

벼의 衝擊 特性에 관한 研究

Measurements of Mechanical Behavior of Rough Rice under Impact Loading

車 在 倫,* 高 學 均,* 盧 祥 夏,* 金 滿 秀,** 金 容 顯*
J. Y. Cha H. K. Koh, S. H. Noh, M. S. Kim, Y. H. Kim

Summary

In this study, impact force and angular displacement of the pendulum were measured by the load cell and potentiometer. Mechanical behavior of rough rice under impact loading was able to analyze precisely and efficiently, because measured data were accumulated and handled by the automatic data acquisition system making use of microcomputer system. Impact force and angular displacement were measured with a resolution of 1/1500 seconds in time.

Mechanical behavior such as force and energy at rupture point of Japonica type and Indica type rough rice were measured with this system. After impact loading, the damage of rough rice was examined with the microphotograph and an allowable impact force was measured.

The results obtained in this study are summarized as follows.

1. Mechanical behavior of rough rice under impact loading was analyzed precisely and efficiently because measured data were accumulated and handled by this data acquisition system.
2. Rupture force and rupture energy of rough rice were appeared to be the lowest value in the range of 16 to 18 % moisture content, and rupture force and rupture energy of Japonica type were higher than those of Indica type in each level of moisture content.
3. From the result of the damage examined after the impact loading, allowable impact force was the lowest in the range of 16 to 18 % moisture content, and the value of the allowable impact force of Japonica type was higher than that of Indica type in each level of moisture content.

1. 緒 論

우리나라의 농촌인구와 流動 雇傭勞動力은 사회의 도시화와 공업화로 인하여 해마다 감소하는 趨勢이며, 이러한 勞動力의 감소는 농산물의 생산, 수확, 가공 및 저장 과정의 機械化를 필요로 한다. 특히, 우리나라의 주곡인 쌀은 재배에서 수확에 이르는 과정에서 그간 많은 研究가 수행된 결과 생산성이 크게 증가하였으며 그후 1980년대 이후의 機械

化에 힘입어 보다 많은 발전을 이룩하여 왔다.

그러나 벼 수확 이후의 선별, 가공, 저장등의 諸過程이 재래적인 방법으로 이루어짐으로 말미암아 양적, 질적인 측면에서 많은 損失을 招來하였으며 더구나 基礎研究가 불완전한 상태에서 생산된 기계를 사용함에 따라 수확후 손실(post-harvest loss)의 커다란 문제적으로 지적되고 있다.

이러한 손실을 줄이기 위해 수확후 기계에 대한 研究가 機械的인 측면과 사용측면에서 많은 研究가

* 서울대학교 農科大學 農工學科
** 忠南대학교 農科大學 農業機械工學科

수행되었지만 損失과 가장 밀접한 관련이 있는: 벼의 物理的 特性에 대한 研究는 거의 찾아볼 수 없다.

벼의 物理的 特性이 究明되면 각종 벼의 수확, 선별, 가공 및 수송 기계류와 저장시설을 벼의 物理的 特性에 적합하게 설계, 제작 및 개선을 함으로써 기계와 시설을 효율적이고 경제적으로 운용할 수 있으며, 뿐만 아니라 벼의 機械的 要因에 의한 損失을 줄이고 그것으로 인한 벼의 질적 및 양적 보존을 극대화 할 수 있다.

이러한 중요성 때문에 근래 벼의 物理的 特性에 관한 研究가 국내에서 일부 시도되고 있지만 벼의 수확후 작업과정에서 발생하는 損傷의 主因子인 충격에 대한 究明은 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 研究에서는 벼의 衝擊荷重에 대한 機械的 特性을 究明하고자 하는 바, 그 구체적인 目的은 다음과 같다.

- 1) 衝擊實驗裝置와 Micro-computer를 이용하여 測定한 衝擊特性資料를 신속 精確히 收集하고 分析할 수 있는 자동화장치를 開發한다.
- 2) 衝擊實驗 自動化裝置를 이용하여 衝擊荷重에 대한 벼의 破壞力과 破壞에너지를 分析하고 衝擊에 따른 벼의 損傷狀態를 調査한다.
- 3) 究明된 衝擊特性과 충격후 損傷된 벼의 조직을 비교하여 許容衝擊力을 究明한다.

