

# 搗精收率과 性能向上을 爲한 研究( I )

—벼의 搗精性能에 影響을 주는 作動要因—

鄭 昌 柱\*    柳 寬 熙\*    朴 濬 傑\*    李 成 範\*  
C.J. Chung,    K.H. Ryu,    J.G. Park,    S.B. Lee

## Study on the Improvement of Milling Recovery and Performance( I )

—Operational Factors Affecting Rice Milling Performance--

### Summary

This study was carried out to investigate the effects of the counter-pressure setting and the roller speed of a rice whitening machine on the head rice recovery, milling capacity and milling efficiency, and also to find out the optimum operational conditions of the machine. The radial pressure inside the whitening chamber and the outlet axial pressure were measured to study their relationships with the head rice recovery, milling capacity and milling efficiency. The results of the study are summarized as follows.

- (1) The most important factor in rice whitening was the counter-pressure setting. It significantly affected the head rice recovery.
- (2) The roller speed significantly affected the milling capacity and milling efficiency, but it did not affect the head rice recovery.
- (3) Both the radial pressure and the outlet axial pressure were affected by the counter-pressure setting but not by the roller speed. Both of them increased almost linearly with the counter-pressure setting. There was a significant correlation between the radial pressure and the outlet axial pressure.
- (4) The flow rate through the whitening chamber when the feed gate was fully opened increased with the roller speed, but it was not affected by the counter-pressure setting.
- (5) The head rice recovery decreased as the counter-pressure setting increased, but it was not affected by the roller speed. The reason could be explained by the fact that the radial pressure increased only with the counter-pressure setting.
- (6) The milling capacity increased with the counter-pressure setting and linearly with the roller speed. The milling efficiency generally increased with both the counter-pressure setting and the roller speed. However, the effect of roller speed was negligible at the higher counter-pressure setting.

---

\*서울大學校 農科大學 農工學科

(7) The temperature rise inside the whitening chamber was moderate with the mean of 11.3°C (range 5.6~18.3°C) even though it increased slightly with the roller speed.

Considering the head rice recovery and milling efficiency, the optimum operational conditions of the machine appeared to be the counter-pressure setting of 67g/cm<sup>2</sup> and the roller speed of 1,050 rpm. Neglecting the small difference in the head rice recovery, the greater milling capacity could be obtained at the counter-pressure setting of 85g/cm<sup>2</sup> with the roller speed of 850~1050 rpm.

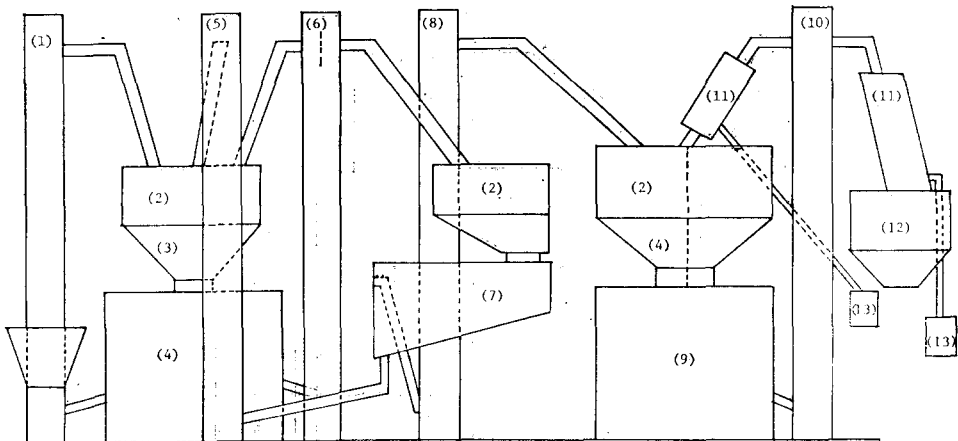
### 1. 緒 論

벼는 食品으로 消費되기 위하여 搗精이란 하나의 過程을 不可避하게 거치게 된다. 이 搗精過程의 合理的이나의 與否를 判斷하는데는 作業의 能率, 費用, 搗精米의 品質 및 加工過程에서 나타나는 穀物損失 등을 考慮하여야 할 것이다. 이러한 諸般要因中 어느 것을 더 重要視할 것인가에 대하여는 搗精業者, 加工依頼者, 中間商人 및 消費者들이 各自의 利害관계 때문에 서로 다른 見解를 가질 수 있으나, 무엇보다 加工過程에서 食糧管路를 벗어나는 穀物의 損失은 可能한 限 最少로 維持하여야 할 것이므로 이 點은 모두가 關心을 가지고 共同으로 努力하여야 할 課題이다. 그런데, 搗精過程에서 發生하는

