

벼의 生物體 降伏強度 및 極限強度

Bioyield Strength and Ultimate Strength of Rough Rice

金 滿 秀*, 金 馨 來*, 朴 鍾 民*, 明 炳 洙*

M. S. Kim, S. R. Kim, J. M. Park, B. S. Myung

Summary

Rough rice is subjected to a series of static and dynamic forces during mechanical harvesting, handling and processing operations. The mechanical properties such as bioyield point, compressive strength, and deformations at the bioyield point and rupture point are important engineering data needed to develop processing machines and to determine reasonable operating conditions for these machines.

The objectives of this study were to determine the mechanical properties of the rough rice kernel at loading rate of 0.664 mm/min and 1.673 mm/min and at various moisture contents, and to examine the effect of the moisture content and the loading rate on these mechanical properties.

The following results were obtained from the study.

1. Bioyield point, rupture point, bioyield strength and ultimate strength of the rough rice kernel generally decreased in magnitude with an increase in moisture content. A little larger values of these mechanical properties were obtained at the higher loading rate. The rough rice variety and the loading rate affected significantly these mechanical properties at low moisture content, but not at the higher moisture levels.

2. Bioyield point of the sample grains varied from 20 to 80 N, and rupture point varied from 45 to 130N. Bioyield point for Japonica-type rough rice was a little higher than that for Indica-type rough rice, but there were little differences in rupture point between two types of rough rice.

3. Bioyield strength and ultimate strength of the Japonica-type rough rice varied from 10 MPa. to 39 MPa., and from 13 MPa. to 45 MPa. respectively. Those of the Indica-type rough rice varied from 12 MPa. to 42 MPa., and from 15 MPa. to 53 MPa. respectively.

4. Deformations at bioyield point and rupture point ranged from 0.18 mm/min to 0.26 mm, and from 0.28 mm to 0.53mm respectively. These deformations decreased with an increase in moisture content up to moisture content of approximately 17% (w.b.) and increased again thereafter.

5. Regression equations were developed to predict these mechanical properties for the rough rice kernel as a function of moisture content.

1. 緒 論

벼는 收穫된 후 최종 食品으로 사용될 때까지 여러 단계의 物理的 處理過程을 거치게 되며 이러한 處理過程에 穀粒은 주로 壓縮荷重을 받게 된다.

穀粒이 壓縮荷重을 받을 때 穀粒의 生物體 降伏點, 變形量 및 壓縮強度 등은 收穫機械, 搗精機 등의 改良이나 合理的인 作動條件을 설정하는 데 매우 중요한 資料가 될 뿐 아니라, 기타의 機械의 및 리올러지 特性을 測定하는데 기본이 되고 있다.

* 忠南大學校 農科大學 農業機械工學科

農産物은 일반 공업재료와는 달리 형상 자체가 不均一하고 荷重-變形間의 관계가 測定時間에 관계되어 舉動을 하는 粘彈性體이기 때문에 이러한 特性을 測定한다는 것은 매우 까다로운 일이다.

Prasad 等¹³⁾은 벼를 평평한 판위에 안정한 상태로 누어놓고 荷重載荷速度 0.5~11 mm/min 범위의 4수준에 대하여 準靜的인 壓縮實驗을 실시하여 含水率이 生物體 降伏點, 最大壓縮強度 및 變形量 등에 미치는 影響을 研究한 결과 含水率이 12~24% (d.b.) 범위에서, 生物體 降伏點은 17.85~100.65 N, 最大壓縮強度는 40.61~160.69 N 범위였으며, 含水率이 증가함에 따라 이들 生物量들은 감소하는 경향이었고, 生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量은 含水率 15% (d.b.) 정도에서 가장 큰 값을 나타내었으며 荷重載荷速度가 빠를수록 生物體 降伏點 및 最大壓縮強度는 컸다고 보고하였다.

Hiroshi 等⁶⁾은 벼와 玄米의 破壞荷重을 비교한 결과 含水率 14.5% (d.b.) 이하에서는 이들 간에 차이가 없었으나, 含水率 14.5% (d.b.) 이상에서는 벼의 破壞荷重이 玄米의 破壞荷重의 거의 7배에 달하였고, 引長力 일 경우는 이보다 훨씬 큰 24배였다고 하였다.

Arora 等²⁾은 상당히 乾燥된 玄米의 양단을 평평하게 잘라 양단면의 평균값을 斷面積으로 하여 荷重載荷速度 0.5 mm/min에서 壓縮 및 引長實驗을 수행한 결과, 玄米의 경우 作用荷重이 98.1 N의 범위내에서는 彈性的인 성질을 보였으며, 最大壓縮強度는 147.15~176.58 N, 彈性係數는 2.4×10^5 Pa. 이었고, 引長強度는 114.8×10^5 Pa. 이었다고 하였다.

Chattopadhyay 等⁵⁾은 玄米를 원기둥 모양으로 가공하여 荷重載荷速度, 溫度 및 含水率이 破壞強度에 미치는 影響을 研究한 결과, 荷重載荷速度(0.127, 0.508, 2.540mm/min)가 빠를수록 破壞強度는 모든 含水率 수준(12, 17, 22, 29% (d.b.)) 및 溫度 수준(25, 30, 47, 58, 69°C)에서 증가하였으며, 含水率 및 溫度가 증가함에 따라 破壞強度는 감소하였다고 보고하였다.