2. 研究史

Hammerle과 Mohsenin(1966)은 落下物體에 加速度計를 부착하여 垂直落下 方法으로 衝擊荷重을 가하여 淸과물의 衝擊荷重에 대한 機械的 特性으로 變形度를 測定하였다.

Nelson과 Mohsenin(1968)은 Pendulum을 이용하여 시료에 衝擊을 가하는 裝置를 개발하여 복숭아, 배, 사과, 감자등의 衝擊荷重에 대한 吸收에너지와 멩이나 破壞를 일으키는 衝擊에너지를 測定하였으며, 이것이 壓縮荷重에서 測定된 값보다 더 큰 것으로 分析 報告하였다.

Hoag(1972)는 Piezoelectric 加速度計와 荷重變換器가 장착된 Pendulum 方法의 裝置를 개발하여

衝擊荷重을 가하는 동안 연속적인 힘과 시간-가속도 特性曲線을 Oscilloscope로 測定하여 사진기로 分析함으로써 콩이 破壞될 때 衝擊中的 瞬間力을 測定하여 水分含量이 많을수록 瞬間力이 크고 衝擊速度가 클수록 瞬間力이 작아진다고 보고하였다.

Jindal과 Mohsenin(1976)은 加速度計가 부착된 Pendulum을 이용하여 시료에 衝擊을 가하고 시간-가속도 特性曲線을 分析함으로써 옥수수에 대한 衝擊力을 測定하였다. 이러한 결과로 경도는 衝擊速度의 증가에 따라 증가하며 水分含量이 작을수록 증가한다고 보고 하였다.

Fridley와 Adrian(1966)은 스프링을 이용하여 시료에 衝擊을 가하는 장치를 개발하여 淸과물의 衝擊에 대한 機械的 特性으로 變形度를 測定하였으며, 항부점에서의 衝擊 및 準壓縮荷重에 대하여 비슷함을 갖는다고 보고하였다.

Turner, Suggs와 Dickens(1967)는 전동모터를 이용하여 고속의 衝擊을 가하고 고속촬영사진기를 이용하여 Sorghum Seeds와 땅콩에 대하여 衝擊速度에 따른 損傷度를 測定하였으며, 衝擊速度가 증가함에 따라 損傷度가 커진다고 보고하였다.

3. 實驗 材料 및 方法

가. 實驗材料

實驗材料는 외형상 구분이 되는 두가지 品種으로 통일계와 일반계 品種을 선택하였다. 이들 벼는 서울대학교 농과대학 부속 실험 농장에서 栽培하였으며, 1988년 10월에 손으로 수확하여, 高含水率과 中含水率 그리고 低含水率로 나누었다. 中含水率과 低含水率의 시료를 얻기 위하여 淸일 乾燥方法으로 함수율을 낮추었다.

벼의 종류와 物理的 特性은 표 1과 같다.

나. 實驗 裝置

벼에 Pendulum의 변위별로 衝擊荷重을 가하고 衝擊特性을 測定하기 위하여 그림 1과 같이 衝擊裝置를 구성하였다.

실험대에 하중변환기를 고정하고, 그위에 시료를 고정시켜 衝擊時 荷重變換器를 통하여 衝擊荷重을

Table 1. Physical characteristics of rough rice.

Variety	Moisture content (% w.b.)	Dimension (mm)			Mass ($\times 10^{-5}$ kg)	Volume ($\times 10^{-8}$ m ³)	Specific weight
		Length	Width	Thickness			
Japonica type (Chucheong)	20.84	6.753	3.153	2.147	2.677	2.142	1.250
	17.10				2.573	2.065	1.246
	13.87				2.467	1.990	1.240
Indica type (Hangang char)	21.20	8.887	3.082	2.189	3.275	2.752	1.202
	17.30				3.104	2.600	1.194
	13.42				2.920	2.450	1.192

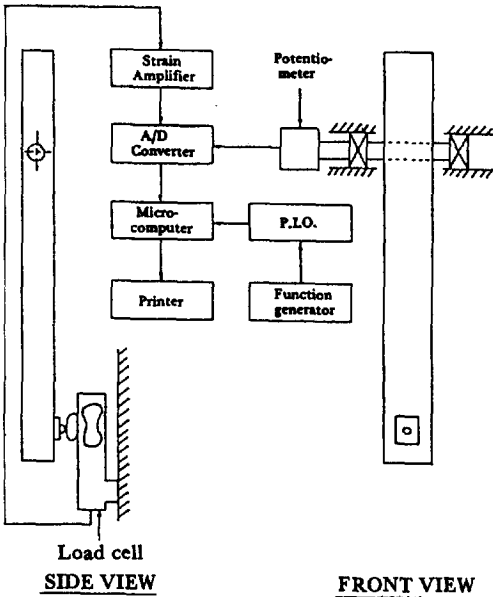


Fig. 1. Schematic diagram of total system of impact test including microcomputer system.

