

## 절단 벧짚의 物理的 性質†

### Some Physical Properties of Chopped Rice Straw†

박 승 제\*      김 명 호\*  
정 회 원      정 회 원  
S. J. Park    M. H. Kim

#### ABSTRACT

This study was performed to determine the kinetic friction coefficient, bulk density, dynamic and static angle of repose, and terminal velocity of the chopped rice straw in the moisture range of 8~23%, which could be used for better design and operation of the processing machinery and handling facilities. Friction coefficient was determined from the horizontal traction force measured by pulling the container holding the mass of rice straw on the various plate materials. Bulk density was measured with an apparatus consisting of a filling funnel and a receiving vessel. Dynamic angle of repose was calculated from the photos of bulk samples piled by gravity flow on a circular platform. Static angle of repose was determined by measuring the side angle of the bulk material which was left in the cylindrical container after natural discharge of the bulk sample through a circular hole in the bottom plate.

Kinetic friction coefficients of rice straw on the PVC, mild steel, stainless steel, and galvanized steel were in the range of 0.303~0.434, 0.222~0.439, 0.204~0.448, and 0.206~0.407, respectively, and indicated linear increase with moisture content. The effects of moisture change on the friction coefficients were in the order of PVC, mild steel, galvanized steel, and stainless steel. Bulk density, dynamic and static angle of repose, and terminal velocity were in the range of 56.8~60.3 kg/m<sup>3</sup>, 41.4~45.9°, 94.4~100.8°, and 1.07~4.48 m/s, respectively, and were increased linearly with the moisture content.

**주요용어 (Key Words):** 벧짚 (Rice straw), 마찰계수 (Friction coefficient), 산물밀도 (Bulk density), 안식각 (Angle of repose), 종말속도 (Terminal velocity)

#### 1. 緒 言

우리가 소비하는 농산물 중에는 처리나 가공 과정에서 발생하는 副産物 자체 역시 높은 이용가치를 지닌 것들이 있다(Staniforth, 1979). 우리나라 水稻作의 부산물로서는 벧짚과 왕겨가 주종을 이루고 있는데, 그 발생량은 粗穀생산량의 각각 80%와 20% 정

도로 계산된다. 따라서 벧짚의 年間 생산량은 약 400 만톤(1994년 기준) 정도로 추산할 수 있는데 그동안 벧짚은 가축사료와 에너지원으로 주로 이용되어 왔다. 최근에는 수확시 콤바인으로 잘게 썰어서 포장에 퇴비용으로 散布하는 경우가 많고 일본 다다미의 재료로 판매되거나 畜舍의 깔개로 쓰이기도 하나, 벧짚의 이용도를 높여 부가가치를 창출하는 것

† 1996년도 전북대학교 부속 농업과학기술연구소 지원 연구비에 의하여 연구되었음

\* 全北大學校 農科大學 農業機械工學科

은 결국 전체적인 水稻作의 경쟁력 제고에 도움이 된다는 측면에서 볼 때 좀더 적극적으로 벼짚의 활용 방안을 모색할 필요가 있을 것이다.

벼짚은 그 성분이 왕겨와 유사하나 왕겨에 비하여 회분의 함량과 회분중의 SiO<sub>2</sub> 성분 함량이 조금 적은 특징이 있다. 그러나 여러 가지 성질은 왕겨와 많이 다른 편이다. 특히 왕겨는 SiO<sub>2</sub> 성분이 표면에 치밀하게 분포되어 있어 경도와 마모성이 매우 높고 미생물에 의한 분해성이 저조하여 퇴비와 가축사료로 부적합하나 벼짚은 그렇지 아니하다. 벼짚 중의 섬유질을 이용하는 연구로서 최근에는 벼짚을 이용한 전통 한지 제조와 포장재 제조 연구가 진행 중이나 아직까지 실용화 단계에는 이르지 못하였다(강진하, 1997). 벼짚은 특히 가축사료화 및 소각처리를 통한 열에너지 자원화 등으로의 이용가치가 높은데 이와 같은 벼짚 이용과 관련하여 벼짚의 가공기계 및 취급시설을 설계, 개발할 필요성이 대두되며 이를 위해서는 벼짚의 물리적 특성의 파악이 선결되어야 한다. 농산물들의 물리적 성질은 함수율에 따라 많은 차이를 보이는 것이 일반적이며, 수도작 생산물들은 함수율의 범위가 보통 수확시 23~24%에서 저장시의 평형함수율인 10% 내외까지의 분포를 가지고 있다.