穀物損失이 現實적으로 收穫後의 諸工程中 매우 큰 比種을 차지하고 있다는데 問題가 있다.

이를 解決하기 위하여서는 搗精에 쓰이는 機械 및 그 體系와 各 機械의 作動條件의 改善이 切實히 要求되고 있으며, 특히 近來에 普及되고 있는 統一系 品種은 그 穀粒의 物理的 特性에 適合한 機械와 作動方法이 適用되지 않으므로써 搗精損失이 莫大하다고 認識되고 있다. 이러한 重要性에도 不拘하고 이 分野의 研究와 開發은 거의 踏步狀態에 있으며, 一部 搗精機械 製作業者의 努力도 純全히 經驗에 土臺를 둔 接近方法일 뿐 아니라, 搗精能率과 加工品의 外觀을 더 優先적으로 생각하는 機械需要者의 要求에 副應하는 方向으로 展開되고 있어 別로 實效를 거두지 못하고 있다.

따라서, 本 研究는 이러한 現實을 감안하여 벼의



(1) Bucket Elevator to Huller (2) Surge Bin (3) Scale Feeder (4) Rubber Roll Huller (5) Bucket Elevator to Huller (6) Bucket Elevator to Husk Separator or Huller (7) Paddy Separator (8) Bucket Elevator to Whitener (9) Rice Whitener (10) Bucket Elevator to Whitener or Whole Rice Bin (11) Sieve (12) Whole Rice Bin (13) Bran Collector

Fig. 1. Elevation view of SNU experimental rice milling system.

搗精收率을 向上시키므로써 穀物損失을 減少시킬 수 있는 機械, 搗精體系 및 作動方法을 開發하기 위한 努力의 一環으로서 遂行되었으며 具體的인 目的은 다음과 같다.

첫째로, 우리나라 質搗精工場에서 널리 使用되고 있는 噴風摩擦式 精米機의 機械의 作動要因이 精白性能에 미치는 영향과 그 相互關係를 實驗的으로 分析하고,

둘째로, 米質과 精白性能을 向上시킬 수 있는 噴風摩擦式 精米機의 適正 作動條件을 究明하는데 있었다.

本 研究를 위하여 서울大學校 農科大學 實驗用 搗

精施設을 設置케 하고 研究費를 支援하여 준 캐나다의 IDRC와 自生産 搗精機械를 供試機로 提供하여 준 大元工業社, 大陸機械工業社, 慶昌機械工業社 및 西明工業社에 感謝한다.

## 2. 材料 및 方法

### 가. 供試機

Fig. 1은 서울大學校 農科大學에 設置된 搗精施設의 立面圖를 나타낸 것으로서, 그 構成은 고무롤러式 玄米機, 搖動式 玄米分離機 및 噴風式 精米機 되어 있다.