測定하였고, 衝擊을 가하는 Pendulum의 변위는 Pendulum의 회전봉에 연결된 Potentiometer를 통하여 조정하였고, 회전시 변하는 변위를 단위 시간 별로 測定하였다.

Pendulum은 길이 55cm, 두께 1.5cm, 폭 1.5cm의 아크릴 막대이며, 衝擊體는 직경 4mm의 steel ball에 附着하였고, Pendulum의 전체 무게는 191.53g이었다.

資料의 迅速 精確한 收集 處理 貯藏을 위하여 資料收集 프로그램을 N-BASIC 언어와 기계어로 작성하였다. 그림 2는 N-BASIC 언어로 작성된 資料

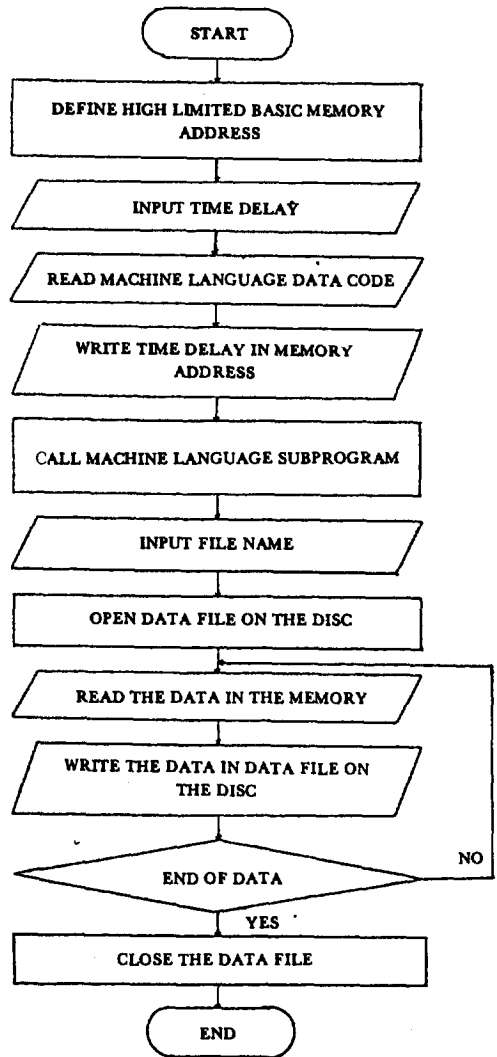


Fig. 2. Flow chart for data acquisition program.

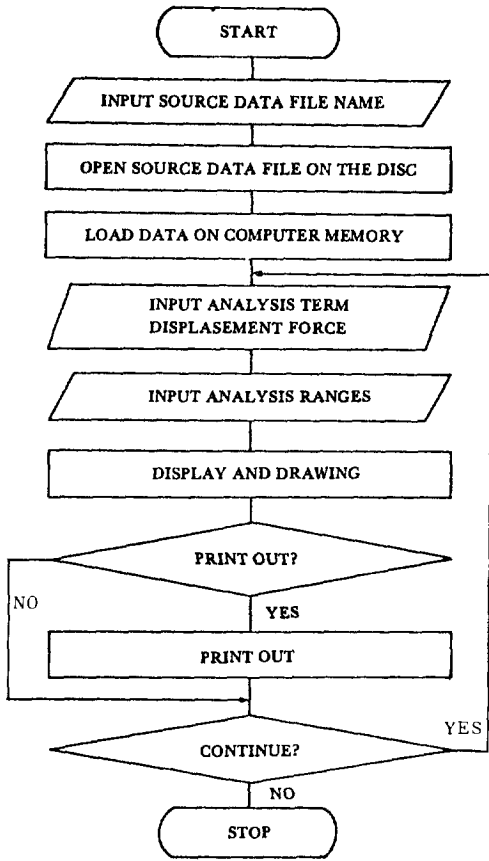


Fig. 3. Flow chart for data analysis program.