본 연구에서는 水稻作 副産物인 벼짚에 대하여 가장 기초적인 물리적 성질중 摩擦係數, 散物密度, 動的·靜的 安息角 및 終末速度를 8%~23% 범위의 함수율에 따라 측정하고 이들 물리량과 함수율간의 관계를 구명하고자 하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 가. 實驗材料

본 실험에 사용된 벼짚은 1995년 10월 전라북도 전주시 근교에서 생산된 동진 품종으로서 일반 농가에서 구입하여 사료용 절단기를 사용, 약 10 mm 길이로 細切한 후 10 mm × 10 mm 체를 통과시켜 1차 선별하였다. 公試材料의 평균길이는 12.2 mm, 평균 지름은 2.86 mm이었으며, 수분 함량은 天日乾燥 또는 噴霧加濕에 의해 8%~23% 범위 내에서 4수준으

로 조절했으며 함수율은 105°C / 72시간의 공기오븐 법으로 측정하였다.

### 나. 實驗裝置 및 方法

#### (1) 摩擦係數

본 연구에서 측정된 마찰계수는 動摩擦係數로서 그림 1에서와 같이 마찰면, 그 위를 미끄럼 운동하는 밀면이 없는 시료용기, 그리고 이를 定速으로 견인하면서 견인력을 측정하는 인장력 측정장치 (Instron)와 기록계로서 실험장치를 구성했으며 실험 조건은 표 1과 같았다. 실험의 精度를 높이기 위한 마찰표면의 상태조절은 Bickert와 Buelow (1966) 및 金과 李 (1976)와 유사한 방법을 사용하였다. 즉, 용기에 시료를 채우고 실험과 동일한 조건으로 마찰면 위에서 100회 견인시킴으로써 마찰표면의 상태가 가능한 자연적인 상태에 가까워지도록 만든 후, 실제실험을 실시하였다. 마찰면과 시료 밀면의 균일한 접촉을 위해 시료 위에는 259.1g의 附加荷重이 놓여졌는데 이는 마찰력이 가능한한 크게 나타나도록 하여 견인력의 측정오차를 감소시키기 위함이었다. 또, 견인력이 작용하는 반대편에 약 300 g의 인장추를 매달고 실험을 실시함으로써 견인력의 순간적 변화를 최소화하였다. 마찰면으로는 철판, PVC 판, 스텐레스판, 합석판을 선택하였고 각 실험처리당 7회 반복을 실시하였다. 動마찰계수  $\mu_k$ 는 측정된 견인력으로부터 다음 식에 의해 계산되었다.

Table 1 Experimental conditions for the kinetic friction coefficient measurement

Item	Conditions
Load cell	49 kN (5 kg)
Pulling speed	500 mm/min
Container	100 × 200 × 50 mm (W × L × H), 270 g
Tensioning weight	300 g
Sample weight	110 g
Added weight	259.1 g

