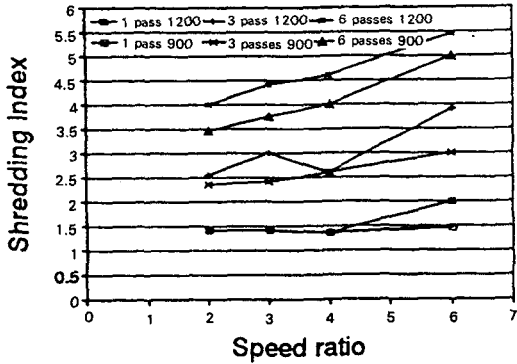
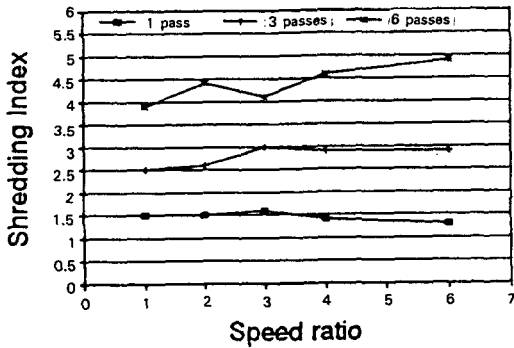
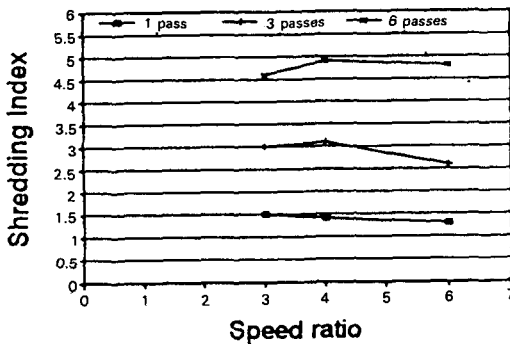


Fig. 3. Effects of speed ratio, base roll speed and number of passes on shredding index for rice straw. (Base roll speed : 900, 1200rpm)



(a) Base roll speed : 1800rpm



(b) Base roll speed : 2400 rpm

Fig. 4. Effect of speed ratio and number of passes on shredding index for rice straw.

에 의한 매트형성이 용이하지 못한 문제점이 있다. 따라서 조제된 부산물의 사료가치가 인정된 동물실험(성등, 1995)에서 적용된 조제횟수인 6회를 기준으로 분석한 결과 기준 롤 속도가 2,400 rpm인 경우를 제외하고 모든 경우 속도비의 증가에 따라 파쇄정도가 커지는 경향을 보였다. 높은 기준 롤 속도인 2,400rpm에서 속도비를 높여도 파쇄정도 지수가 증대하지 않은 이유는 속도비의 증가에 따라 파쇄정도 측정의 기준인 길이 50mm 보다 작은 입자들이 점차 많아진 결과로 판단된다.

롤의 속도비에 따라 조제된 알팔파의 태양열 건조실험 결과를 그림 5에 표시하였다. 전체적으로 조제된 시료는 건조초기에 수분함량이 급격히 줄어들었다. 특히 속도비 2 : 1로 조제된 시료는 3시간 건조후 안전저장 함수율인 15%(w.b.) 이하로 떨어졌으며 대조구(Control)로 비교된 무처리 알팔파가 3시간 건조후 함수율이 40%(w.b.)인 경우와 비교할때 조제처리된 시료의 건조속도가 상당히 높음을 알 수 있다. 조제된 시료는 롤의 속도비가 2 : 1, 3 : 1일 때 속도비가 큰 4 : 1, 5 : 1의 경우에 비해 상대적으로 건조가 빨리 진행되었는데 이러한 현상은 속도비가 큰 경우 잘게 파쇄된 입자들이 재료내의 공기유통에 저항을 가하여 건조속도를 떨어뜨린 결과로 판단된다.

