

볏짚 베일의 함수비와 밀도가 저장 중 부패정도에 미치는 영향

Effect of Moisture Content and Density to the Decay of Rice Straw Bale during Storage

김종언*

박홍제*

김경욱*

정회원

정회원

J.E.Kim

H.J.Park

K.U.Kim

1. 서론

베일러 작업에 있어 작업시의 볏짚의 함수율은 베일러의 작업성, 저장 중에 발생하는 볏짚의 물리적, 화학적 변화 등에 있어 중요한 요소로 작용한다. 국내의 경우 가을철에 청명하고 건조한 날이 많아 볏짚이 빠르게 건조되나 일기가 고르지 못한 경우에는 높은 함수율에서도 작업을 해야할 경우가 생긴다. 높은 함수율에서 작업하는 경우 필연적으로 베일의 질적 저하가 일어나는데 이를 줄이는 방법의 하나로 밀도를 조정하는 방법이 있다.

본 연구는 벼 수확 후 볏짚의 건조 속도와 서로 다른 함수율과 밀도에서 작업된 베일의 저장 중 발생하는 변화를 밝혀 베일 작업에 적합한 함수율 범위를 구하며, 기상 상황이나 기타 여건에 의해 최적의 상황이 아닌 상태에서 작업을 하여야 할 때 발생하는 손실을 최소화할 수 있는 작업 방법을 밝히는데 목적이 있다.

벼 수확 후 볏짚의 건조 경향을 분석하기 위하여 수확 후 볏짚의 함수율 변화를 측정하였다. 함수율의 측정은 ASAE 표준(ASAE S358.2 DEC93)에 의거하여 오븐 건조법을 사용하였다. 함수율과 밀도에 의한 영향은 모형 베일을 생성하여 가을부터 이듬해 봄까지 저장하며 물리적 특성을 측정하였다.

2. 수확 후 볏짚의 함수율 변화

콤바인에서 볏짚을 배출하는 방법에는 잘게 세절하여 배출하는 방법과 투입되는 양을 그대로 배출하는 방법, 한단을 묶을 수 있는 정도의 크기로 집속(集束)하여 배출하는 방법이 있다. 이중 볏짚을 농산 부산물로 이용하기 위해서는 형태를 그대로 유지하며 다루기에 편리한 후자의 방법 중 하나를 사용한다.

집속하여 배출하는 것은 볏짚을 다루는데 잇점이 있어 널리 사용하나 더미의 내부와 외부에서 건조속도의 차이가 발생하여 볏짚의 건조에는 불리하다.

그림 1은 98년 10월 17일 수확한 볏짚의 건조 곡선을 나타낸다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

Table 1. Moisture Contents of Rice straw

MC		date			
		10/17	10/18	10/20	10/21
MC	inner	55	35	28.8	26
(wb,%)	outer	45.5	30	19.5	20