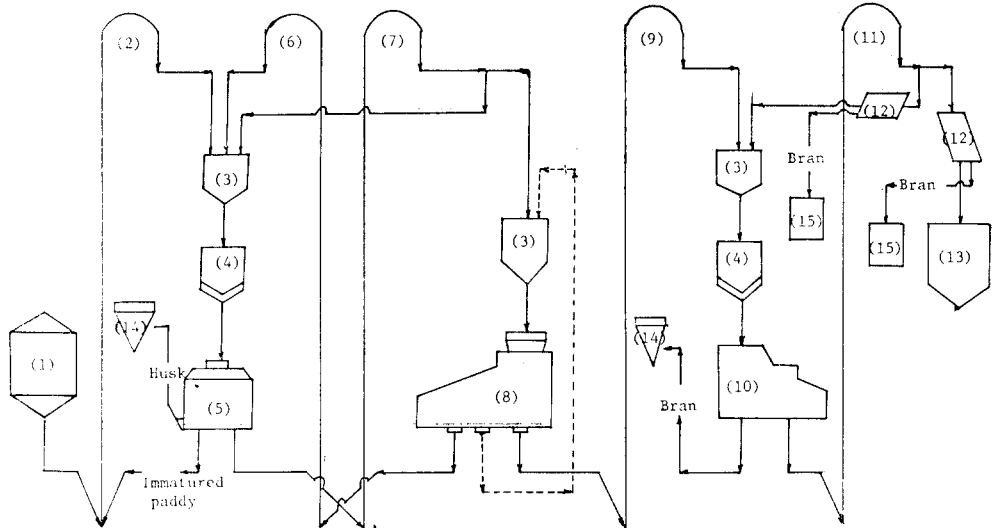


Fig. 2. Schematic flow diagram of SNU experimental rice milling system.  
 (1) Storage Bin (2) Bucket Elevator to Huller (3) Surge Bin (4) Scale Feeder (5) Rubber Roll Huller (6) Bucket Elevator to Huller (7) Bucket Elevator to Husk Separator or Huller (8) Paddy Separator (9) Bucket Elevator to Whitener (10) Rice Whitener (11) Bucket Elevator to Whitener or Whole Rice Bin (12) Sieve (13) Whole Rice Bin (14) Cyclone (15) Bran Collector

Fig. 2는 벼는 搗精過程을 나타낸 것으로서, 精米機(Fig. 2의 10번)의 精白過程中 分離된 겨는 風壓에 의해서 질린더 스크린을 통하여 싸이크론(Fig. 2의 14번)에 集積되고, 精米機 出口를 通過한 穀物 中에 包含된 겨는 사름(Fig. 2의 12번)에 의해서 다시 分離되어 別途로 集積되며, 精白作業이 完了되지 않을 때는 穀物은 다시 精米機로 投入된다. 精白完了된 穀物은 사름을 거처서 白米탱크(Fig. 2의 13번)에 저장된다.

本 試驗에 使用한 精米機는 國內에 많이 普及되고 있는 噴風式으로서 그 諸元은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of the rice whitening machine

Maker	Kyung-Chang Mechanical Industry Inc.
Type	Horizontal friction type with a jet air-blower
Roller Speed	800~900rpm
Feed Screw	Pitch×Depth=2.0cm×0.9cm
Screen	Slot Size 1.6cm×0.1cm
Power Requirement	7.5HP
Capacity	800kg/hr

나. 供試材料

本 試驗에 使用한 벼는 京畿道 水原市 九雲洞에 所在한 農家圃場에서 栽培한 統一系 品種의 密陽23 號로서 1979年 9月 30日 콤바인으로 收穫後 穀物乾燥筒(grain bin)에서 太陽熱 集熱에 의한 補助熱을

利用하여 通風乾燥(大氣溫度 13~24°C, 乾燥溫度 17~23°C, 乾燥期間 7日)한 것으로서 1980年 5月 1日까지 穀物乾燥筒에서 貯藏되었다.

精米實驗用 玄米는 고무롤러(rubber roller)式 玄米機로써 製玄한 것으로 玄米의 品位는 Table 2에서 보는 바와 같이 대단히 良好하였다.

Table 2. Physical properties and qualities of brown rice used for milling experiments.

ITEM	OBSERVATIONS	REMARK
Variety	Milyang-23	
Grain size: length (L)	6.50	} average value of 10 grains
(mm) width (W)	2.60	
thickness(T)	1.92	
L/T	3.38	
Bulk density (kg/l)	0.784	
Moisture content (% w.b)	12.92	
Head grain (%)	96.0	
{ sound grain greenish grain stained grain cracked grain }	75.09	}
	7.52	
	2.79	
	10.60	
Broken grains (%)	4.00	
Unhulled paddy (%)	0.00	
Foreign matters (%)	0.00	
Cracking hardness of hulled grain(kg/grain)	6.66	
Percentage of hull to paddy (%)	19.4	