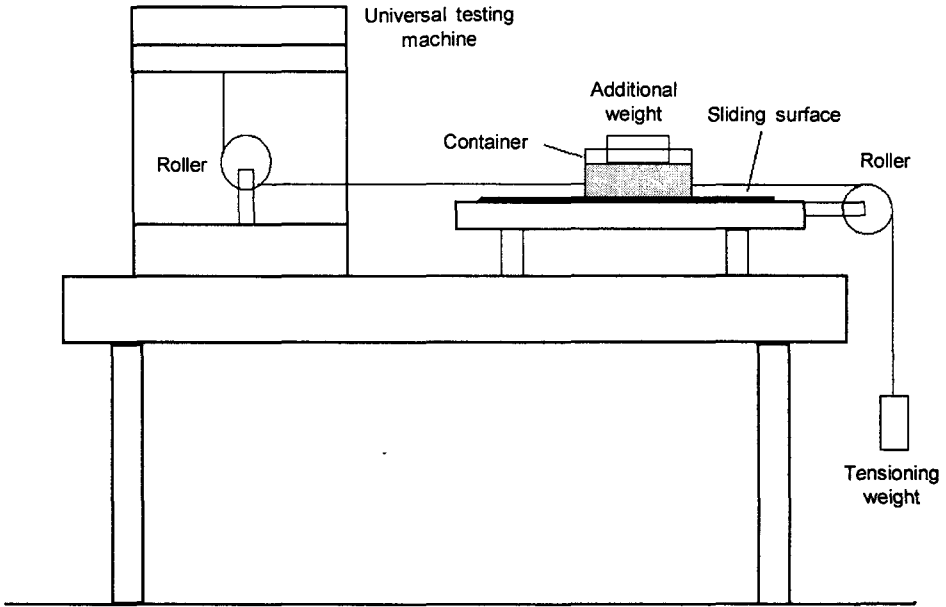


Fig. 1 Apparatus for measurement of the kinetic friction coefficient.

$$\mu_k = \frac{P - f}{W + W_a} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $\mu_k$ : 動마찰계수  
 P : 시료가 담긴 상태에서의 용기의 견인력  
 f : 빈 용기의 견인력  
 W : 시료의 무게  
 $W_a$ : 부가하중

(2) 散物密度

벚질의 散物密度는 金과 高 (1981)에서 사용된 것과 유사한 장치 (그림 2)를 제작하여 각 처리별 10 반복으로 측정하였다. 散物密度는 호퍼를 통해 일시에 배출되어 시료용기에 채워진 시료의 무게를 전자 저울로 측정, 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\rho_b = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $\rho_b$ : 散物密度  
 m : 용기내에 채워진 시료의 질량  
 v : 용기의 체적

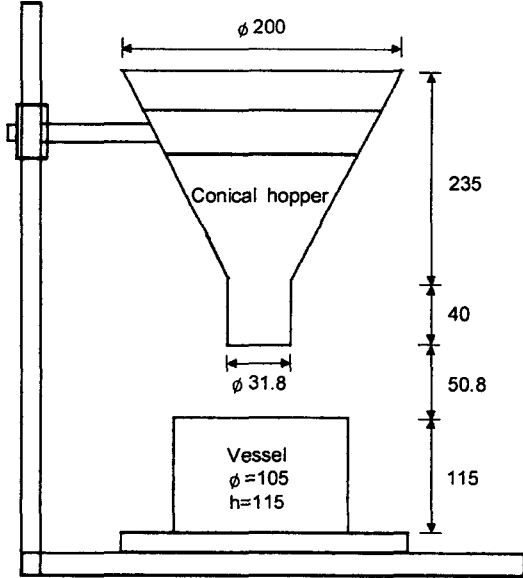


Fig. 2 Apparatus for measurement of the bulk density.

(3) 安息角

粉粒體를 갈때기를 통해 일정높이에서 낙하시키면 원뿔모양으로 퇴적되는데, 수평면과 이 원뿔斜面

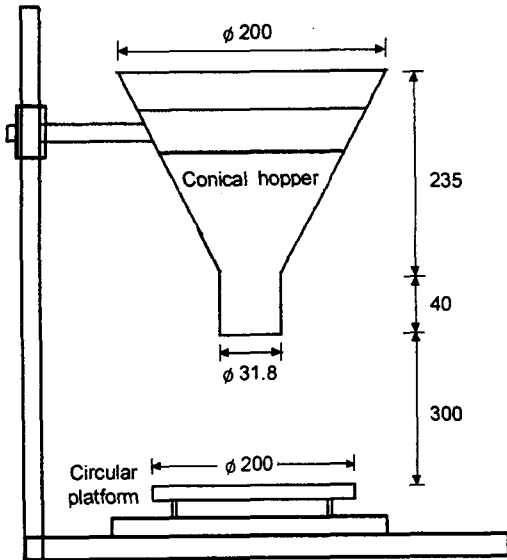


Fig. 3 Apparatus for measurement of the dynamic angle of repose.

이 이루는 角을 動的安息角(dynamic angle of repose) 또는 注入角(poured angle)이라 하며, 반면 용기내에 충전되어 있던 粉粒體가 自重에 의해서 밑바닥에 뚫린 구멍을 통해 흘러내려 배출될 때 용기내에 남아 있게 된 物體斜面이 용기 밑면과 이루는 角度를 靜的安息角(static angle of repose) 또는 排出角 (drained angle)이라 한다 (姜, 1995).