수확 일자 : 98년 10월 17일, 건조 기간 평균 온도 : 13.8°C,
평균 습도 : 66%

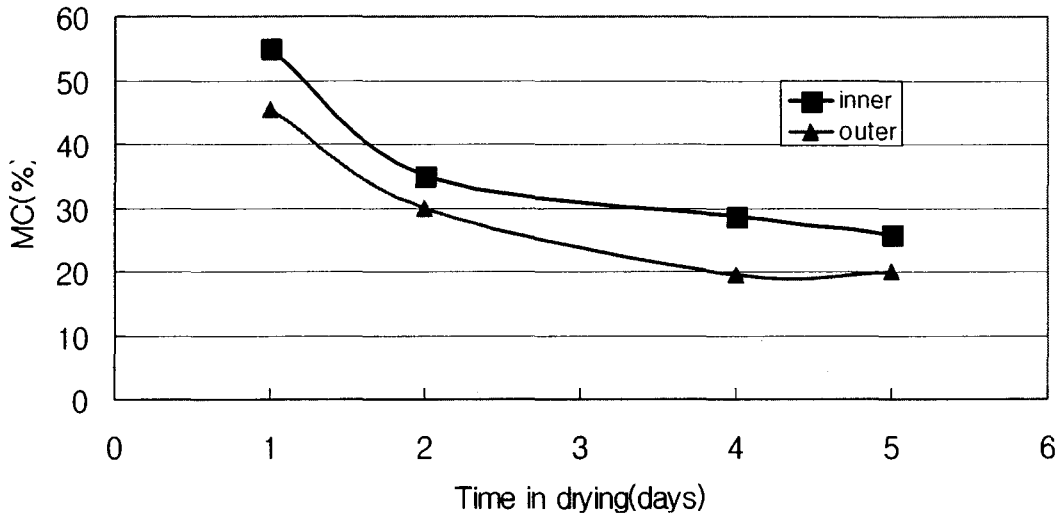


Fig. 1 Moisture contents vs time in drying

그래프에서와 같이 집속하여 배출한 경우에는 더미의 바깥 부분과 안쪽의 건조 속도가 다르게 된다. 수확 후 1일간 건조가 된 후 벧짚더미의 외부와 내부의 함수율 차이는 약 10% 정도가 생겼으며 5일 후에는 약 6%의 차이가 발생했다. 전체적인 벧짚의 함수율은 수확 직후 55% 정도이며 하루에 10%정도씩 건조되어 4~5일 후에는 20%대의 함수율로 된다.

베일 결속 작업을 위해서는 분산되어 있는 벧짚을 모아 집초열을 형성하는 레이크 작업이 필요하다. 레이크 작업은 벧짚의 분산 및 반전 작업으로 태양열과 바람의 유입을 용이하게 하여 건조를 촉진시킨다.

3. 실험 장치의 개발 및 실험 방법

1) 실험 장치 개발

각기 다른 함수율에서 작업한 베일의 부패 정도와 베일의 밀도의 관계를 실험적으로 구명

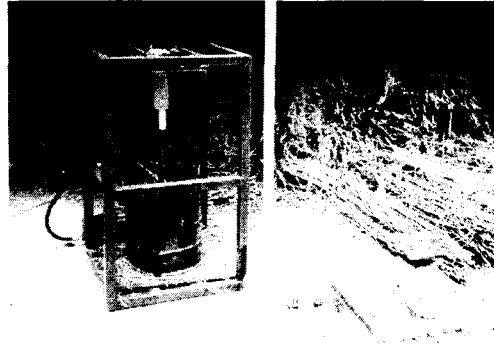


Fig. 2 Apparatus of experimental baler

하기 위하여 베일 저장 시험을 실시하였다. 인위적으로 함수율과 밀도를 변화시키기 위하여 소형 베일을 생성하는 장치를 개발하였다.

모형 베일은 지름이 30cm, 길이가 30cm인 원통형이며, 자연 상태에서 베일의 부패 여부를 실험하였다. 개발된 장치는 그림 2와 같다.

이 장치로 성형된 베일은 부피가 고정되므로, 투입되는 볏짚의 양을 조절하여 밀도를 변화시킨다. 밀도를 다르게 할 때 투입될 볏짚의 양을 계산하면 다음과 같다.

베일의 부피(V)는 아래의 식과 같으며,

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 l = \frac{\pi}{4} \times 0.3^2 \times 0.3 = 0.0212 (m^3)$$

여기서, d = 베일의 지름, m

l = 베일의 길이, m

베일의 밀도(ρ)를 50 kg/m^3 단위로 하여 $100 \text{ kg/m}^3 \sim 250 \text{ kg/m}^3$ 범위의 4단계로 하였을 때 투입되어야 할 볏짚의 양은 표 2와 같다.

Table 2 Bale density and required straw weight

Density (kg/m^3)	Weight (kg)
100	2.12
150	3.18
200	4.24
250	5.30

2) 모형 베일의 생성

모형 베일은 4개의 함수율 수준(15%, 25%, 32%, 45% wb)과 4종류의 밀도(100, 150, 200, 250 kg/m^3)로 총 16개의 베일을 생성하였다.

생성한 베일은 일반적인 베일의 보관 조건과 비슷한 환경에서 저장하였다. 즉, 비를 피할 수 있으며 통기가 잘되는 곳에 저장하였다.