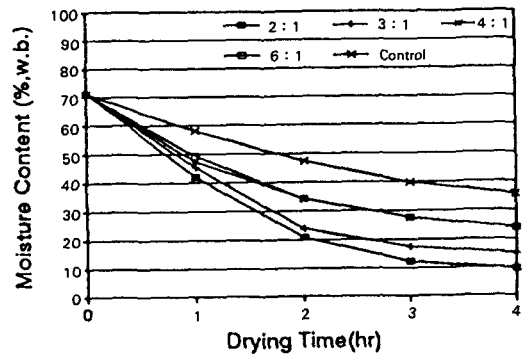
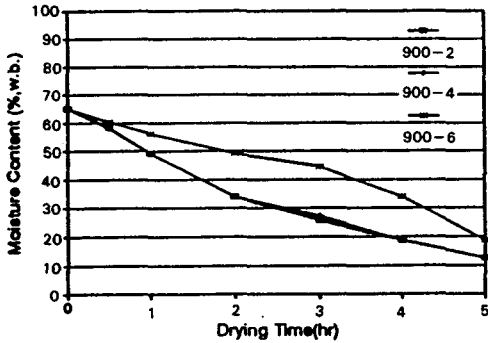


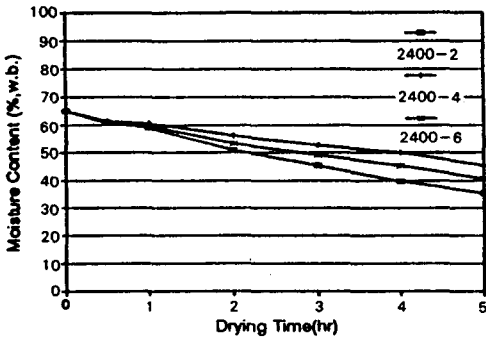
Fig. 5. Effect of speed ratio on drying rate for alfalfa. (Base roll speed : 1800 rpm)

건조조건이 일정하게 고정된 항온항습기 내에

서 기준 롤의 속도와 롤의 속도비가 건조속도에 미치는 영향을 분석한 결과, 그림 6에서 보는 바와 같이, 롤의 속도비가 낮은 2:1 및 4:1인 경우에 건조속도가 빠른 경향을 보였으며 또한 같은 속도비에서는 기준 롤의 속도가 낮은 경우에 건조속도가 빨랐다.



(a) Base roll speed : 900rpm



(b) Base roll speed : 2400rpm

Fig. 6. Effect of speed ratio on drying rate for alfalfa.

낮은 롤의 속도비인 2:1에서 기준롤의 속도가 건조속도에 미치는 영향을 향한습기내에서 비교실험한 결과, 그림 7과 같이 기준 롤의 속도가 낮은 900rpm에서 건조속도가 빠른 경향을 보였으나 통계적인 유의차는 없었다. 고수분의 벗짚을 사용한 건조속도 실험결과는 그림 8과 같이 기준롤의 속도가 상대적으로 낮은 1,200 rpm일 때 빨랐다. 따라서 기준 롤의 속도를 1,200 rpm으로 고정하고 속도비의 효과를 실험한 결과, 그림 9에서 보는 바와 같이, 낮은 속도비에서

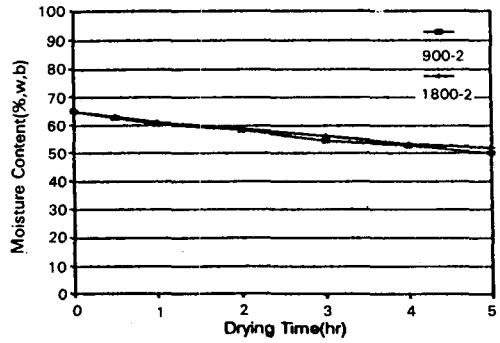


Fig. 7. Effect of base roll speed on drying rate for alfalfa.(Speed ratio=2:1)

