

농산부산물의 단기건조를 위한 매트형성방법

Forming Mats from Macerated Agricultural By-Product for Fast Drying

김상현*
정희원

강화석*
정희원

신범수*
정희원

박청용*

S. H. Kim

W. S. Kang

B. S. Shin

C. Y. Park

1. 서론

인구의 증가와 식생활 개선으로 가축 사육 두수가 증가하고는 있으나, 그에 따른 목초지의 부족과 생산기술개발의 어려움으로 사료의 자급이 어려운 실정이다.

우리나라의 조사료 사용량 중 볏짚등 농산 부산물이 46%를 차지하고 있으며 가을, 겨울 및 봄에 주로 소비된다. 그러나 Theander(1984)등의 연구에 의하면 목초의 리그닌 성분이 있는 부분을 그대로 가축에게 먹일 경우 가축의 섭취율과 소화력이 떨어지는 것으로 보고되었다. 특히 리그닌과 실리카 성분이 많은 볏짚 등의 저급 조사료인 경우 소화율을 높일 수 있는 조제 기술이 필요하며, 동시에 건조 및 수확시에 품질저하와 양적 손실을 최소화하는 방법으로 곡물 수확후 조제(Maceration)된 부산물을 매트화 하는 방법이 요구된다.

양질의 농산 부산물을 수확 및 저장하기 위해서는 기계화된 일련의 수확 작업체계가 필요하다. 농산 부산물을 곡물 등의 수확과 동시에 조제 가공 및 건조 수확할 수 있는 방법으로는 콤바인 등의 수확작업에 연이어 1) 농산 부산물의 건조를 촉진하여 포장 건조 작업시 발생하는 기후의 영향과 양적 손실을 줄일 수 있는 동시에 부산물을 부드럽게 하는 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, 4) 건조된 작물 매트를 걷어 올려서 운반 및 저장에 용이한 베일을 만드는 장치 등을 들 수 있다. 목초 수확에 응용된 경우로, 6-8mm 두께의 목초 매트를 형성하여 포장에서 천일 건조한 경우 6시간 이내에 작물 함유율을 80%에서 20%까지 떨어뜨릴 수 있다. (Shinners, 1986).

따라서 본 연구의 목적은 김(1995)등이 개발한 조제장치에 의해 곡물 수확과 동시에 조제 가공된 농산 부산물인 볏짚 등을 포장에서 단기건조 시킬 수 있는 부산물 매트 형성방법을 개발하는데 있다. 구체적으로는 벨트 위에 공급된 부산물을 타이어롤에 의해 압착하여 매트를 형성하는 방법 개발과 형성된 매트의 강도와 건조성능 등을 측정한다.

2. 실험장치 및 방법

가. 매트형성장치

매트 형성장치는 강철 롤, 타이어 롤, 컨베이어 벨트, 동력원 및 전달장치와 공압 작동장치 등으로 구성되어 있다. 강철 롤은 지름이 600mm, 폭 600mm 그리고 두께가 8mm인 실린더 형상이며 50mm 축이 중심에 부착된 원형의 10mm 철판을 실린더 내부에 고정하였다. 컨베이어 벨트는

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

폭 500mm, 두께 8mm 이고 4 ply 고무벨트이다(인장강도 504 kN/m). 조제장치에서 배출되어 조제된 부산물을 매트형성장치까지 이송하는 컨베이어 벨트는 조제장치에 부착된 직경 150mm의 롤과 강철 롤(직경 600mm)을 연결한다. 매트 형성장치는 3마력 변속모터로 구동되며 모터에서 20:1의 감속기를 거쳐서 매트형성장치의 강철 롤에 동력을 전달한다. 타이어 롤은 자동차용 타이어(폭 165mm) 3개가 일체로 되어있으며 타이어 롤의 축 양끝 단에 슬라이드 베어링을 장착하여 공압 실린더가 타이어를 일정한 방향으로 이송하여 강철 롤에 압착할 수 있게 하였다.