저장 기간은 1998년 11월부터 99년 3월까지로 이 기간의 기상상태는 표 3과 같다.

Table 3 Weather and temperature during storage

		98 / 11	98 / 12	99 / 1	99 / 2	99 / 3
Temperature (°C)	Average	6.9	1.4	-1.1	0.3	6
	Max.	12.9	7.2	4	5.3	11.8
	Min.	2.1	-3.3	-5.8	-4.3	0.3
Humidity(%)		71	44	66	66.8	59.6
No. of snow or rainfall		6	4	6	5	5

4. 결과 및 고찰

1) 온도 변화 측정

베일을 생성한 후 베일 내부의 온도를 측정하여 내부 온도 변화를 예측하였다.

그림 3은 밀도 200 kg/m^3 의 베일의 각각 4종류의 함수율에서 내부 온도의 변화와 외기 온도와 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 베일 내부의 온도는 외기 온도와 비슷하게 변화되고 있음을 알 수 있다. 즉, 외부의 온도가 낮아지면 베일의 온도도 함께 낮아지고 증가하면 함께 증가하는 경향이 나타났다. 또, 대체적으로 함수율이 높은 베일의 온도가 함수율이 낮은 베일의 온도에 비해 약 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 가량 높게 나타났으며, 일부 경우에 있어서는 외기의 온도보다 낮게 나타나는 경우도 발생하였다.

이러한 베일 내부 온도의 변화는 베일 내부의 발열보다는 외기 온도의 영향에 의해 좌우되

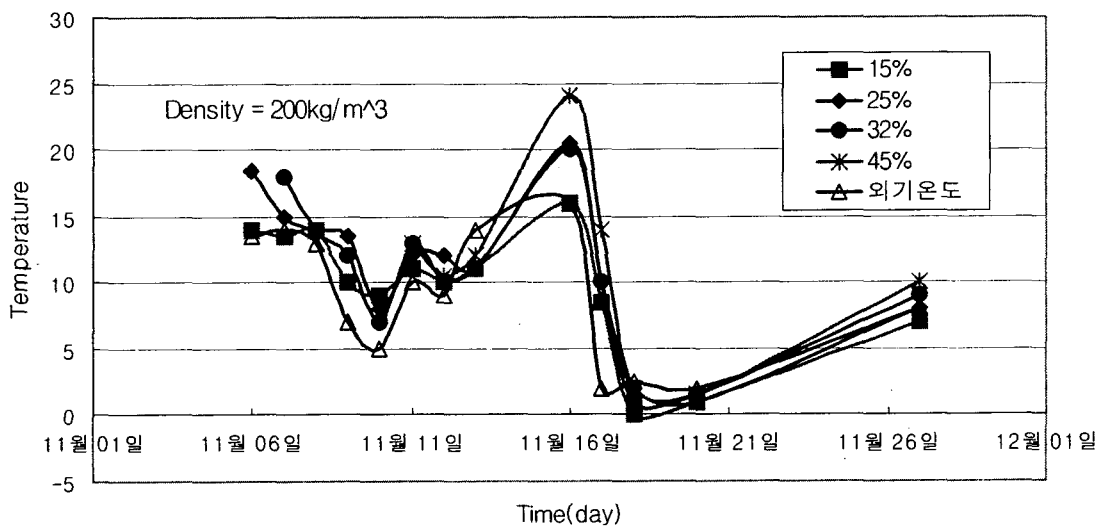


Fig. 3 Temperatures measured at variable moisture contents

는 것으로 보인다. 즉, 온도가 높은 낮 시간동안 열을 받아 온도가 약간 상승하고, 야간에는 냉각되며 낮에는 다시 온도의 상승이 일어난다.

2) 중량 변화 측정(밀도 변화)

베일의 저장 중에 발생하는 건물 손실(Dry Matter Loss)을 알아보기 위하여 베일의 중량을 측정하여 저장 날짜에 따른 밀도의 변화를 계산하였다.

15% 함수율의 베일과, 45% 함수율의 베일에서 밀도 변화 그래프는 그림 5와 그림 6과 같다.