Yamaguchi 等¹⁴⁾도 含水率 11% (d.b.)의 玄米를 원기둥 모양으로 가공하여 荷重載荷速度別로 壓縮實驗을 수행하여 荷重載荷速度가 빠를수록 應力-變形率 曲線의 기울기가 급하게 나타났는데 바로 이러한 성질로 玄米의 粘彈性的인 特性을 잘 설명할 수 있다고

하였다^{11,15)}.

國內의 研究結果로서는 高等⁷⁾이 벼와 玄米에 대하여 準靜的인 壓縮實驗을 수행하여 含水率이 彈性係數, 生物體 降伏點, 最大壓縮強度 및 變形量에 미치는 影響을 분석하여 이들 物理量들을 含水率 인자로 하는 回歸方程式을 유도한 바 있다.

벼 및 玄米 이외에 이와 유사한 農産物에 대한 研究結果로서는 Arnold 等¹⁾이 밀에 대하여, Misra 等¹⁰⁾, Bilanski⁴⁾, Paulsen¹²⁾, Liu 等⁸⁾ 및 Menash 等⁹⁾이 콩에 대하여, 그리고 Zoerb 等¹⁶⁾이 옥수수에 대하여 각각 力學的 特性을 발표한 예가 있다.

이상의 研究結果들은 대부분 壓縮實驗裝置로서 UTM을 이용하였는데, UTM은 荷重載荷速度가 매우 느린 경우는 作動이 불완전하고 記錄裝置에 있어서도 測定資料를 Pen recorder 等으로 記錄 後 人力으로 판독하여 처리하여야 하기 때문에 많은 時間과 精密度面에서 문제가 될 수 있다.

따라서 本 研究에서는 荷重載荷速度를 분당 3mm이내에서 원하는 速度로 조절이 가능하고 測定時間에 따른 穀粒이 받는 荷重과 變形이 각각 Load cell과 LVDT로 동시에 測定되어 Computer의 Hard disk와 모니터상으로 동시에 入出力되며, 필요시 Computer program에 의하여 저장된 資料를 分析하여 그 결과만을 프린터로서 出力되는 Data acquisition system을 구성하였다. 本 研究의 目的은 벼 4品種에 대하여 荷重載荷速度別 및 含水率別로 生物體 降伏點, 生物體 降伏強度, 破壞點, 極限強度 및 變形量을 測定하고, 含水率 및 荷重載荷速度가 이들 物理量에 미치는 影響을 分析하고 含水率을 인자로 하는 數學的 模型을 開發하는데 있다.

2. 材料 및 方法

가. 實驗材料

本 實驗의 供式穀物로는 一般系 벼 2品種(아끼바레, 대청)과 多收系 벼 2品種(삼강, 원풍)으로 收穫時期에 있는 벼를 포장에서 직접 손으로 收穫하여 本 實驗의 實驗材料로 사용하였다.

나. 實驗裝置 및 方法

本 實驗의 實驗裝置의 개략도는 그림 1과 같으며, 매우 느린 荷重載荷速度를 얻기 위하여 Vickers 硬度計를 약간 개조하여 變速 모타와 2대의 減速機를 연결시켜 Cross head의 速度를 조절하였고, 時間에 따른 穀粒이 받는 荷重과 變形이 Load cell과 LVDT로 동시

에 測定되어 Amplifier를 거쳐 나오는 Analog signal을 A/D converter에 의하여 Digital signal로 바꾸어 Computer의 Hard disk와 모니터상으로 동시에 入力될 수 있도록 하였다. 實驗室 內的 氣溫과 相對濕度는 가급적 15°C와 45% 내외로 유지되도록 하였다.

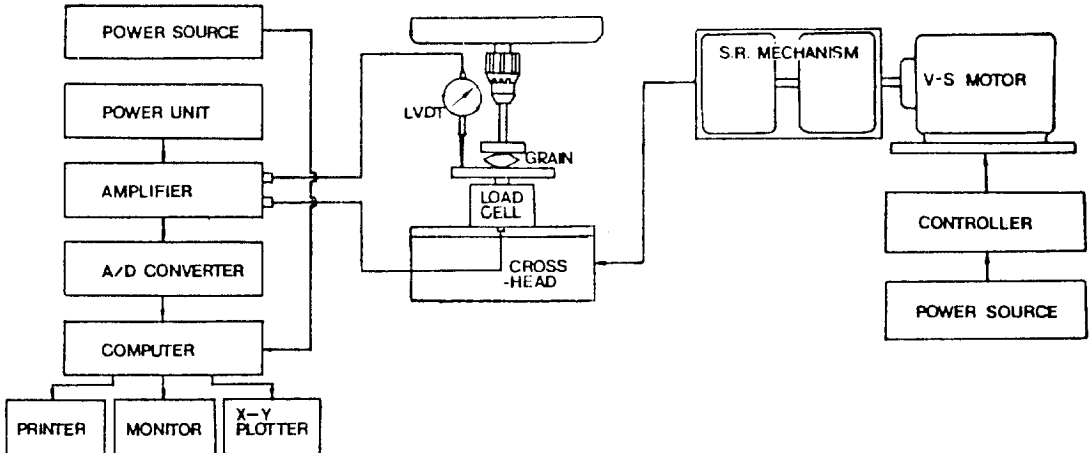


Fig. 1. Schematic diagram of compression test apparatus.