공압작동장치는 공기 압축기를 통해 나온 공압을 고무 호스와 압력조절기(pressure gage) 및 조절밸브(control valve)를 통해 공압 실린더로 보낸다.

나. 매트 강도 시험기

매트형성장치에서 만들어진 매트의 강도를 실험하기 위한 매트 강도 시험기의 기본적인 작동 원리는 고정된 판과, 강철 실린더로 제작된 움직이는 판으로 구성된 시험기에 매트를 양 판 위에 걸쳐놓고 양 판의 사이를 벌여지게 하여 매트가 자체의 인장력으로 더 이상 견디지 못하고 처지거나 끊어지는 지점까지의 벌어짐의 정도를 측정할 수 있도록 하였다.

다. 실험 방법

1) 매트형성장치의 기초 성능

3개의 자동차 타이어를 이용한 타이어 롤 조합과 강철 롤간의 접촉면적을 구하고, 타이어의 공기압과 공압 실린더가 재료에 가하는 힘의 관계를 구하여 건조속도 및 매트 강도에 미치는 영향 등의 분석에 필요한 기초자료를 얻기 위한 실험이다. 실험은 공기압을 0.7 kg/cm² 부터 4.9 kg/cm²까지 0.7 kg/cm²씩 증가시킨 각각의 타이어 롤에 공압 실린더의 피스톤을 하강시켜 타이어 롤이 강철 롤에 압착되도록 한 후 접촉면적을 트레싱용지로 구하였다.

2) 수분 추출 실험

함수율 70.6%의 볏짚을 조제장치에 의해 조제한 후에 시료 250g을 직사각형 모양의 40 x 50 cm 의 나무틀에 골고루 퍼서 매트 형성 장치로 매트를 형성한 후 전자 저울로 재료의 무게를 측정하였다. 타이어 압력의 수준은 0.7 kg/cm², 1.4 kg/cm², 3.5 kg/cm², 및 4.9 kg/cm² 이었으며 3반복 실험하였다.

3) 건조 실험

조제 및 매트형성이 건조에 미치는 영향을 규명하기 위하여 건조 실험을 수행하였으며 시료로서 목초 등도 사용되었다(표 1). 먼저, 개발된 매트형성 장치의 기초 성능을 조사하기 위하여 목초를 조제하여 매트로 형성한 후 포장에서 건조실험을 하였다(실험 1). 포장 건조 실험과 유사한 목적 및 방법으로 여러 가지 작동조건에서 목초 시료를 제작하여, 전혀 처리를 가하지 않은 무처리구의 목초시료와 함께 향온 항습기에서 건조 실험을 실시하였다(실험 2). 매트 형성시 가해지는 압력이 건조속도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 타이어의 공기압을 요인으로 하여 건조 오븐에서 건조실험을 하였다(실험 3). 볏짚을 이용하여 매트를 형성하는 경우, 가해지는 압력이 매트의 건조속도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 타이어의 공기압을 요인으로 향온 항습기에서 건조실험을 하였다(실험 4). 매트 형성시 시료가 매트형성장치에 머무르는 시간이 건조속도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 이송벨트의 선 속도를 변화시키며 제작한 매트를 향온 항습기에서 건조하였다(실험 5).

Table 1. Material and condition for drying test

Exp. No.	Material	Moisture Content (% w.b.)	Tyre Pressure (kg/cm ²)	Drying condition	Feed rate (kg/hr)	Conveyor belt speed (cm/sec)
1	alfalfa	76.8	0.7 2.8	Sun drying	450	12.5
2	alfalfa	78.8	0.7 2.8	T = 30℃ RH = 40 %	450 900	12.5 25
3	alfalfa	76	0.7 2.8	T = 110℃	450	12.5
4	rice straw	70	0.7, 2.1, 3.5, 4.9	T = 30℃ RH = 40 %	225	12.5
5	alfalfa	76.8	0.7 2.8	T = 30℃ RH = 40 %	450 900	12.5 25

4) 매트 강도 실험

조제된 후 형성된 볏짚 매트와 강도를 매트강도기를 이용하여 측정하였다. 매트가 밑의 지면에 1/3 정도가 닿는 순간까지 움직이는 면이 이동한 거리를 매트의 강도지수(Mat Strength Index)로 하였다.