그래프에서 보듯이 베일은 저장 중에도 지속적으로 건조가 일어나고 있다. 저장이 진행됨에 따라서 가장 느슨하게 묶인 베일은 생성 당시의 단단한 형태를 유지하지 못하고 부피가 감소되었다. 저장 중에 일어나는 건조의 정도를 알아보기 위하여 베일의 밀도를 사용하였는데 베일의 부피는 처음에 성형된 모양에서 변화가 없다는 가정하에서 중량의 변화를 이용하여 밀도를 계산하였다.

실험 결과 가장 건조한 상태에서 생성한 베일인 15% 함수율의 베일의 경우 밀도가 약 20~30 kg/m³ 정도 감소하였으며, 45% 함수율의 베일인 경우 밀도 감소의 범위가 50~100 kg/m³에 까지 이르렀다. 즉, 함수율이 45%, 밀도가 250 kg/m³인 베일의 경우 생성 초기에는 5.32kg에서 3월 29일 현재 3.28kg까지 중량이 감소하였다.

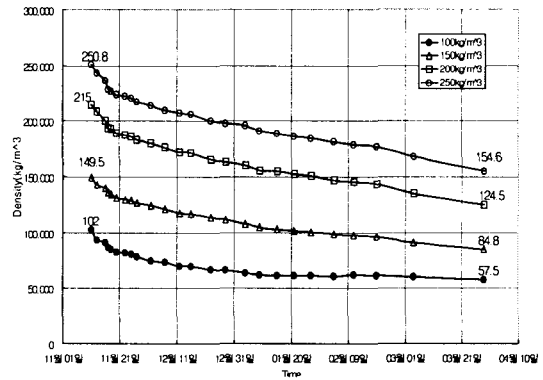
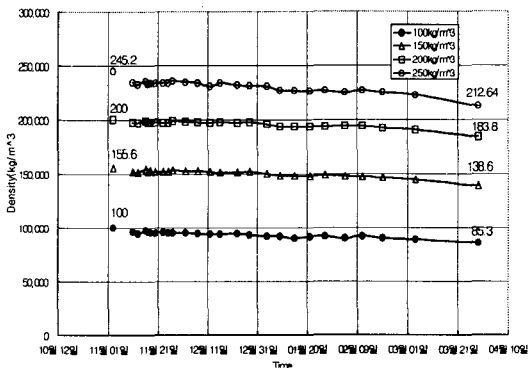


Fig. 5 Changes of density at 15% MC bale Fig. 6 Changes of density at 45% MC bale

3) 강우의 영향

단단하게 묶여진 원형 베일은 대부분 창고나 비를 가릴 수 있는 장소에서 저장되나 일부는 작업을 실시한 포장에 방치하여 두는 경우도 있다. 이 경우 비닐로 덮어두기도 하지만 성형할 당시의 상태 그대로 두기도 하여 비나 눈에 노출되게 된다.

강우에 의한 영향을 알아보기 위해 4월 12, 13일 양일간 비(12일 강우량 : 18.3mm, 13일 강우량 : 5.3mm)를 맞추어 빗물이 투과된 깊이를 측정하였다.

실험결과 많은 양의 비가 왔음에도 베일의 표면에만 비의 영향을 받는 것으로 나타났다.

가장 단단하게 묶인 베일(250 kg/m³)의 경우 전체적으로 표면에서 2cm가량 빗물이 흡수되

었는데 가장 느슨하게 묶인 경우는 이보다는 약간 더 흡수되었으나 커다란 차이는 없었다. 그러므로 베일을 포장에서 보관하더라도 비닐로 싸주고 토양에서 올라오는 습기를 차단해 준다면 베일의 품질에는 큰 손실이 없을 것으로 판단된다.

4) 베일 내부의 부패 정도

베일의 저장을 마친 후 베일 내부의 부패 정도를 관찰하였다.

여건상 벚짚의 성분이나 영양분의 변화를 조사할 수 없는 관계로 육안으로 관찰할 수 있는 벚짚의 색, 곰팡이 발생 정도, 냄새를 관찰하였다.