收集 프로그램의 주프로그램에 대한 순서도이며, 그림 3은 收集된 資料의 分析 處理 프로그램의 순서도를 나타낸 것이다. 그리고 측정 단위시간은 함수 발생기를 이용하여 1/1500 초로 조정되었다.

다. 實驗 方法

일정한 角變位에서 Pendulum을 회전시켜 벼의 두께 방향으로 衝擊荷重을 가하고 상기의 衝擊實驗 自動化 裝置로 衝擊要因을 測定하였다.

Pendulum의 角變位는 10°에서 60°까지 5°간격으로 증가시키면서 실시하였으며, 각각의 角變位에서 가해진 衝擊力에 따른 벼의 損傷狀態를 관찰하였다.

앞에서 언급한 衝擊特性 測定裝置에 의하여 測定된 실험값들이 分析 處理 프로그램에 의해 나타난 出力을 그림 4에 나타내었다.

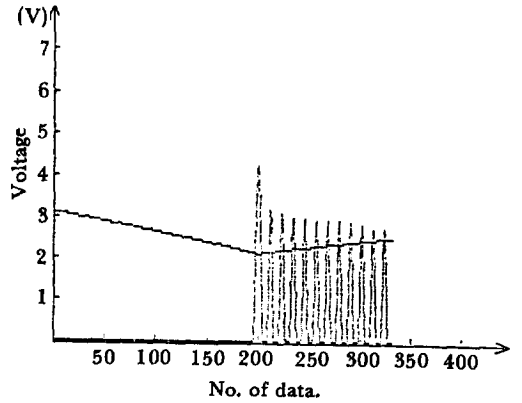


Fig. 4. Example of printer-output for the impact force and displacement of 40 degree.

4. 結果 및 考察

벼의 衝擊特性 測定장치를 통하여 收集 分析 되어진 실험결과와 앞의 그림 4에서 나타내었으며, 여기에서 충격 전후의 Pendulum 속도와 접촉시간 그리고 衝擊荷重을 구할 수 있었으며, 충격 전후의 속도차는 확연히 나타났다.

그림 5, 6, 7, 8, 9, 10은 통일계 품종과 일반계 품종의 含水率別로 衝擊荷重에 따른 損傷狀態를 백분율로 나타내었다. 같은 衝擊荷重에서 통일계 품종이 일반계 품종에 비하여 龜裂이 생기거나 破壞된 비율이 높았고, 含水率別로 비교하면 고함수율의 경우 많은 수분으로 인하여 벼의 조직이 衝擊에 대하여 緩衝役割을 하기 때문에 衝擊에 대한 損傷이 비교적 작았으며, 低含水率에서는 단단한 조직 때문에 衝擊에 대한 損傷이 비교적 작았으며 따라서 龜裂이 생기는 比率가 가장 낮았다. 그러나 中含水率의 경우 이런 두가지 현상이 크게 영향을 미치지 못하여 衝擊에 가장 심하게 損傷되었다.

그림 11, 12, 13은 벼가 衝擊을 받았을 때의 損傷을 현미경 사진으로 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 일반계종에서도 高含水率일 경우는 약한 衝擊에서 흠집이 생겼고, 龜裂이 생길 때에는 방사형이나 길이 방향으로 형성되어졌고, 破壞될 때는 몇개의 조각으로 破壞되었다. 그러나 통일계 품종과 低含水率에서는 흠집을 찾을 수 없었으며, 龜裂은 길이의 직각방향으로 한줄만 형성되었으며, 破

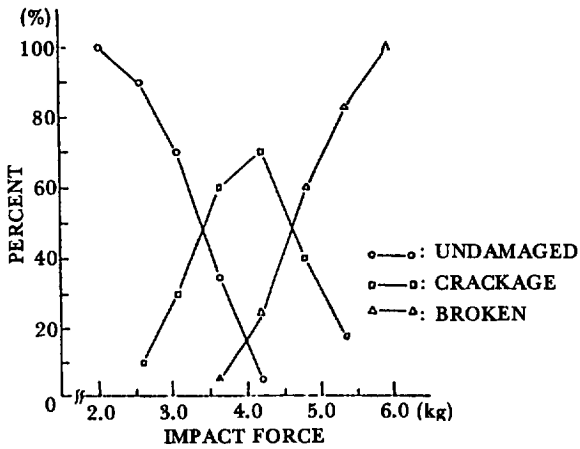


Fig. 5. Damage percent of Indica type rough rice (M.C. 21.2 %) with respect to impact force