타이어 롤이 매트에 가하는 압력이 매트강도지수에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 볏짚 매트를 만들어 타이어의 공기압을 요인으로 실험하였으며, 타이어 공기압 두 수준, 공압 실린더의 압력 두 수준, 그리고 이송벨트의 이동속도 두 수준으로 2³ 요인 실험으로 실험설계하여 5회 반복 실험하였고, 매트 형성시 압축시간이 매트의 강도지수에 미치는 영향을 규명하였다.

Table 2. Contact area with variation of tyre pressures and deflections.

Pre ssure (kg/cm ²)	Contact area (cm ²)				
	deflection of tyre(mm)				
	0	10	20	30	40
1.4	15.1	143.6	308.6	479.2	
2.1	15.1	126.3	285.5	416.9	525.5
2.8	15.1	174.2	262.8	355.2	
3.5	15.1	175.0	256.4	298.8	
4.2	15.1	157.8	225.6		
4.9	15.1	174.8	232.5		

Table 3. Comparison between measured and calculated contact area. (Tyre pressure 7 kg/cm²)

Tyre Pressure (kg/cm ²)	Theoretical contact area (cm ²)	Measured contact area (cm ²)	Error (%)
0.7 ^a	1583.0	590.0	-
1.4 ^a	791.0	560.0	-
2.1	527.6	560.0	6.1
2.8	395.7	410.0	3.6
3.5	316.6	340.0	7.4
4.2	263.8	291.0	10.3
4.9	226.0	289.0	27.9

* 피스톤이 하사점에 도달전 측정

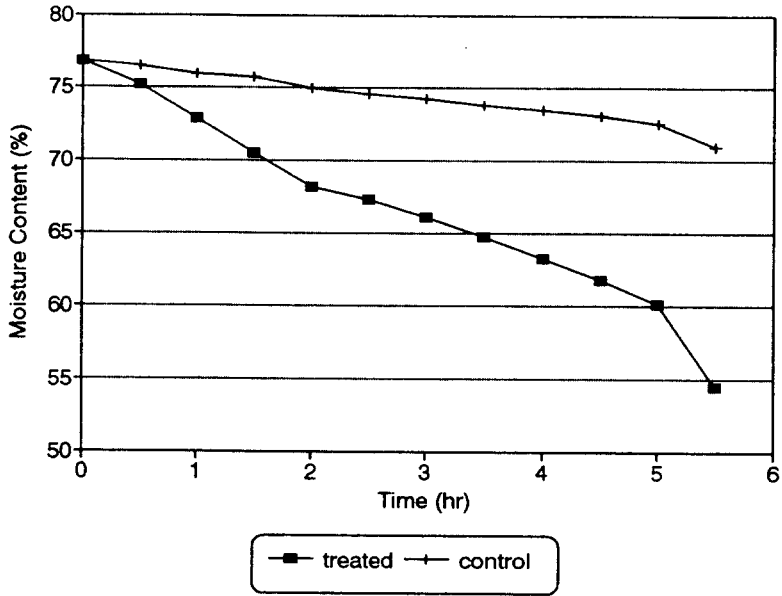


Fig. 1. Drying rates of treated and untreated alfalfa .