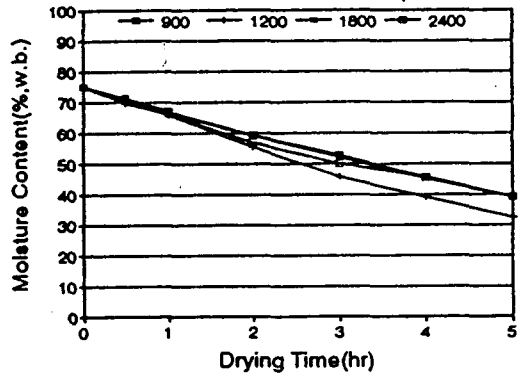


Fig. 8. Effect of base roll speed on drying rate for rewetted rice straw. (Speed ratio=6:1)

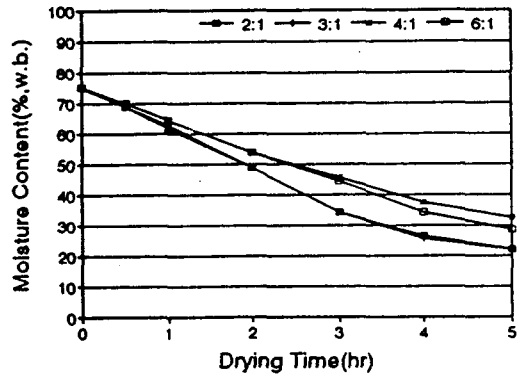
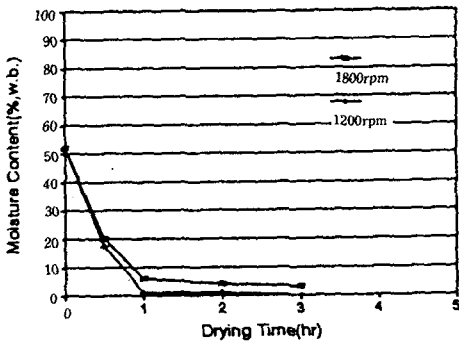


Fig. 9. Effect of speed ratio on drying rate for rewetted rice straw.(Base roll speed : 1200 rpm)

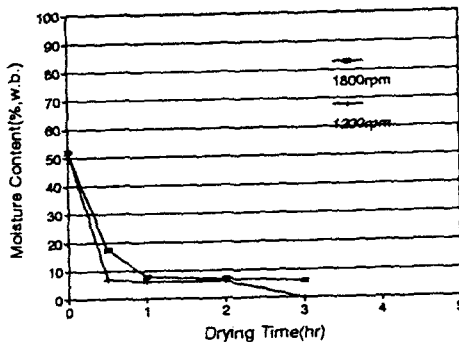
건조속도를 증가시켰다. 건조실험에 사용된 고수분의 알팔파와 벯짚의 주요인에 따른 건조속도는 비슷한 경향을 보여 기준롤의 회전속도와 속도비가 낮은 범위에서 건조속도가 증대되었다.

나. 직선 널의 롤

직선 널 형상의 롤에서 곡물수확 직후의 벯짚을 조제하여 건조속도를 측정한 결과, 그림 10에 나타난 바와 같이 기준롤의 속도가 1,200rpm일 때 부산물의 건조속도가 빠른 경향을 보이며 속도비가 낮은 1.7 : 1에서 건조속도가 빨랐다. 이러한 결과는 고수분의 벯짚을 재료로한 요철홈의 롤 실험에서 기준롤 속도 1200rpm과 속도비 2 : 1에서 건조속도가 빨라진 것과 비슷한 결과를 보였다.



(a) Speed ratio=1.7 : 1



(b) Speed ratio=6 : 1

Fig. 10. Effect of base roll speed on drying rate for fresh rice straw.