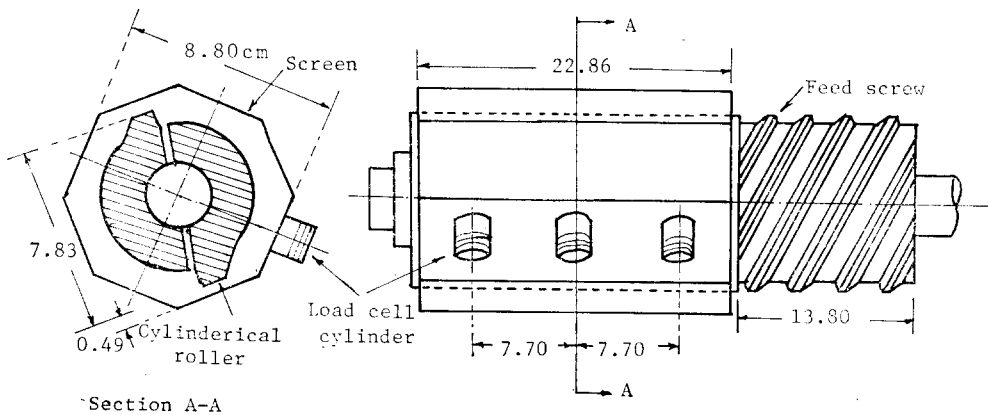
다. 測定裝置

精白性能에 영향을 미치는 精白室內의 精白壓力, 出口의 軸方壓力 및 所要動力을 測定하기 위하여 다

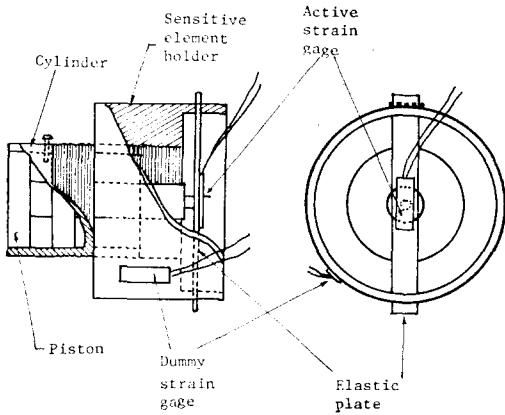
음과 같이 하였다.

(1) 精白壓力(radial pressure)

精白室內에서 米粒이 받은 精白壓力은 Fig. 3의 힘 變換器(load cell)를 製作하여 精白室을 이루는



(a) Placement of load cells.



(b) Detailed drawing of load cell.

Fig. 3. Load cells for measuring radial pressure.

八角形 스크린 鐵板에 固定하여 測定하였다. 測定 設定(Calibration)에 의한 精白壓力과 變形(Strain) 과의 關係는 다음 式으로 表示되었다.

$$P_R \text{ I} = 1262\varepsilon + 0.0082 \quad (r^2 = 0.9997) \dots\dots (1-a)$$

$$P_R \text{ II} = 1173\varepsilon + 0.0076 \quad (r^2 = 0.9994) \dots\dots (1-b)$$

$$P_R \text{ III} = 1280\varepsilon + 0.0064 \quad (r^2 = 0.9996) \dots\dots (1-c)$$

여기서  $P_R$  = 精白壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = 變 形

(2) 精白室 出口의 軸方壓力(axial pressure)

本 試驗에 使用된 精米機의 出口抵抗(counter-presser setting)은 Fig. 4와 같이 壓力調節핸들(control lever)을 움직여서 스프링을 收縮시키므로서 發生하나, 精白作業中 出口抵抗板(Pressure plate)은 쌀의 吐出力에 의하여 밀려나므로서 더욱 스프링이 壓縮되어 精白室 出口에서의 軸方壓力이 增加하게 된다.

따라서 正確한 軸方壓力을 算出하려면 壓力調節 핸들에 의한 스프링의 收縮變位와 出口抵抗板의 變位를 모두 測定하지 않으면 안된다.

壓力調節핸들에 의한 스프링의 收縮變位는 핸들의 位置別로 作業前에 미리 測定할 수 있었으나, 精白作業中 出口抵抗板의 變位는 精白室內의 軸方壓力에 따라 變하므로 이 變位를 測定하기 위하여 Fig. 4와 같은 測定裝置를 만들어 使用하였다. 即, 鐵棒(rod)을 出口抵抗板에 固定시켜 이 鐵棒이 出口抵抗板에 따라 水平方向의 變位를 일으키고 이것의 외팔보(Cantilever)를 움직여서 스트레인 게이지의 變形(Strain)을 測定할 수 있도록 하였다.