本 實驗에 사용된 주요 計測器들의 사양은 表 1과 같다.

Table 1. Specifications of compression test apparatus and measuring system.

Item	Specification	Remarks
Computer	32 bit, CPU 2MB memory (65 MB Hard disk)	model, 386
A/D converter	16 channels	PCL-712
Amplifier	6 channels, 2 V excitation	Kyowa, CO-50ET
Load cell	200 kg capacity	Kyowa, LU-200KE
LVDT	0.01(1/100)mm readability	Kyowa, DT-20D
V/S motor	180 V-11 Amps-1750 rpm	
S.R. mechanism	1/180 reduction	

含水率 범위는 13~25% (w.b.) 범위 내에서 4 수준을 택하였고, 荷重載荷速度(loading rate)는 ASAE Standard S368.1³⁾에 근거하여 1.25mm/min ± 50% 범위에서 0.664와 1.673 mm/min 두 수준으로 하였다. 그리고 반복 穀粒數는 品種別, 含水率 및 荷重載荷速度別로 각각 15~20粒으로 하였다.

다. 接觸面積 計算式

穀粒을 판위에 가장 안정된 상태로 누어 놓고 準靜的인 壓縮實驗을 수행하여 얻은 荷重-變形 曲線으로부터 生物體 降伏強度 및 極限強度를 계산하기 위하여 Hertz의 式을 이용하여 다음과 같은 接觸面積의 式을 유도하였다^{3,11,15)}.

$$E = 0.531F(1 - \mu^2) \left\{ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right\} / D^3 \}^{1/2} \dots (1)$$

여기서, E = 彈性係數, Pa.

F = 荷重, N

D = 變形量, m

μ = Poisson 比, 0.25 ~ 0.49 (0.3)

R_1, R_1' = 穀粒 接觸부위에서의 曲率半徑, m

$R_1 = T/2, R_1' = (T^2 + L^2/4) / 2L$

0.531 = 常數

彈性係數의 정의로부터

$$E = (F/A) / (D/T) \dots (2)$$

여기서, T = 穀粒의 두께, m

A = 穀粒의 接觸面積, m²

式(1)과 (2)로부터 接觸面積은 다음과 같이 표시된다.

$$A = \frac{T}{0.531(1 - \mu^2) \left\{ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right) / D \right\}^{1/2}} \dots (3)$$

3. 結果 및 考察

가. 含水率 및 荷重載荷速度가 生物體 降伏點에 미치는 影響

生物體 降伏點(bioyield point)은 세포 조직내의 작은 공간들이 破壞되기 시작하는 점으로서 壓縮實驗에서 試料의 變形은 계속 증가하지만 荷重은 약간 감소하거나 일정하게 유지되는 점이다. 즉 生物體가 外力을 받았을 때 損傷에 대한 敏感度를 결정해 주는 요소가 된다.

그림 2와 3은 生物體 降伏點과 含水率과의 관계를 나타낸 그림으로서 含水率이 증가함에 따라 감소하는 경향이였으며, 含水率이 비교적 낮은 범위에서는 品種間에 차가 뚜렷하였으나 含水率이 높은 경우에는 별 차이가 없었다. 本研究의 含水率 범위인 13~25% (w.b.)에서 벼의 生物體 降伏點은 대략 80~20N으로, Prasad 等¹³⁾의 研究結果인 含水率 12~24(d.b.)범위에서 100.65~17.85 N과 Koh 等⁷⁾이 발표한 含水率 12~24% (w.b.)범위에서 74.57~24.53N과 비교적 잘 일치하였다.

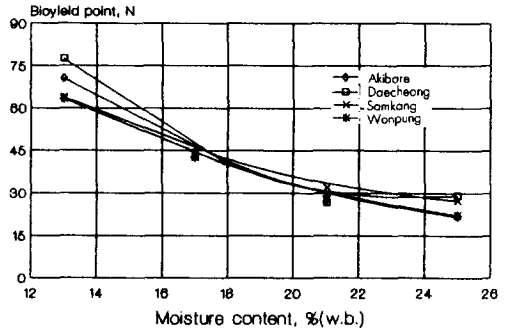


Fig. 2. Effect of moisture content on bioyield point of the rough rice at loading rate, 0.664mm/min.

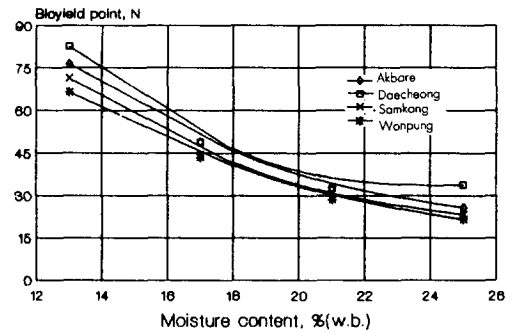


Fig. 3. Effect of moisture content on bioyield point of the rough rice at loading rate, 1.673mm/min.