롤의 표면형상에 따라 파쇄된 시료의 형태는 서로 달랐다. 6mm 요철 홈을 가진 롤은 벯짚 및 알팔파 등의 줄기를 절단하며 파쇄 하는 반면에 직선 널의 표면을 가진 롤은 시료를 줄기와 평행한 방향으로 파쇄하였다. 두형상의 롤 모두 작업중 파쇄된 재료가 롤표면에 부착되지 않았으며 조제과정중에 재료의 수분추출은 없었다.

재료의 건조속도를 고려할때 직선널 형상의 롤과 요철홈의 롤은 적정 작동조건이 비슷한 경향을 보였으며 직선 널 형상의 롤은 표면가공이 용이한 장점이 있다

이상의 결과에서 기준 롤의 속도와 롤 간의 속도비가 증가할수록 파쇄효과는 커지나 건조속도는 떨어져서 파쇄정도와 건조속도를 적정화 하는 작업조건은 서로 상반되는 결과를 보인다. 건조속도를 높일 수 있는 작동조건은 속도비 1.7에서 2 정도이고 기준롤 속도 1,200rpm 이나 파쇄정도는 속도비가 크고 기준롤의 속도가 높을수록 높아진다. 조제장치에서 벯짚등의 부산물을 파쇄하는 목적이 건조후 양질의 조사료를 생산하는데 있으므로 성 등(1995)의 동물실험에서 롤간의 속도비 1.7 : 1로 조제한 시료가 가축의 섭취율을 증대하는 효과를 보인 결과를 고려할 때 건조속도는 최대화하고 파쇄정도가 다소 낮은 조건인 속도비 1.7에서 2, 기준롤 속도 1,200rpm이 벯짚등의 부산물 조제장치의 적정 작동조건으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 농산 부산물의 활용도를 높이고 축산 농가의 조사료 부족 현상을 해결할 수 있는 농산 부산물 생산 기계화에 적용될 농산 부산물 조제방법을 개발하였다. 조제 방법에 적용된 기술은 접선속도가 서로 다른 한 쌍의 롤 사이에 부산물을 공급하여 파쇄(maceration)하는 것으로 조제장치를 개발하고 실험을 통해 적정작업조건을 제시하였다. 본 연구의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 조제장치에 사용된 기준롤의 속도가 높고

두 물간의 속도비가 클수록 파쇄정도는 높았으나 건조속도가 낮아지는 경향을 보여 적정 작업 조건은 벧짚의 경우 건조속도를 최대화하고 파쇄정도가 다소 낮은 조건인 속도비 1.7-2, 기준물 속도 1200 rpm이다.

2. 물간의 속도비 2 : 1, 기준물의 속도 1800 rpm에서 조제된 두께 3mm의 목초매트는 태양열 건조시 3시간 경과 후 15 %(w.b.)의 함유율이 되었다.

3. 요철홈 형상 및 직선 널 형상의 표면을 가진 물은 재료의 건조속도를 적정화하는 작동조건이 비슷하였으며 조제후 파쇄된 부산물이 물 표면에 부착되지 않는 특성이 있다.

참 고 문 헌

1. Ajibola, O., R. Koegel, and H. D. Bruhn. 1980. Radiant energy and its relation to forage drying. Trans ASAE 23(5):1297-1300.
2. Shinnors, K. J., G. P. Barrington, R. J. Straub, and R. G. Koegel. 1985. Forming mats from macerated alfalfa to increase drying rates. Trans ASAE 28(2):374-377, 381.
3. Shinnors, K. J., R. G. Koegel, and R. J. Straub. 1986. Drying rates of macerated alfalfa mats. ASAE Paper 86-1033.
4. Shinnors, K.J., R.G.Koegel and R.J.Straub. 1988. Design consideration and performance of a forage maceration device. Applied Engineering in Agriculture 4(1):13-18
5. Sung K.I. and S. H. Kim. 1995. Effect of H₂ O₂ and maceration treatment of rice straw and morphological change, dry matter intake and digestibility of sheep. Proceedings of Japanese Society of Zootechnical Science.
6. Theander, O and P. Aman, 1984. Straw and other fibrous by-products as feed. Elsevier