여기에 使用한 外팔보는 測定量(出口抵抗)에 미치는 영향을 無視할 수 있는 程度의 매우 두께가 얇고 彈性이 좋은 쇠톱날을 使用하였다.

測定設定에 의한 出口抵抗板의 變位와 게이지의 變形과의 關係는 다음 式으로 表示되었다.

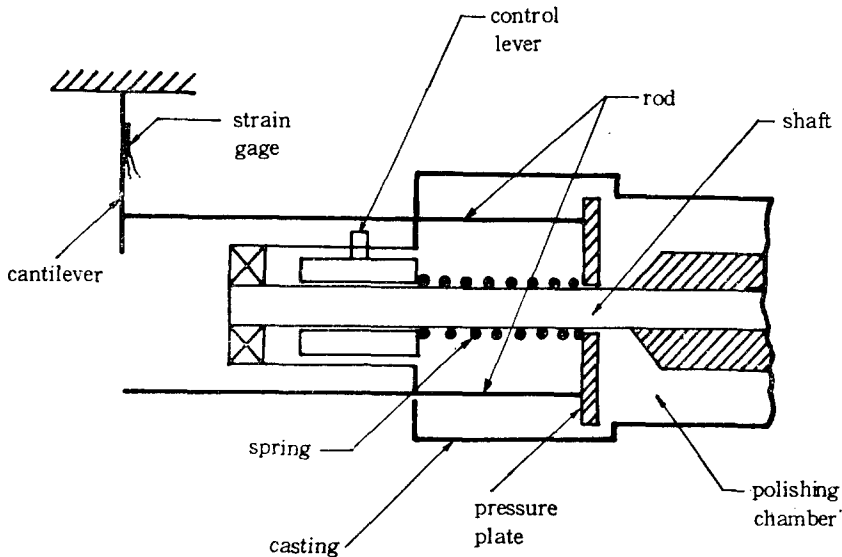


Fig. 4. Schematic diagram of the displacement transducer for measuring counter pressure

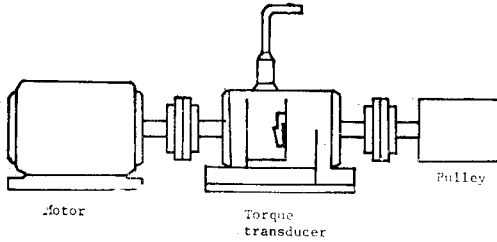


Fig. 5. Installation of a commercial torque transducer for measuring torque.

$$X = 0.01223\varepsilon + 0.02295 \quad (r^2 = 0.9997) \dots (2)$$

여기서  $X$  = 出口抵抗板의 軸方向 變位(mm)

$\varepsilon$  = 變形

(3) 精米機 所要動力

各 精白作業에 所要되는 精米機의 平均動力을 算出하기 위하여 토오크 變換器(torque transducer)를 Fig. 5와 같이 設置하여 토오크를 測定하고 電動機의 回轉數를 스트로보(strobo) 回轉計에 의하여 測定하였다.