荷重載荷速度에 따른 벼 두 시스템의 生物體 降伏點과 含水率과의 관계를 그림4에 나타내었다. 含水率 이 낮은 경우는 荷重載荷速度에 따라 두 시스템에서 모두 뚜렷한 차이가 있었으나, 含水率이 높은 경우는 별 차이를 나타내지 않았다. 含水率 17% (w.b.)이하에서는 대체로 一般系 벼가 多收系 벼 보다 높았으나, 17% (w.b.) 이상에서는 오히려 多收系가 더 높게 나타나는 경우도 있었다.

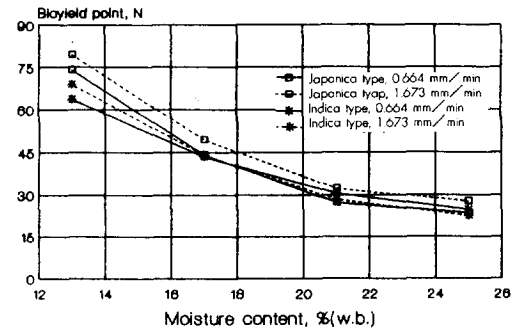


Fig. 4. Effect of moisture content on bioyield of the rough rice according to loading rate.

Table 2. Regression equations of bioyield point of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	L.R	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	BP=227.2181 - 16.2056 M + 0.3195 M ²	0.9958
	1.673	BP=239.4165 - 16.8686 M + 0.3329 M ²	0.9821
Daecheong	0.664	BP=319.9545 - 16.2459 M + 0.5843 M ²	0.9330
	1.673	BP=315.0718 - 25.0584 M + 0.5522 M ²	0.9748
Japonica	0.664	BP=260.9734 - 19.6731 M + 0.4069 M ²	0.9487
	1.673	BP=264.6932 - 19.4267 M + 0.3980 M ²	0.9675
Samkang	0.664	BP=179.8816 - 11.9529 M + 0.2342 M ²	0.9984
	1.673	BP=233.4905 - 16.8874 M + 0.3393 M ²	0.9954
Wonpung	0.664	BP=177.8936 - 11.6363 M + 0.2163 M ²	0.9986
	1.673	BP=196.0834 - 13.2245 M + 0.2498 M ²	0.9996
Indica	0.664	BP=178.6088 - 11.7571 M + 0.2241 M ²	0.9870
	1.673	BP=215.6795 - 15.1411 M + 0.2966 M ²	0.9870

Note : M=Moisture content, % (w.b.), BP=Bioyield point, N, L.R=Loading rate, mm/min

品種別로 荷重載荷速度에 따른 含水率을 인자로 하는 生物體 降伏點의 回歸方程式을 表 2에 나타내었다.

나. 含水率 및 荷重載荷速度가 生物體 降伏強度에 미치는 影響

生物體 降伏強度(bioyield strength)는 生物體 降伏點을 그 점에서의 接觸面積으로 나눈 값으로 그림 5 및 6에서 보는 바와 같이 含水率이 증가함에 따라 감소하는 경향이였다. 벼의 生物體 降伏強度는 含水率 13~25(w.b.)에서 一般系 벼가 約 10×10⁶~39×10⁶Pa, 多收系 벼가 約 12×10⁶~42×10⁶Pa. 로 多收系 벼가

一般系 벼보다 약간 크게 타나났다. 이러한 현상은 生物體 降伏點에서와는 반대되는 현상으로 一般系 벼의 生物體 降伏點은 약간 큰 값인데 비하여 生物體 降伏點에서의 變形量이 多收系 벼에서 보다 크기 때문에 더 넓은 接觸面積이 형성되는 것에 기인된 것으로 思料된다. 含水率이 낮은 경우는 荷重載荷速度가 生物體 降伏強度에 미치는 影響이 크다는 것을 알 수 있었다^{5, 13,14,16}.

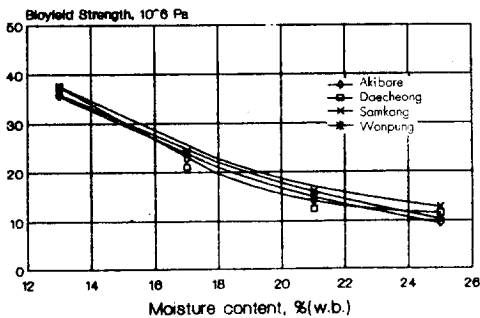


Fig. 5. Effect of moisture content on bioyield strength of the rough rice at loading rate, 0.664 mm/min.

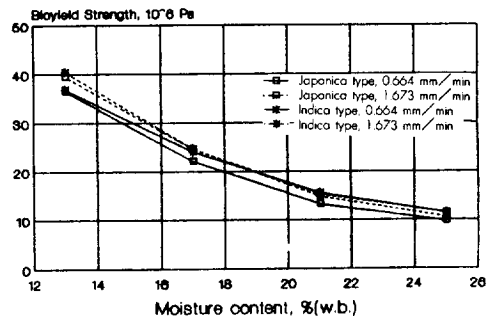


Fig. 6 Effect of moisture content on bioyield strength of the rough rice according to loading rate.

品種別로 荷重載荷速度에 따른 含水率을 인자로 하는 生物體 降伏強度의 回歸方程式을 表 3에 나타내었다.