가) 動的安息角

動的安息角 측정장치는 그림 3에서와 같이 시료를 담고 있는 호퍼(hopper), 호퍼를 지탱하는 지지대, 그리고 낙하 시료가 쌓이게 되는 원형판으로 구성하였다.

호퍼를 통해 일시에 배출한 시료는 낙하하여 그림 4에 보인 바와 같이 원형판 위에 원뿔모양으로 퇴적되며, 이를 카메라로 촬영, 현상한 사진으로부터 H와 D를 측정할 후 다음 식 (3)으로부터 動的安息角을 구하였다. 動的安息角 실험은 각 처리당 6반복으로 실시하였다.

$$\theta_d = \tan^{-1} \left( \frac{2H}{D} \right) \dots \dots \dots (3)$$

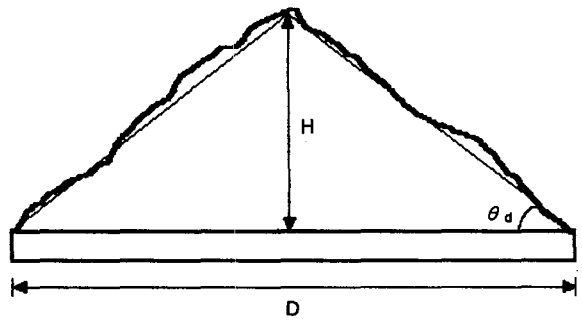


Fig. 4 Typical shape of the bulk material piled on circular platform.

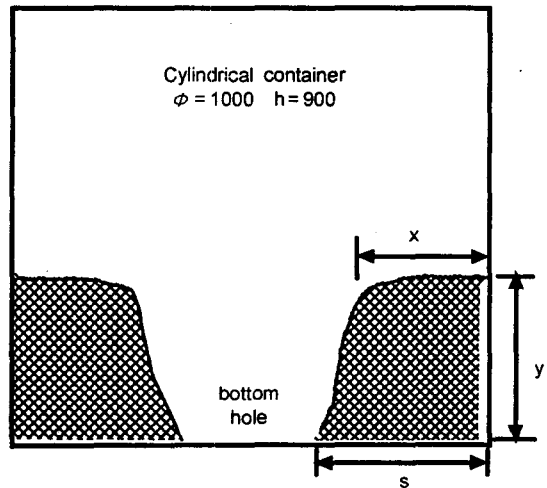


Fig. 5 Schematic diagram for the calculation of static angle of repose.

여기서,  $\theta_d$ : 動的安息角

H : 시료퇴적물의 높이

D : 시료퇴적물 밑면 (원형판)의 직경

나) 靜的安息角

靜的安息角 측정을 위해 그림 5에서와 같이 밑면 중앙의 원형 구멍으로 시료가 배출될 수 있는 스텐레스제 원통형 용기를 제작하였다. 용기내에 일정높이(275 mm)로 벧짚을 채운 후 밑면의 원형구멍을 순간적으로 열어 시료가 구멍을 통해 붕괴되어 흘러나갈도록 하였다. 시료배출이 더 이상 이뤄지지 않

는다고 판단될 때, 용기내 殘存 시료더미의 윗부분에 생성된 구멍둘레를 따라 용기 측면까지의 반경방향 거리 (x)를 열 군데에서 측정, 이를 평균하여 다음 식 (4)에 의해 靜的安息角을 구하였다. 여기서,  $\theta_s$ 는 정적안식각이며 다른 기호들은 그림 5에 나타난 기호들이다. y는 용기내 殘存 시료더미의 높이, S는 밀면 배출구 가장자리에서 원통벽면까지의 반경방향 거리로서 275 mm 였다.

$$\theta_s = \tan^{-1} \left( \frac{y}{s-x} \right) \dots\dots\dots (4)$$

(4) 終末速度

농산물의 종말속도 측정에는 다음의 두 가지 방법이 주로 사용된다 (Mohsenin, 1986). 즉, 속도분포가 균일한 上昇氣流를 이용하여 시료를 일정한 높이의 浮遊상태에 놓이도록 기류를 조절한 후, 이때의 풍속을 종말속도로서 측정하거나, 靜止공기층 내에서 자유낙하하는 시료가 等速度 운동을 하는 순간을 포착하여 그 때의 낙하속도를 종말속도로 측정하는데 본 실험에서는 추와 趙 (1989)가 제작한 실험용 風洞을 사용하여 첫 번째 방법으로써 종말속도를 측정하였다.