위의 같은 測定을 위한 스트레인 게이지 測定器具의 構成은 Fig. 6에서 보는 바와 같으며, 오실로-

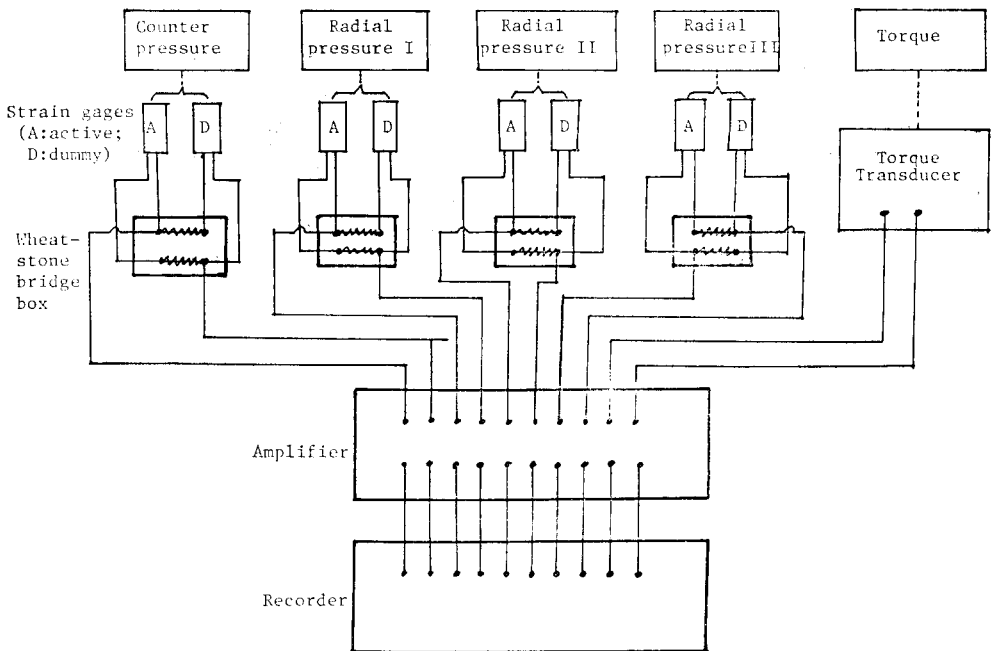


Fig. 6. Block diagram of strain-gage measurement system.

그래프(oscillograph)에 의한 스트레인 測定記錄의 一例는 Fig. 7과 같다.

라. 實驗方法

(1) 實驗設計

精米機의 出口抵抗과 물러軸의 回轉速度를 精白性能에 影響을 주는 主要變數로 定하고, 供給率은 精米機의 供給口(feed gate)를 完全히 開放하므로써 出口抵抗과 回轉速度에 의해서만 影響을 받도록 하였다.

回轉速度의 變化는 供試機의 仕樣回轉數(800~900rpm)의 中間이 되는 850rpm에서 上下로 200rpm

씩 加減하여 650, 850 및 1050rpm의 3水準으로 定하였고, 出口抵抗의 變化는 最高回轉數에서 作業이 可能한 最大의 抵抗表示 눈금인 7以下로 한눈금씩 낮추어 5, 6, 7로 定하였으며, 이들은 스프링의 收縮變位를 測定한 結果 各各 49, 67, 85g/cm<sup>2</sup>의 壓力에 해당되었다.

出口抵抗과 回轉速度를 組合한 9個의 處理를 前期와 後期로 나누어서 亂塊法(randomized block design)으로 實驗을 實施하였으며 各 處理別 玄米의 含水率과 室內 溫度 및 相對濕度는 Table 3에 收錄된 바와 같다.

(2) 精白度 判別法

Table 3. Moisture content of brown rice and ambient air condition for each experiment.

Replication	Treatment	Moisture content (%)	Ambient conditions		Remark
			Temperature (°C)	Relative humidity (%)	
I	R <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	14.1	15.7	69	M.C mean=14.3 (%) s.d.=0.14 range=14.1-14.4 Temp. mean=19.9 (°C) s.d.=2.08 range=15.7-22.0 R.H mean=73.9 (%) s.d.=8.36 range =63-85
	R <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	14.1	20.3	71	
	R <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	14.1	20.8	73	
	R <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	14.3	22.0	63	
	R <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	14.3	22.0	63	
	R <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	14.4	17.6	85	
	R <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	14.4	20.0	80	
	R <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	14.4	21.3	85	
	R <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	14.4	19.6	76	
II	R <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	14.6	23.4	75	M.C. mean=14.8 (%) s.d.=0.14 range=14.6-15.0 Temp. mean=21.7(°C) s.d.=1.26 range=20.2-23.4 R.H mean=81.7 (%) s.d.=4.61 range=75-88
	R <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	14.7	22.9	78	
	R <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	14.7	22.5	88	
	R <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	14.7	22.5	88	
	R <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	14.7	22.2	85	
	R <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	14.9	20.4	82	
	R <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	14.9	20.4	82	
	R <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	15.0	20.2	79	
	R <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	14.9	20.6	78	