조사결과 함수율이 낮은 상태에서 작업한 베일(15%, 25%)에서는 생성 당시의 상태 그대로를 유지하고 있었는데 이는 고밀도의 베일이나 저밀도의 베일이나 같은 경향을 나타냈다.

반면에 함수율이 가장 높은 경우(45%)는 외부와의 통기가 안되는 고밀도에서 곰팡이의 영향을 많이 발견할 수 있었다. 색깔 또한 부패가 일어난 듯한 진한 갈색을 나타냈다. 이러한 경향은 밀도가 낮은 베일에서도 발견이 되었는데 밀도가 낮을수록 정도가 덜했다.

32% 함수율의 베일에서는 가장 밀도가 높은 베일에서는 색깔의 변화와 곰팡이가 모두 발견되었으나 밀도가 낮은 베일에서는 곰팡이는 발견되지 않고 색깔의 변화만 나타났다.

표 4는 함수율과 밀도가 각기 다른 16개의 베일에 대한 부패 정도와 변색 정도를 나타낸 것이다. 여기서 부패정도는 0~10의 범위에서 나타내었는데, 이는 단면을 잘라 보았을 때 곰팡이가 보이는 정도를 상대적인 값으로 나타내는 것이다. 즉, 부패정도가 5일 때 벚짚의 반정도가 부패했다는 것이 아니며 자른 단면에서 1/2정도 곰팡이가 보였다는 것이다. 또, 변색 정도는 베일 생성 당시의 색깔과 같은 것을 0, 가장 많이 색이 변한 45% 함수율, 250 kg/m³의 베일의 색을 10으로 보았을 때의 상대적인 색깔 변화를 의미한다.

Table 4 Degree of decay and discoloration of variable MC and density

MC(%wb)	15				25				32				45			
Density (kg/m ³)	100	150	200	250	100	150	200	250	100	150	200	250	100	150	200	250
degrees of decay	0	0	0	0	0	0	2	3	2	3	5	7	4	6	7	7
degrees of discoloration	0	0	0	2	1	2	2	3	3	5	6	8	4	7	8	10

위의 실험으로 볼 때 함수율 25%이하에서는 가능하면 단단히 묶는 것이 유리하며, 30~40%에서는 150 kg/m³으로 작업하고, 40%이상의 함수율에서는 가능하면 작업을 하지 않는 것이 바람직하며 부득이한 경우라면 100 kg/m³으로 작업하여야 함을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

벼 수확 후 벼짚의 건조속도와 베일의 저장 중에 발생하는 몇 가지 물리적 특성의 변화를 측정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 가. 벼 수확 직후 벼짚의 함수율은 약 50~60%이며 포장에서 자연 건조된 벼짚은 약 3~4일이 경과한 후 20%대로 떨어졌다.
- 나. 모형 베일의 내부 온도는 외기 온도에 따라서 변화였으며 특이한 사항은 발견되지 않았다.
- 다. 베일은 저장 기간 동안 지속적으로 건조가 진행되었는데 45%에서 작업한 베일의 경우 약 100 kg/m^3 의 밀도 감소가 나타났고, 건조가 진행됨에 따라 베일이 느슨해 졌다.
- 라. 빗물은 베일의 표면만을 적시고 깊이 침투하지 못하여 포장에서 보관하더라도 강우에 의한 영향은 그리 크지 않을 것으로 판단된다.
- 마. 저장을 마친 후 베일 내부의 부패 정도와 변색 정도를 관찰한 결과 고함수율, 고밀도의 베일에서는 곰팡이가 많이 발견되었다. 이를 방지하기 위해서는 최소한 25%이하의 함수율에서 작업하여야 할 것이다.

6. 참고문헌

1. 김경욱 외. 1998. 가변 원형 베일러의 설계 기술 개발. 연차보고서
2. ASAE. ASAE Standards, 41th Ed. 1994. S358.2. St. Joseph, MI
3. Dobie, J. B., G. E. Miller Jr. and P. S. Parsons. 1977. Management of rice straw for utilization. Transactions of the ASAE 20(6):1022-1028
4. Dobie, J. B. and A. Haq. 1980. Outside storage of baled rice straw. Transactions of the ASAE 23(4):990-993