風洞 수직관 하부에는 整流用 스크린을 설치하여 管内 반경방향의 유속분포가 최대한 균일하게 되도록 하였으며, 상부에는 시료 지지용 스크린을 설치하였다(그림 6). 수직관 내의 평균풍속과 원심 팬 驅動 변속모터의 회전속도간의 관계는 모터의 회전속도를 차례로 변화시키며 空氣充滿室 출구로부터 수직 상방향으로 120 cm 되는 지점에 정밀 열선풍속계를 管内로 삽입하여, 管的 중심, 管지름의 1/4 과 1/8에 해당하는 지점의 풍속을 측정하여 구하였다. 예비실험 결과, 공시재료인 벚짚 개체간 충실도의 차이 및 시료에의 벚짚 마디 유무와 그 위치에 따른 무게중심의 비대칭성(Bilanski와 Lal, 1965)으로 말미암아 시료의 부유상태의 범위가 너무 커 육안에 의한 종말속도 도달여부를 판단하기 힘들었다. 따라서, 1차로 선풍기에 의한 風選을 하여 전체 시료를 가벼

1. Fan
2. VS motor
3. Flexible duct
4. Controller & tachometer
5. Plenum chamber
6. Screen for uniform flow
7. Screen for specimen
8. Vertical pipe
9. Measuring section

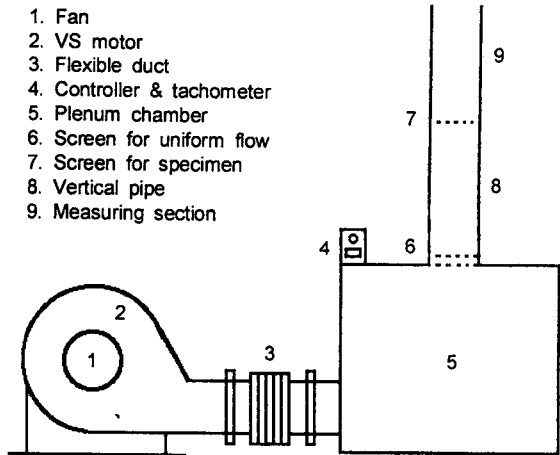


Fig. 6 Apparatus for the measurement of terminal velocity.

운 것과 무거운 것으로 (무게비 약 45:55) 분류한 후, 무거운 시료에 속하는 벚짚을 공시재료로 사용하였다. 종말속도의 실험은 5반복으로 실시했으며, 시료 약 10 g을 시료 지지망에 균일하게 놓고, 팬 구동모터의 회전속도를 조절하여 시료가 10~20 cm 높이로 부유하도록 한 후, 그 때의 모터 회전속도에 대응하는 풍속을 벚짚의 종말속도로 간주하였다. 이때 시료 개체의 무게 또는 형상에 따라 부유가 순차적으로 이뤄지는 현상이 발생하여 전체 시료의 부유상태를 3분하여 그에 상응하는 세 개의 종말속도 값을 측정하였다.

3. 結果 및 考察

가. 摩擦係數

본 실험에서 사용한 4종의 마찰표면에 대한 벚짚의 動마찰계수값은 표 2와 같다.

실험 함수를 범위내에서 벚짚의 마찰계수는 0.204 ~0.448 이었고, 함수율에 비례하여 거의 선형적으로 증가하였다. 함수율에 따른 마찰계수의 증가율은 스텐레스판이 가장 컸고 PVC판이 가장 작았다. 벚짚

Table 2 Kinetic friction coefficients of rice straw on various materials.