Table 3. Regression equations of bioyield strength of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	LR	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	BS=106.3441 - 7.1301 M + 0.1301 M ²	0.9995
	1.673	BS=116.2455 - 7.7549 M + 0.1418 M ²	0.9995
Daecheong	0.664	BS=145.6490 - 11.5113 M + 0.2458 M ²	0.9824
	1.673	BS=146.3517 - 11.3105 M + 0.2398 M ²	0.9906
Japonica	0.664	BS=121.0754 - 8.7218 M + 0.1707 M ²	0.9882
	1.673	BS=125.5975 - 8.8552 M + 0.1716 M ²	0.9937
Samkang	0.664	BS=116.1701 - 8.1047 M + 0.1587 M ²	0.9980
	1.673	BS=145.1384 - 10.5898 M + 0.2093 M ²	0.9980
Wongpung	0.664	BS=101.5323 - 6.5373 M + 0.1155 M ²	0.9999
	1.673	BS=115.1875 - 7.8371 M + 0.1452 M ²	0.9998
Indica	0.664	BS=109.0045 - 7.3309 M + 0.1372 M ²	0.9952
	1.673	BS=131.1680 - 9.3120 M + 0.1795 M ²	0.9891

Note : M=Moisture content, % (w.b.), BS=Bioyield strength, 10⁶Pa, L.R=Loading rate, mm/min

다. 含水率 및 荷重載荷速度가 벼의 破壞點에 미치는 影響

破壞點(rupture point)은 壓縮實驗時에 穀粒의 形狀이 급격히 變化하여 穀粒에 금이 가거나 破壞되는 순간의 荷重이다. 含水率이 낮은 경우에는 穀粒의 破壞點이 뚜렷이 나타났으나, 含水率이 높은 경우에는 破壞點은 나타나지 않고 變形은 계속되면서 荷重의 증가가 약간 둔화되거나 荷重이 일정하게 유지되는 형태로 나타났는데, 이는 穀粒이 變形되어 가는 정도에 비하여 穀粒이 받는 荷重은 아주 완만하게 증가하여 接觸面積이 상대적으로 커지기 때문인 것으로 판단된다.

그림 7과 8에서 보는 바와 같이 破壞點 역시 含水率이 증가함에 따라 감소하는 경향으로 나타났고, 벼의 두 系統間에 차이는 거의 없었으나 荷重載荷速度에 따른 차이는 뚜렷하였다. 이들의 回歸方程式을 表 4에 표시하였다.

벼의 破壞點은 含水率 13~25% (w.b.) 범위에서 130~45 N으로서 이 값과 高等⁷⁾이 발표한 玄米의 破壞點 102.02~28.84 N과는 큰 차이를 보였는데, 이는 벼를 싸고 있는 왕겨층 때문인 것으로 판단된다.

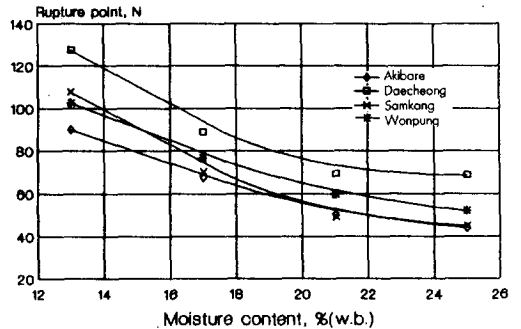


Fig. 7. Effect of moisture content on rupture point of the rough rice at loading rate, 0.664 mm/min.

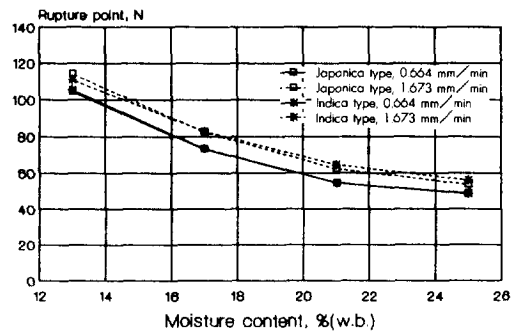


Fig. 8. Effect of moisture content on rupture point of the rough rice according to loading rate.

Table 4. Regression equations of rupture point of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	L.R	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	RP = 232.0258 - 14.6318 M + 0.2884 M ²	0.9965
	1.673	RP = 248.9182 - 15.6259 M + 0.3012 M ²	0.9782
Daechyeong	0.664	RP = 374.7592 - 27.5352 M + 0.5955 M ²	0.9910
	1.673	RP = 363.4947 - 24.5809 M + 0.5073 M ²	0.9113
Japonica	0.664	RP = 293.1762 - 19.6336 M + 0.3940 M ²	0.8479
	1.673	RP = 296.6688 - 18.6869 M + 0.3584 M ²	0.7518
Samkang	0.664	RP = 344.8303 - 25.0115 M + 0.5207 M ²	0.9824
	1.673	RP = 325.7551 - 21.7951 M + 0.4363 M ²	0.9338
Wonpung	0.664	RP = 249.9494 - 15.0500 M + 0.2851 M ²	0.9876
	1.673	BP = 206.8330 - 9.8393 M + 0.1553 M ²	0.9516
Indica	0.664	RP = 299.0748 - 20.2031 M + 0.4073 M ²	0.9634
	1.673	RP = 269.0858 - 16.0978 M + 0.3028 M ²	0.9076