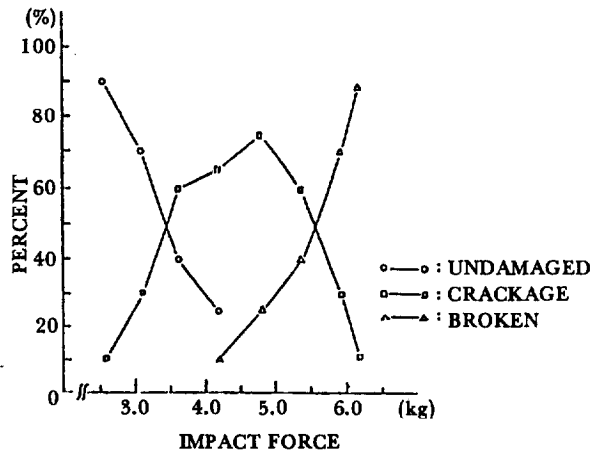


Fig. 8. Damage percent of Japonica type rough rice (M.C. 20.84 %) with respect to impact force.

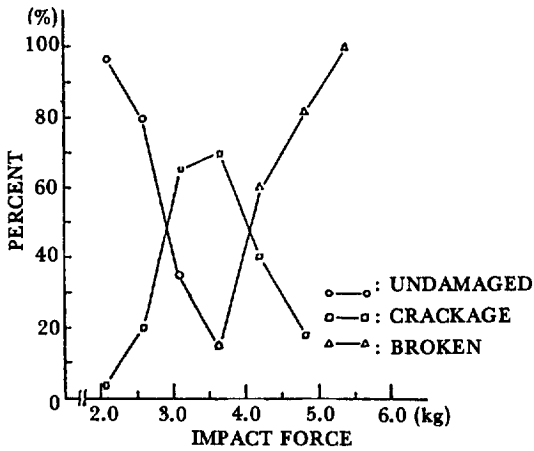


Fig. 6. Damage percent of Indica type rough rice (M.C. 17.3 %) with respect to impact force.

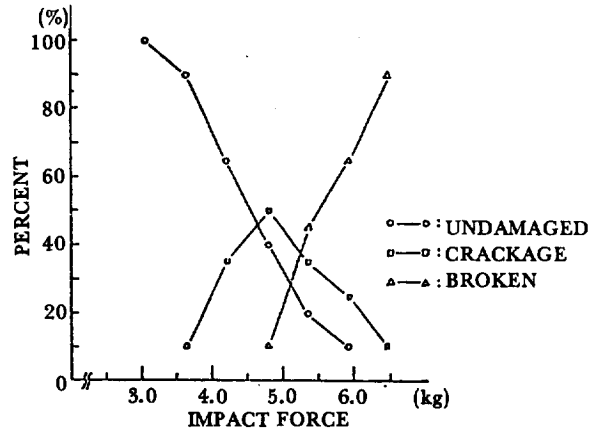


Fig. 9. Damage percent of Japonica type rough rice (M.C. 17.1 %) with respect to impact force.

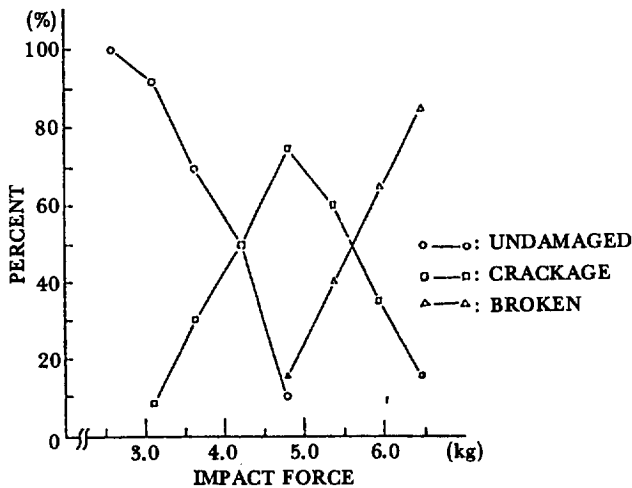


Fig. 7. Damage percent of Indica type rough rice (M.C. 13.42 %) with respect to impact force.