Moisture (% w.b.) / Plate material	8.5	13.4	18.4	22.7	Regression equations x: moisture content (decimal) y: dynamic friction coefficient
PVC	0.303	0.337	0.380	0.434	$y = 0.9040x + 0.2209$ ( $r^2=0.98$ )
Mild steel	0.222	0.304	0.370	0.439	$y = 1.4897x + 0.0985$ ( $r^2=0.99$ )
Stainless steel	0.204	0.277	0.350	0.448	$y = 1.6677x + 0.0875$ ( $r^2=0.99$ )
Galvanized Steel	0.206	0.276	0.340	0.407	$y = 1.3911x + 0.0875$ ( $r^2=0.98$ )

Table 3 Bulk density of rice straw at various moisture contents

Moisture (% w.b.)	8.5	12.7	16.7	22.8
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	56.8	57.5	58.5	60.3
Regression equation x: moisture content (decimal) y: bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	$y = 24.886x + 54.47$ ( $r^2=0.98$ )			

의 마찰계수에 관한 기존의 연구결과는 거의 찾아 보기 힘들었지만, 짚의 경우는 함석판과 강판에 대해서 0.26과 0.35 (Sitkei, 1986)의 값이, 함수율 약 15%인 kuri짚의 경우는 함석판과 연강판에 대해서 0.304와 0.351 (Mohsenin, 1986)의 값이 보고되어 본 연구에서 얻어진 마찰계수 값들의 신뢰성을 간접적으로 확인할 수 있었다. 4종의 마찰표면 중 함석판에 대한 벚짚의 마찰계수가 전반적으로 가장 작았는데, 벚짚의 함수율이 낮은 범위에서는 스텐레스판과 함석판에서의 마찰계수가 작은 값을 보였으며 PVC 판은 상대적으로 매우 큰 마찰계수를 보였다. 반면 높은 함수율에서는 함석판을 제외한 각 마찰면에 대한 마찰계수간에 서로 큰 차이가 발견되지 않았다. 낮은 함수율 범위에서 PVC판에 대한 벚짚의 마찰계수가 큰 것은 마찰면에 존재하게 되는 靜電氣가 주요인이라 생각되었다.

나. 散物密度

표 3에 벚짚의 함수율과 산물밀도 사이의 선형 회귀식을 나타내었는데 벚짚의 산물밀도는 실험범위 내에서는 함수율이 높아질수록 약간씩 증가하였다. 기존 연구결과에 의하면, 임상 농산물의 산물밀도는 그 종류 및 실험 함수율 범위에 따라서, 함수율이 증

가하면 감소하거나(Jayas et al., 1989; Lee and Chung, 1996; Mohsenin, 1986; Thompson and Isaacs, 1967; 金과 高, 1981), 감소 후 다시 증가(Loewer, Jr. et al., 1977), 또는 증가하는(Lee and Chung, 1996; Mohsenin, 1986; 金과 高, 1981) 등 다양한 양상을 보이며, 이는 粒狀 물질의 산물밀도는 일반적으로 시료의 형상, 크기, 진밀도, 함수율, 시료 입체간 영킴의 정도, 채움 방법 등에 좌우되기 때문으로 생각된다. 선형 회귀식의 결정계수는 0.98로서 함수율과 산물밀도의 선형적 관계는 매우 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 또한, 수확시부터 저장 및 이용시까지의 대부분 함수율 범위에서 벚짚의 산물밀도는 56.8-60.3 kg/m<sup>3</sup>로서 매우 낮았는데 이는 baler에 의한 짚단 꾸러미의 산물밀도의 약 50% 정도이며 (Staniforth, 1979), 이로 말미암아 벚짚의 이송, 저장, 처리 등에서 많은 어려움이 발생할 수 있으며 특히 호퍼로부터 自重에 의해 벚짚을 낙하시켜 移送하는 작업은 상당히 어려울 것으로 판단된다.