Note : M=Moisture content, % (w.b.), RP=Rupture point, N, L.R=Loading rate, mm/min

라. 含水率 및 荷重載荷速度가 極限強度에 미치는 影響

極限強度(ultimate strength)는 穀粒의 破壞點을 그 점에서의 接觸面積으로 나눈 값으로 그림 9와 10에서 보는 바와 같이 含水率이 증가함에 따라 감소하였다. 주어진 含水率 범위와 荷重載荷速度 범위내에서 一般系 벼의 極限強度는 約 13×10⁶~45×10⁶Pa. 이었고 多收系 벼는 約 15×10⁶~53×10⁶Pa. 이었다. 이 값들

은 生物體 降伏強度 보다 작거나 비슷한 값으로 나타났는데, 이러한 현상은 대부분의 生物體에서 나타나는 현상으로 破壞點에서의 荷重이나 變形量이 生物體 降伏點에서 보다 증가하여 接觸面積이 달라지기 때문인 것으로 판단된다.^{5, 7, 11, 15)}

荷重載荷速度 또는 두 系統間에 뚜렷한 차이는 없었으며, 이들의 回歸方程式을 表 5에 나타 내었다.

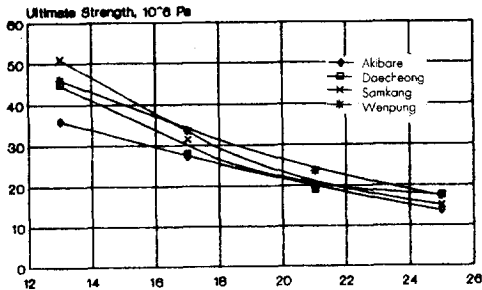


Fig. 9. Effect of moisture content on ultimate strength of the rough rice at loading rate, 0.664 mm/min

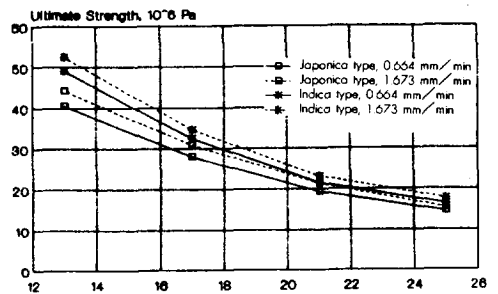


Fig. 10. Effect of moisture content on ultimate strength of the rough rice at according to loading rate.

Table 5. Regression equations of ultimate strength of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	L.R	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	US= 73.4391 - 3.4272 M + 0.0414 M ²	0.9822
	1.673	US= 92.2409 - 5.0731 M + 0.0779 M ²	0.9732
Daecheong	0.664	US= 153.6677 - 11.5610 M + 0.2449 M ²	0.9591
	1.673	US= 141.3458 - 9.5566 M + 0.1857 M ²	0.9792
Japonica	0.664	US= 107.7768 - 6.7323 M + 0.1200 M ²	0.9398
	1.673	US= 113.7247 - 6.8727 M + 0.1176 M ²	0.9111
Samkang	0.664	US= 168.5321 - 12.1832 M + 0.2420 M ²	0.9939
	1.673	US= 186.4801 - 13.4883 M + 0.2688 M ²	0.9850
Wonpung	0.664	US= 116.0885 - 6.7969 M + 0.1139 M ²	0.9999
	1.673	US= 116.9895 - 6.7511 M + 0.1116 M ²	0.9987
Indica	0.664	US= 143.4114 - 9.6003 M + 0.1807 M ²	0.9876
	1.673	US= 153.6964 - 10.3150 M + 0.1949 M ²	0.9707

Note : M=Moisture content, % (w.b.), US=Ultimate strength, 10⁶Pa, L.R=Loading rate, mm/min

마. 生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量

生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量(deformation)과 含水率과의 關係를 그림 11 및 12에 표시하였고, 그 回歸方程式을 表 6과 7에 나타내었다.

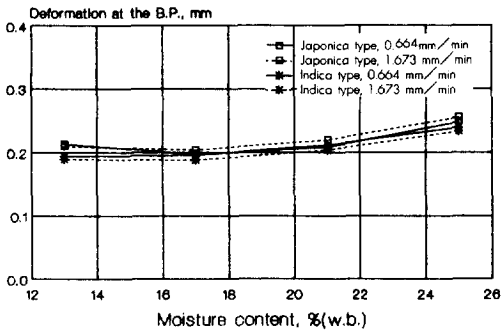


Fig. 11. Effect of moisture content on deformation at bioyield point of the rough rice according to loading rate.

生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量은 含水率이 증가함에 따라 약간 감소하다가 含水率 약 17% (w.b.) 부근에서 다시 증가하는 경향이었으며, 生物體 降伏點에서의 變形量은 含水率 13~25% (w.b.) 범위에서 대

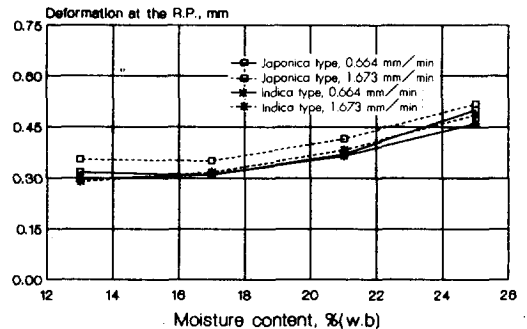


Fig. 12. Effect of moisture content on deformation at rupture point of the rough rice according to loading rate.