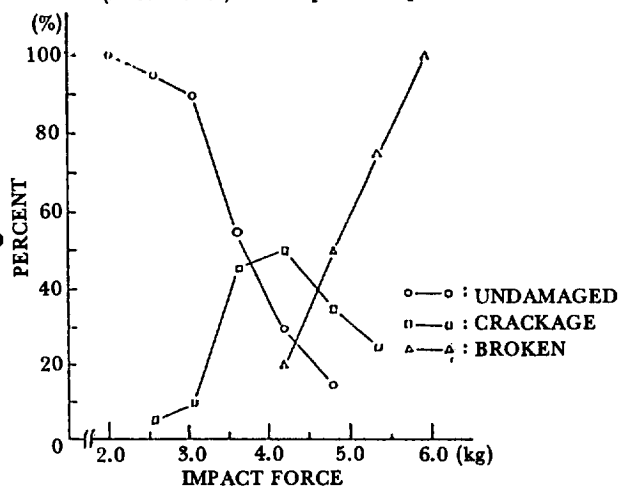


Fig. 10. Damage percent of Japonica type rough rice (M.C. 13.87 %) with respect to impact force.

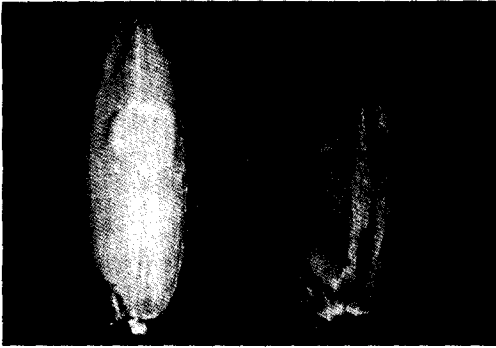


Fig. 11. Surface damage of kernel due to impact loading.



Fig. 12. Slight crackage of kernel due to impact loading.

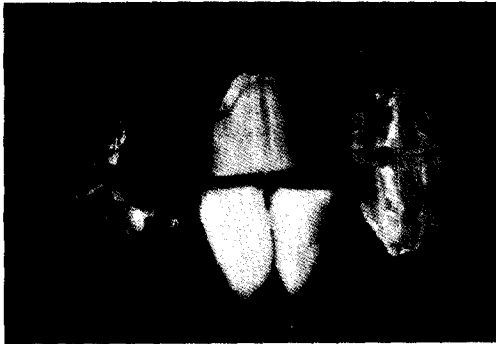


Fig. 13. Broken kernel due to impact loading.

壞力이상의 衝擊에서는 길이의 직각방향으로 부러졌다.

本 研究에서는 실험을 하나의 조건에서 20회이상 반복 실시하여 80% 이상이 破壞될 때 가해진 衝擊荷重을 破壞力(rupture force)으로, 가해진 에너지를 破壞에너지(rupture energy)로 규정하였고, 80% 이상이 損傷되지 않은 경우의 衝擊荷重을 許容

衝擊力으로 규정하였다. 그리고 같은 조건에서 衝擊體가 荷重變換器에 직접衝擊을 가했을 때와 荷重變換器 위에 시료를 놓고 시료에 衝擊을 가했을 때 荷重變換器를 통한 衝擊荷重의 차이를 吸收衝擊力으로 規定하였다.

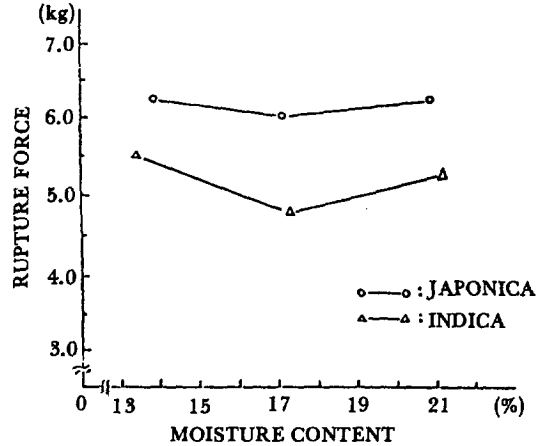


Fig. 14. Effect of the moisture content on rupture force of rough rice.