다. 安息角

표 4는 함수율에 따른 벚짚의 動的 및 靜的安息각을 나타낸 것인데 함수율이 높을수록安息각이 약간씩 증가하였다. 함수율에 따른安息각의 변화율은

Table 4 Angle of repose of rice straw at various moisture contents

Moisture (% w.b.)	8.5	12.1	16.7	22.8	Regression equations x: moisture content (decimal) y: angle of repose (degree)
Dynamic angle of repose (degree)	41.4	42.1	43.4	45.9	$y = 31.58x + 38.454$ ( $r^2=0.98$ )
Static angle of repose (degree)	94.4	94.8	96.2	100.8	$y = 44.89x + 89.803$ ( $r^2=0.90$ )

Table 5 Average terminal velocity of rice straw at various moisture contents

Moisture (% w.b.)	Terminal velocity (m/s)	First-airborne	Second-airborne	Last-airborne
7.6		1.07	1.78	3.40
13.2		1.14	1.92	3.79
18.6		1.25	2.05	4.20
23.1		1.35	2.23	4.48
Regression equations x: moisture content (decimal) y <sub>1</sub> : First-airborne terminal velocity (m/s) y <sub>2</sub> : Second-airborne terminal velocity (m/s) y <sub>3</sub> : Last-airborne terminal velocity (m/s)		$y_1 : 1.83x + 0.9128$ ( $r^2 = 0.91$ ) $y_2 : 2.83x + 1.5509$ ( $r^2 = 0.93$ ) $y_3 : 7.04x + 2.8631$ ( $r^2 = 0.99$ )		

일반 곡물의 경우 (Mohsenin, 1986) 보다는 훨씬 작았으며, 이는 볏짚은 기본적으로 個體 상호간 엉킴에 의해 퇴적더미를 형성하게 되므로 함수율 증가에 따른 개체간 凝集力의 증가는 안식각에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 추정된다. 대부분의 곡물 및 分粒狀 식품의 動的안식각은 20~60°의 범위라 알려져 있는데(姜, 1995; 宋과 朴, 1995), 동적안식각이 41~46°인 볏짚은 流動性이 좋지 않은 물질이라 볼 수 있다. 볏짚의 안식각은 콩, 보리, 옥수수과 같이 구형도가 비교적 큰 곡물보다는 훨씬 컸으며, 형상이 타원체에 가까운 벼와는 비슷하였다(高, 1991). 靜的안식각은 90° 이상의 높은 값을 보였는데 이는 볏짚의 배출시 극단적인 편뿔(funnel) 유동이 발생하였음을 의미하며, 따라서 自重에 의한 원통용기로부터의 볏짚의 배출은 용이하지 않을 것으로 생각된다. 靜的안식각 실험시, 용기안에 채워 놓은 볏짚의 높이가 너무 높을 경우, 배출구 위쪽에 架橋가 형성되어 아래 쪽의 게이트를 열어도 시료들이 원활히 배출되지 않았으며, 시료의 최초 퇴적 높이가 약 275 mm 이하가 되어야만 가교의 형성이 없이 배출이 이

루어져 그림 5에서와 같은 형상이 생성되었다. 그러나, 배출이 완료된 후의 殘存 시료더미의 높이는 배출 전 용기 내에 채운 시료높이와 동일하여, 볏짚의 흐름은 플러그(plug) 유동이 아니고 순전히 편뿔(funnel) 유동에 의해 이뤄졌다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 靜的안식각에 대해서는 실험장치인 원통의 크기, 볏짚 시료의 최초 퇴적 높이, 배출구의 크기 등이 관계 요인이 되는 것으로 생각되며, 이들을 요인으로 하는 추가연구를 할 필요가 있다고 판단된다.

라. 終末速度

표 5에 함수율별로 측정된 볏짚의 순차적 종말속도를 나타내었다. 이 결과에 의하면 함수율 7.6%의 볏짚의 경우, 무게비로 전체의 약 52% 정도에 해당하는 가벼운 시료들은 1.07 m/s의 풍속을 사용하면 전체 시료로부터 제거가 가능하며, 무게비로 전체 시료의 약 9%에 해당하는 가장 무거운 시료들은 3.40 m/s까지 풍속을 증가시켜야만 부유될 것이라는

추정이 가능하였다. 벧짚의 종말속도 역시 함수율이 증가함에 따라서 선형적으로 증가함을 알 수 있었으며, 양자간의 관계는 표 5에서와 같은 선형회귀식으로 나타낼 수 있었다.