략 0.18~0.26 mm 범위였으며, 破壞點에서의 變形量은 0.28~0.53 mm 범위에 있었다. 高等⁷⁾은 含水率 12~24% (w.b.) 범위에서 벼의 生物體 降伏點에서의 變形량을 0.20~0.41 mm로 보고하였는데, 이 값은 本研究의 결과 보다는 약간 큰 값으로 이는 주로 荷重載荷速度의 차이 때문인 것으로 생각된다. 그러나 含水率 17% (w.b.) 주위에서 최소치를 보인 것은 本研究과 잘 일치 하였다.

一般系 벼의 경우 生物體 降伏點에서의 變形量은 荷重載荷速度가 빠를 때 그 變形量도 약간 컸으나 多

Table. 6. Regression equations of deformation at bioyield point of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	LR	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	DB=0.4872-0.0322 M + 8.9514 M×10 ⁻⁴ M ²	0.9992
	1.673	DB=0.4225-0.0258 M + 7.5357×10 ⁻⁴ M ²	0.9314
Daecheong	0.664	DB=0.4992-0.0363 M + 1.0756 ×10 ⁻⁴ M ²	0.9173
	1.673	DB=0.3674-0.0216 M + 7.0354×10 ⁻⁴ M ²	0.9131
Japonica	0.664	DB=0.4545-0.0298 M + 8.6100 ×10 ⁻⁴ M ²	0.8647
	1.673	DB=0.3690-0.0207 M + 6.4602×10 ⁻⁴ M ²	0.8572
Samkang	0.664	DB=0.2082-0.0044 M + 2.2256 ×10 ⁻⁴ M ²	0.9630
	1.673	DB=0.3034-0.0166 M + 5.4701×10 ⁻⁴ M ²	0.9861
Wonpung	0.664	DB=0.3531-0.0199 M + 6.0625 ×10 ⁻⁴ M ²	0.9686
	1.673	DB=0.3031-0.0138 M + 4.4121×10 ⁻⁴ M ²	0.9961
Indica	0.664	DB=0.2783-0.0119 M + 4.1361 ×10 ⁻⁴ M ²	0.9232
	1.673	DB=0.2996-0.0148 M + 4.8507×10 ⁻⁴ M ²	0.9065

Note ; M=Moisture content, % (w.b.), DB=Deformation at the bioyield point, mm, LR=Loading rate, mm/min

Table. 7. Regression equations of deformation at rupture point of the rough rice as a function of moisture content.

Variety	LR	Regression equation	r ²
Akibare	0.664	DR=1.1667-0.9994 M + 2.8766 ×10 ⁻³ M ²	0.9866
	1.673	DR=1.0583-0.0837 M + 2.4496×10 ⁻³ M ²	0.9972
Daecheong	0.664	DR=0.6434-0.0528 M + 1.9399 ×10 ⁻³ M ²	0.9074
	1.673	DR=0.3356-0.0093 M + 6.9717×10 ⁻⁴ M ²	0.9258
Japonica	0.664	DR=0.8203-0.0668 M + 2.1601 ×10 ⁻³ M ²	0.8758
	1.673	DR=0.6693-0.0437 M + 1.5045×10 ⁻³ M ²	0.8474
Samkang	0.664	DR=0.4736-0.0289 M + 1.1426 ×10 ⁻³ M ²	0.9901
	1.673	DR=0.3318-0.0171 M + 9.8522×10 ⁻⁴ M ²	0.9857
Wonpung	0.664	DR=0.5988-0.0409 M + 1.4056 ×10 ⁻³ M ²	0.9813
	1.673	DR=0.5960-1.0409 M + 1.4010×10 ⁻³ M ²	0.9751
Indica	0.664	DR=0.5322-0.0345 M + 1.2638 ×10 ⁻³ M ²	0.9232
	1.673	DR=0.4527-0.0277 M + 1.1592×10 ⁻³ M ²	0.9252

Note ; M=Moisture content, % (w.b.), DR=Deformation at the rupture point, mm, LR=Loading rate, mm/min

收系 벼에서는 그 반대 현상으로 나타났다. 벼의 應力 弛緩 實驗時에는 生物體 降伏點 이내로 初期變形量을 주어야 하기 때문에 生物體 降伏點에서의 變形量은 중요한 의미가 있는 것으로 思料된다.

荷重載荷速度가 빠를때 破壞點에서의 變形量도 —

般系 벼의 경우는 약간 컸으나 多收系 벼에서는 荷重 載荷速度에 따른 차이가 거의 없었다. 따라서 含水率 이 生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量에 미치는 影響은 뚜렷하였으나 荷重載荷速度가 미치는 影響은 크지 않았다.