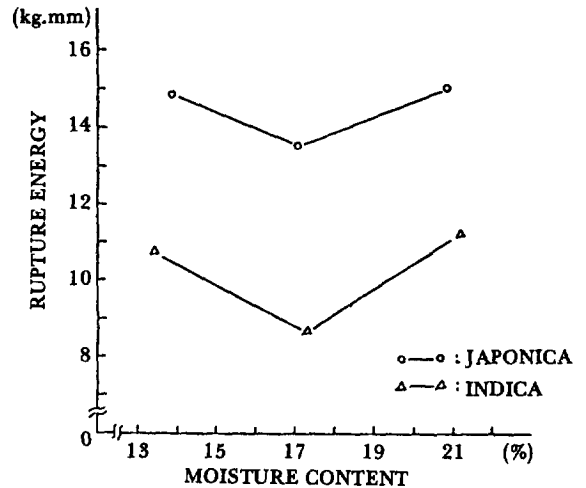


Fig. 15. Effect of the moisture content on rupture energy of rough rice.

破壞力과 破壞에너지는 中含水率에서 가장 작았고, 高含水率이 低含水率보다 조금 크게 나타났다. 許容衝擊力은 中含水率에서 가장 작았고, 低含水率이 高含水率보다 350g 정도 크게 나타났다. 破壞力과 破壞에너지 그리고 許容衝擊力은 일반계 품종이 통일계 품종보다 크게 나타났으며, 이것은 품종간의

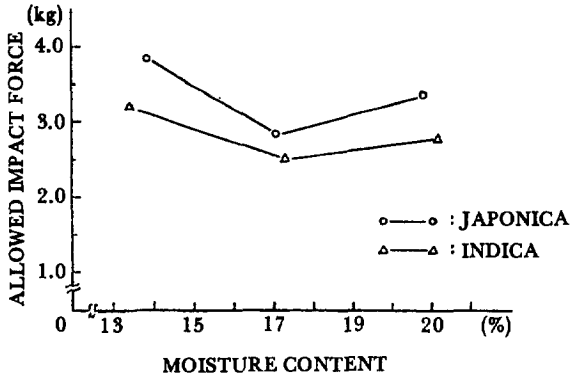


Fig. 16. Effect of the moisture content on allowable impact force of rough rice.

기하학적 형상을 중심으로 한 물리적 특성때문인 것으로 판단된다. 그림 14, 15, 16은 含水率別로 破壞力과 破壞에너지 그리고 許容衝擊力を 보여주고, 표 2, 3은 수치를 나타낸 것이다.

衝擊特性에서 중요한 要因인 吸收衝擊力은 衝擊荷重이 증가함에 따라 증가하였지만 증가량은 벼의 損傷狀態에 따라 달랐으며 특히 破壞力이상의 衝擊荷重이 가해졌을 때는 급격히 크게 나타났으나 이것은 벼가 破壞되어질 때 荷重變換器에서 衝擊荷重이 작게 測定되어 Pendulum이 가하는 衝擊荷重과 비교적 큰 차이를 보이고 있기 때문이다. 일반계

Table 2. Impact parameters of Japonica type rough rice at various moisture contents.

Parameter	Moisture content (%)		
	13.87	17.10	20.84
Rupture force (kg)	6.25	6.03	6.28
Rupture energy (kg.mm)	15.90	14.60	16.10
Allowable impact force (kg)	3.83	2.85	3.35

품종이 통일계 품종보다 吸收衝擊力이 크게 나타났고, 含水율이 높을수록 吸收衝擊力이 크게 나타났다는 것은 벼의 화학성분이 含水율의 영향으로 衝擊緩衝役割에 관여하기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 벼의 衝擊荷重에 대한 損傷은 벼의 幾何學的 形狀과 含水率에 크게 영향을 받으며,

Table 3. Impact parameters of Indica type rough rice at various moisture contents.