#### 4. 要約 및 結論

벧짚은 특히 가축사료화 및 소각처리를 통한 농가 열에너지 자원화로 이용가치가 높는데 이와 관련하여 벧짚의 가공기계 및 취급시설을 설계, 개발할 필요성이 대두되며 이를 위해서는 벧짚의 물리적 특성의 파악이 선결되어야 한다. 본 연구에서는 水稻作 副産物인 벧짚에 대하여 가장 기초적인 물리적 성질중 摩擦係數, 散物密度, 動的·靜的 安息角 및 終末速度를 8%~23% 범위의 함수율에 따라 측정하고 이들 물리량과 함수율간의 관계를 구명하고자 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 모든 마찰표면 재료(PVC, 스텐레스, 합석, 철판)에서의 摩擦係數는 벧짚의 함수율이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며, 함수율이 낮은 범위에서는 마찰표면 재료에 따른 마찰계수의 차이가 상대적으로 컸다. 선형 회귀식의 기울기는 크기의 내림차순으로 스텐레스판, 철판, 합석판, PVC판의 순서였으며, 특히 PVC판은 벧짚의 함수율이 낮은 경우에 상대적으로 다른 재료에 비해 매우 큰 마찰계수 값을 보였는데 이는 靜電氣 현상이 크게 작용한 것으로 판단된다. 실험함수율 범위에서 벧짚의 마찰계수 값은 PVC, 철판, 스텐레스, 합석판에서 각각 0.303~0.434, 0.222~0.439, 0.204~0.448, 0.206~0.407이었다.

2) 함수율이 증가할수록 벧짚의 散物密度, 安息角, 終末速度 모두 선형적으로 증가하였다. 특히 벧짚의 산물밀도(56.8~60.3 kg/m<sup>3</sup>)는 다른 농산물이나 농업 부산물에 비해 매우 작지만, 상대적으로 動的安息각(41.4~45.9°)과 靜的安息각(94.4~100.8°)은 큰 결과가 나타나, 호퍼로부터 自重에 의해 벧짚을 배출하거나 스크류 컨베이어를 이용해 벧짚을 이송하는 경우 상당한 어려움이 있을 것으로 예상된다. 종말속도는 실험 함수율 범위에서 1.07~4.48 m/s의 값을 나타내었다.

#### 參 考 文 獻

1. 강석호. 1995. 분체공학. pp. 122-123. 희중당.
2. 강진하. 1997. 벧짚을 이용한 성형포장재 및 한지 제조기술 개발. 농림부 보고서.
3. 고학균. 1991. 농산물의 물리적 특성과 그 응용에 관한 연구보고서. 서울대학교 농과대학.
4. 김만수, 고학균. 1981. 곡물의 물리적 특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 6(1):73-82.
5. 김만수, 이종호. 1976. 곡물의 동마찰계수 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 1(1):49-54.
6. 송재철, 박현정. 1995. 식품물성학. pp. 233 234. 울산대학교 출판부.
7. 이종호, 조용진. 1989. 곡물의 공기선별에 관한 공기동력학적 연구 (I) - 수직풍동의 설계에 관한 실험적 연구. 한국농업기계학회지 14(4):272-281.
8. Bickert, W. G. and F. H. Buelow. 1966. Kinetic friction of grains on surfaces. Trans. of the ASAE 9(1):129-131, 134.
9. Bilanski, W. K. and R. Lal. 1965. Behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. Trans. of the ASAE 8(3):411-413, 416.
10. Jayas, D. S., S. Sokhansanj and N. D. G. White. 1989. Bulk density and porosity of two canola species. Trans. of the ASAE 32(1):291-294.
11. Lee, C. H. and D. S. Chung. 1996. Grain physical and thermal properties related to drying and aeration. Proceedings of International Conference on Grain Drying in Asia, ACIAP Proceedings No. 71:83-98.
12. Loewer Jr., O. J., I. J. Ross, D. D. Kratzer and J. N. Walker. 1977. Properties of ground shelled corn as related to forces in bulk storage dtructures. Trans. of the ASAE 20(1):155-156.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Sci. Publishers, New York, N.Y., pp. 616-681, 682-778, 806, 818.
14. Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier Sci. Pub. Co. Inc., New York, N.Y., pp. 357.
15. Staniforth, A. R. 1979. Cereal Straw. Clarendon Press, Oxford, U.K.
16. Thompson, R. A. and G. W. Isaacs. 1967. Porosity determination of grains and seeds with an air-comparison pycnometer. Trans. of the ASAE 10(5): 693-696.