4. 結 論

벼 4品種에 대하여 荷重載荷速度 0.664 mm/min 및 1.673mm/min 2수준과 含水率 13~25% (w.b.) 범위의 4수준에 대하여 生物體 降伏點, 破壞點, 生物體 降伏強度, 極限強度 및 生物體 降伏點과 破壞點에서의 變形量을 測定하여 含水率 및 荷重載荷速度가 이들 物理量에 미치는 影響을 分析하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 供試穀粒의 生物體 降伏點, 破壞點, 生物體 降伏強度 및 極限強度 등은 含水率이 증가함에 따라 감소하는 경향이었으나, 荷重載荷速度가 큰 경우에는 이들 物理量도 커지는 경향이였다. 또한 이들 物理量들은 含水率이 낮은 경우에는 品種間이나 荷重載荷速度에 따라 그 차이가 뚜렷하였으나 含水率이 높은 경우에는 별 차이를 나타내지 않았다.

나. 供試穀粒의 生物體 降伏點은 約 20~90 N 이었으며, 破壞點은 約 45~130 N이었다. 一般系 벼의 生物體 降伏點은 多收系 벼에서 보다 약간 컸으나 破壞點에서는 두 系統間에 차이가 없었다.

다. 一般系 벼의 生物體 降伏強度 및 極限強度는 각각 $10 \times 10^6 \sim 39 \times 10^6 \text{Pa}$. 과 $13 \times 10^6 \sim 45 \times 10^6 \text{Pa}$. 이었으며, 多收系 벼의 경우는 각각 $12 \times 10^6 \sim 42 \times 10^6 \text{Pa}$. 및 $15 \times 10^6 \sim 53 \times 10^6 \text{Pa}$. 이었다.

라. 벼의 生物體 降伏點 및 破壞點에서의 變形量은 각각 0.18~0.26 mm 및 0.28~0.53 mm이었으며, 이들 變形量은 含水率이 증가함에 따라 약간 감소하다가 含水率 約 17% (w.b.) 이상에서는 다시 증가하는 경향이였다. 荷重載荷速度가 이들 變形量에 미치는 影響은 크지 않은 것으로 나타났다.

마. 供試穀粒 및 荷重載荷速度別로 각각 이들 物理量에 대하여 含水率을 인자로 하는 回歸方程式을 유도하였다.

參 考 文 獻

1. Arnold, P. C. et al. 1968. Load deformation properties of wheat grains. Journal of Agri. Eng. Res. 11(1) : 40~45.

2. Arora, V. K. et al. 1973. Rice drying cracking versus thermal and mechanical properties. Trans. of the ASAE 16(2) : 320~323, 327.

3. ASAE Year Book. 1983. ASAE Standard S368.1 : 332~335.

4. Bilanski, W. K. 1966. Damage resistance of seed grains. Trans. of the ASAE 9(3) : 360~363.

5. Chattopadhyay, P. K., J. R. Hammerle and D. D. Hamann. 1979. Time, temperature, and moisture effects on the failure strength of rice. Cereal Foods World 24(10) : 514~516.

6. Hiroshi Shimizu and Tadayuki Saki. The research of the Dynamic characteristics of the grain of rice by the method of bending load. J. of JSAM 36(1) : 108~114.

7. 高學均, 盧詳夏, 鄭琮薰. 1983. 벼의 物理的 및 熱的 特性에 關한 研究. 韓國農業機械學會誌 9(1) : 34~45.

8. Liu, M., K. Haghghi and R. L. Strohshine. 1989 Viscoelastic Characterization of the soybean seedcoat. Trans. of the ASAE 32(4) : 946~952.

9. Mensah, J. K, G. L. Nelson, F. L. Herum and T. G. Richard. 1984. Mechanical properties related to soybean seedcoat cracking during drying. Trans. of the ASAE 27(3) : 550~555.

10. Misra, R. and J. H. Young. 1981. A model for predicting the effect of moisture content on the modulus of elasticity of soybeans. Trans. of the ASAE 24(6) : 1338~1341, 1347.

11. Mohsenin, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers, N. Y.

12. Paulsen, M. R. 1978. Fracture resistance of soybeans to compressive loading. Trans. of the ASAE 21(4) : 1210~1216.

13. Prasad, S. and C. P. Gupta. 1973. Behavior of paddy grains under quasistatic compressive loading. Trans. of the ASAE 16(2) : 328~330.

14. Shinkichi Yamaguchi et al. 1981. Basic study on the viscoelastic properties of the rice kernel. J. of

JSAM 43(1) : 83~88.

- 15. Sitkei, Gy. 1986. Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Publishers. (New York)
- 16. Zoerb, G. C. and C. W. Hall. 1960. Some mechanical and rheological properties of grain. Jour. of Agr. Eng. Research 5(1) : 83~93.

학 회 광 고

한국농업기계학회의 재정 자립과 학술발전을 위한 기금을 모금하오니
적극적으로 호응하여 주시기 바랍니다.

on-line 계좌번호 :

국민은행 수원지점	203-01-0463-136
농협중앙회 서둔동지점	125-01-054226
납입금액 : 제한없음	

기금납입현황

납입자	납부 금액	용 도
정태훈	1,000,000원	기금 확대
이승규	300,000원	기금 확대
정창주	1,000,000원	학회상 기금
김창수	300,000원	기금 확대
김성래	1,000,000원	기금 확대
김응길	20,000,000원	학회상 기금