Note R=Roller speed in RPM (1 : 650; 2 : 850; 3 : 1050)

C=Counter-pressure setting in g/cm<sup>2</sup> (1 : 49; 2 : 67; 3 : 85)

1979年度 12월에 實施한 豫備實驗에서는 Kett製 白度計(whiteness meter)를 사용하여 9分度로 搗精된 상태에서 精白試驗을 마치고 試圖하였으나 反復에 따라 白度の變化가 너무 不規則하여 精白度の 指標로서 使用할 수 없었다. 豫備實驗中 各處理間에 搗精完了後의 米糠의 精白想態가 거의 일정하고, 일반적으로 米糠의 玄米重에 대한 重量比가 8%에 近似한 點에 着眼하여 玄米重의 8% 重量減少를 精白度 判別의 指標로 使用하였다. 精白度 判正의 正確을 期하기 위하여 米糠中에 包含된 碎米(小碎米 및 大碎米)를 除去한 純米糠의 重量이 玄米重의 8%가 되도록 하였다.

그러나 實際 實驗에서는 米糠量이 玄米重의 8% 減少하는 點이 일정한 精白 回數에 正確하게 一致하지 못하므로 8% 以上이 減少할 때까지 精白作業을 繼續하고 8% 重量減少 以前과 以後의 白米 샘플과 米糠 샘플을 採取하여 完全米收率, 白度 및 碎米率을 調査하였다.

(3) 完全米收率(head rice recovery)

投入 玄米重量에서 米糠重量이 8%에 達하기 前後에 採取한 샘플로부터 8%의 除糠에 相應하는完

全米 重量을 補插法(interpolation)으로 求한 후 다음식으로 完全米收率을 算出하였다.

$$\text{完全米收率(\%)} = \frac{\text{完全米重量(kg)}}{\text{投入玄米重量(kg)}} \times 100 \dots\dots(3)$$

(4) 精白能率(milling capacity)

投入玄米重量이 8% 減少하여 白米가 될때까지 所要된 總時間을 補插法으로 求한 후 다음식으로 算出하였다.

$$\text{精白能率(kg/hr)} = \frac{\text{投入玄米重量(kg)}}{\text{總所要精白時間(hr)}} \dots\dots(4)$$

(5) 精白効率(milling efficiency)

各 處理間에 動力의 效率의인 利用度를 判別하는 基準으로서 다음과 같이 定義되는 精白效率을 使用하였다.

$$\text{精白效率(kg/kW·hr)} = \frac{\text{精白能率(kg/hr)}}{\text{平均所要動力(kW)}} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 平均所要動力은 每精白過程中的 所要動力을 加重值(weighted average)로서 算出한 것이다.

3. 結果 및 考察

가. 精白度の 比較

저層의 玄米重에 대한 重量比를 8%로 간주하여

Table 4. Summary of Analysis of Variance

	Counter-pressure setting	Roller speed	Interaction	Block
Axial pressure	**	N. S	N. S	N. S
Radial pressure	**	N. S	N. S	N. S
Milling capacity	**	**	N. S	N. S
Milling efficiency	**	*	N. S	*
rice recovery	**	N. S	N. S	N. S
Temperature rise	N. S	*	N. S	N. S
Grain Flow Rate	N. S	**	N. S	N. S
Whiteness-meter index	N. S	N. S	N. S	N. S

Note : \*\* : Significant at 1% level  
 \* : " " at 5% "  
 N.S : Not Significant

Table 5. Whiteness meter indices of milled rice for different operational conditions

		Roller speed (RPM)			
		650	850	1050	Mean
Counter-pressure setting (g/m <sup>2</sup> )	49	40.7	43.8	41.7	41.9
		41.7	41.3	41.9	
	67	40.9	41.2	40.1	41.1
		41.8	41.5	41.2	
	85	42.5	41.1	40.5	41.1
	42.9	39.7	40.1		
Mean	41.8	41.4	40.9		

玄米重量이 8% 減少 할 때까지 精白作業을 實施한後 白度計로 測定한 各處理別 白米의 白度は Table 5에서 보는 바와 같다. Table 4의 統計分析 結果에서 처럼 處理間에 白度の 差異가 없는 것으로 나타났으며 肉眼으로도 그 差異를 識別할 수 없었다. 따라서 本試驗에서 使用한 機械的 作動範圍內에서는 8% 重量減少에 의한 精白度判別 方法이 適切한 것으로 判斷되었다.