Parameter	Moisture content (%)		
	13.42	17.30	21.20
Rupture force (kg)	5.50	4.80	5.25
Rupture energy (kg.mm)	11.80	9.69	12.30
Allowable impact force (kg)	3.20	2.53	2.78

幾何學的 形狀을 중심으로한 物理的 側面에서 보면 일반계 품종이 통일계 품종에 비하여 衝擊에 강하였으며 含水率 側面에서 보면 中含水率에서 가장 衝擊에 약하였다. 여기에서 사용된 中含水率은 관행의 수확후 작업에서의 含水율이어서 衝擊에 의한 損失이 가장 크므로 수확작업은 콤바인에 의한 生탈곡이 바람직한 것으로 판단된다.

이러한 衝擊特性은 탈곡기에서 급치에 의한 衝擊과 드로우어에 의한 衝擊과는 衝擊方式이 상이하지만 衝擊要因에 대한 자료는 탈곡기의 개선에 이용되어질 수 있고, 타격식 현미기의 제작에 기본적인 자료로 이용할 수 있으며, 분쇄기의 경우는 衝擊方式이 같으므로 기계의 설계에서 분쇄에 필요한 動力의 계산과 기계의 구성에 이용될 수 있으며, 그 외의 다른 농업기계에서도 이용될 수 있을 것으로 思料된다.

5. 結 論

本 研究에서는 荷重變換器와 Potentiometer를 이용하여 衝擊荷重과 pendulum의 角變位를 측정하였으며 측정된 데이터를 microcomputer를 이용한 自動化 시스템으로 收集 處理함으로써 벼의 衝擊特性 要因을 정확하고 효율적으로 분석할 수 있었다. 衝擊荷重과 角變位는 1/1500초 단위로 測定되어졌다.

벼는 일반계 품종과 통일계 품종으로 나눠 실험을 실시하였으며, 上記의 實驗裝置를 이용하여 破壞力과 破壞에너지를 究明할 수 있었고, 衝擊後 損傷狀態를 현미경으로 조사함으로써 許容衝擊力を 究明할 수 있었다.

本 研究의 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 上記의 衝擊特性裝置를 이용하여 衝擊荷重을 데이터로 收集하였고 시간-변위 特性曲線을 디지털 데이터로 收集 處理함으로써 벼의 衝擊特性要因을 신속, 精確하게 分析할 수 있었다.
2. 벼의 破壞力과 破壞에너지는 두 품종 모두 中含水率에서 가장 작게 나타났으며, 일반계 품종이 통일계 품종보다 各 含水率에서 크게 나타났다.
3. 衝擊後 벼의 損傷상태를 조사한 결과 許容衝擊力은 일반계 품종이 통일계 품종보다 크게 나타났으며, 中含水率에서 가장 작게 나타났다.

參 考 文 獻

1. 고학균, 노상하, 정중훈. 1984. 벼의 物理的 및 熱的 特性에 관한 研究 -物理的 特性에 관하여- 한국농업기계학회지 9권 1회.
2. 고학균, 김만수. 1981. 穀物의 物理的 特性에 관한 研究. 한국농업기계학회지 6권 1호.
3. Fridley, R.B. and P.A. Adrian. 1966. Mechanical Properties of Peaches, Pears, Apricots and Apples. Trans. of the ASAE 9(1):135-138, 142.
4. Hammerle, J.R. and N.N. Mohsenin.

1966. Some Dynamic Aspects of Fruit Impacting Hard and Soft Materials. Trans. of the ASAE 9(4):484-488.
5. Hoag, D.L. 1972. Properties Related to Soybean Shatter. Trans. of the ASAE 15(3):494-497.
6. Jindal, V.K. and N.N. Mohsenin. 1976. Analysis of a Simple Pendulum Impacting Device for Determining Dynamic Strength of Selected Food Materials. Trans. of the ASAE 19(4):766-770.
7. Jindal, V.K. and N.N. Mohsenin. 1978. Dynamic Hardness Determining of Corn Kernels from Impact Tests. J. Agri. Eng. Res. 23:77-84.
8. Nelson, C.W. and N.N. Mohsenin. 1968. Maximum Allowable Static and Dynamic Loads and Effect of Temperature for Mechanical Injury in Apples. J. Agr. Eng. Res. 13(4): 305-317.
9. Turner, W.K., C.W. Suggs and J.W. Dickens. 1967. Impact Damage to its Effects on Germination Seeding Development and Milling Quality. Trans. of the ASAE 10(2):248-251.