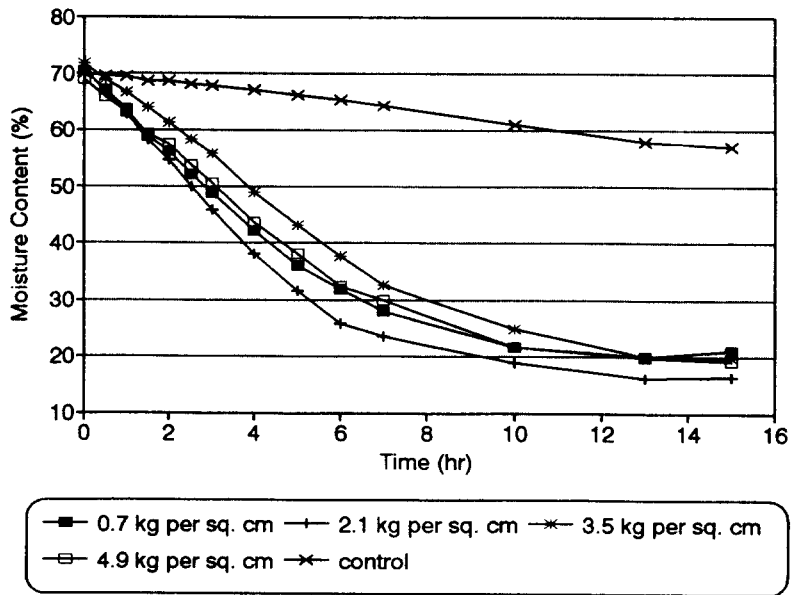


Fig. 2. Effect of tyre pressure on the drying rate .

3. 결과 및 고찰

가. 매트형성장치의 압축 특성

각각의 공기압을 유지한 타이어를 강철 실린더에 대하여 일정한 깊이로 눌러 주었을 때 타이어나 강철 실린더 사이의 접촉면적을 표 2.에 나타내었다.

접촉면적은 타이어의 변형량에 대하여 선형적으로 증가하며, 대체적으로 타이어의 공기압이 낮을수록 변형량에 대한 접지면적의 증가율이 커지는 것으로 나타났다. 표 2 는 매트형성장치의 타이어 롤에 하중을 가하는 방법을 공압 실린더나 유압 실린더 등 어떤 장치를 이용하더라도 타이어의 변형만 측정하면 접촉면적을 예측할 수 있어 장치 설계시 접촉면적 또는 압력 조절을 용이하게 할 수 있다. 이론적으로 계산된 접촉면적과 실제로 측정된 접촉면적을 비교하였다(표 3).

이론면적과 실측면적 사이의 오차는 약 10% 이내이며, 본 실험에서 매트 형성장치의 압력 설정 등의 기초자료로 이용하였을 뿐 아니라 향후 매트형성장치의 개선 설계시 타이어 롤에 하중을 가해 주는 장치가 공압 실린더나 유압 실린더 등에 관계없이 요구되는 접촉면적 및 압력에 대하여 하중, 변위 등의 적정 작동범위의 장치를 선택하는 기초자료로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 수분 추출 성능

설계된 수분 추출장치로 재료의 함수율을 1.2% ~ 4.0%정도 감소시킬 수 있으나, 타이어의 공기압의 영향은 크지 않았다.

다. 건조 특성

본 연구에서 개발된 매트형성장치의 성능을 분석하기 위하여, 목초를 조제한 후 매트를 형성하여 자연상태의 포장에서 건조한 결과 초기함수율이 77%인 매트가 3시간 경과한 후 60%까지 떨어진 것으로 나타났다. 조제된 목초 시료를 자연상태에서의 건조와 유사한 조건의 항온항습기에서 건조를 한 실험 결과에서 조제된 목초 매트는 포장에서의 태양건조와 마찬가지로 약 3시간 만에 65 %의 수분함수율에 도달하였으며 조제하지 않은 무처리구에 비해 급격한 건조가 이루어졌음을 알 수 있다(그림 1). 매트를 형성할 때, 타이어 롤이 강철 롤에 가하는 압력은 건조속도에 영향을 미쳐 2.8 kg/cm²의 공기압을 유지한 타이어가 0.7 kg/cm²의 경우에 비하여 훨씬 빠른 건조속도를 보여 매트에 가해지는 압력이 높을수록 건조가 빨리 이루어질 수 있다고 판단된다.

볏짚을 시료로한 매트를 형성하는 경우에 타이어의 공기압을 변화시키며 무처리구와 비교한 결과 공기압이 2.1 kg/cm²인 타이어를 사용하였을 때 접촉면적이 커서 건조속도가 빨라졌다(그림 2). 압축시간이 형성된 매트의 건조에 미치는 영향을 규명하기 위하여 이송벨트의 속도를 12.5 cm/sec 와 25 cm/sec 로하여 건조속도를 비교하였으나 유의한 차이는 없었다.

라. 매트의 강도

형성된 매트의 강도는 건조 및 저장시 매우 중요한 요소로써 충분히 커야 한다. 특히, 형성된 매트는 포장내의 볏짚 그루터기에 걸려져 토양표면에 닿지 않아야만 통기가 이루어져 매트의 아랫부분도 원활하게 건조시킬 수 있으므로 최소한 벼의 주간 간격 이상의 강도지수를 가져야한다. 전체적으로 벼 재배시의 주간 간격 이상의 매트강도를 나타냈으며 타이어의 공기압이 커질수록 강도지수도 증가하는 경향을 보여 타이어의 공기압이 매트강도지수에 중요한 요인인 것으로 판단된다.

한편, 농산 부산물인 벧짚의 경우 목초와 비교할 때 매트강도가 약했다. 이것은 목초의 경우 조제장치에 의해 조제된 후 즙액이 다량 추출되어 파쇄된 목초 성분간의 점착성이 높아 매트형성이 용이하였지만, 벧짚의 경우는 점착성이 있는 물질의 추출이 많지 않아서 매트강도가 낮았던 것으로 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 매트형성방법을 개발하였다. 조제된 부산물을 단기간 건조와 기계수확에 용이하게 매트를 형성하는 방법으로 재료를 강철롤에 벨트컨베이어로 공급하고 공기가 주입된 타이어를 공압 실린더의 작동으로 강철 롤에 압착하여 매트를 형성하는 방식이다. 타이어의 압력과 접촉 면적 등의 변화에 따라 매트의 강도 및 건조성능을 측정하였다.

연구의 주요 내용을 요약하면,

1. 매트형성방법에 사용된 타이어의 재료 접촉면적은 타이어의 변형량에 따라 선형으로 증가하였으며 타이어의 공기압이 높을수록 일정변형을 일으키는 힘이 급격히 커지는 특성을 보였다.
2. 타이어 압착에 의한 벧짚의 수분추출은 1.2 % - 4.0 % (w.b.) 정도였으며 타이어 공기압의 효과는 없었다.
3. 고수분 벧짚 및 목초의 매트건조속도는 타이어 공기압 2.1 kg/cm² 및 2.8 kg/cm²에서 빠른 경향을 보였으며 무처리한 경우에 비해 건조속도가 2배이상 빨랐다.
4. 매트형성에 소요된 압축시간이 1.18초 이하인 경우에는 건조속도에 영향을 미치지 않았다.
5. 형성된 매트는 포장내의 벧짚 그루터기에 걸쳐져 토양표면에 닿지 않는 강도를 보여 매트의 상하층이 균일하게 건조될 수 있으며 타이어의 공기압이 커질수록 매트강도가 증가하였다.

5. 참고 문헌

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. Pedersen, T. T. and W. F. Buchele. 1960. Drying rate of alfalfa hay. Agr. Engr. 41(2):86-89.
3. Risser, P. E., R. G. Koegel, K. J. Shinnors, and G. P. Barrington. 1985. Factors affecting the wet strength of macerated forage mats. Trans ASAE 28(3):711-715, 721.
4. 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.
5. Theander O. and P. Aman. 1984. Straw and other fibrous by-products as feed. Elsevier.