나. 精白壓力과 出口의 軸方壓力

(1) 精白壓力(radial pressure)

精白室內에서 米粒에 加해지는 精白壓力을 실린더 스크린과 롤러軸 돌기 사이의 間隙이 가장 작은 部分에서 測定한 것으로서, Fig. 7에서와 같이 두개의 돌기에 의하여 周期的인 波形으로 나타났다. 本試驗分析에서는 이들 波形의 平均壓力을 算出하고 精白壓力으로 表示하였다. 여기서 波形의 모양이 일정하지 않은 것은 두개의 돌기와 실린더 스크린의 間隙이 서로 다르기 때문으로 判斷되었다.

한편, 精白室內의 位置別 壓力分布는 Fig. 8에서와 같이 出口抵抗의 크기에 關係없이 精白室 入口

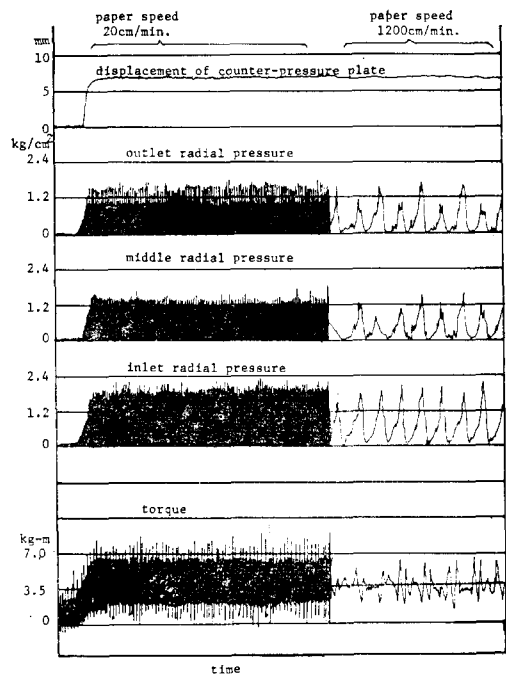


Fig. 7. A typical chart of strain gage outputs.



側에서 精白壓力이 가장 높게 나타났고, 中間에서 가장 낮으며 出口側에서 다소 增加하는 경향을 나타내었다.

이것은 精白作業이 進行되면서 거(米糠)가 分離되어 실린더 스크린 밖으로 빠져 나가서 精白室內의 密度가 減少하기 때문이며, 出口側에서 壓力이多少 높아지는 것은 出口抵抗에 의한 것으로 생각된다.

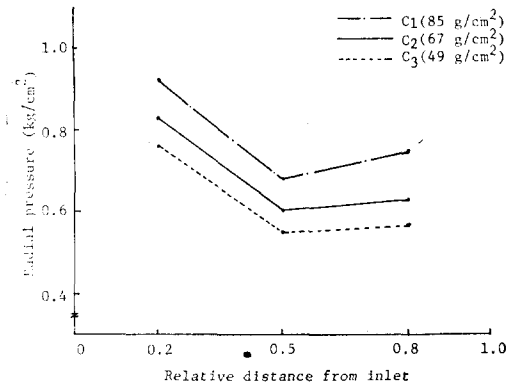


Fig. 8. Distribution of radial pressure along the whitening chamber

精白壓力은 Table 5의 統計分析 結果에서 처럼 롤러軸의 回轉速度에 의한 영향이 없으나, 出口抵抗에 의한 영향은 高度의 有意성이 認定되었다.

또한 롤러 回轉速度和 出口抵抗間的 相互作用은 有意성이 없었다. Fig. 9은 精白壓力이 出口抵抗에 比例하여 增加함을 보여주는 것으로서 回歸分析結果, 다음의 線形方程式으로 表示될 수 있었다.

$$P_R = 4.48 \times 10^{-3} P_C + 0.401 (r^2 = 0.886) \dots (6)$$

여기서  $P_R$  = 精白壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

$P_C$  = 出口抵抗(g/cm<sup>2</sup>)

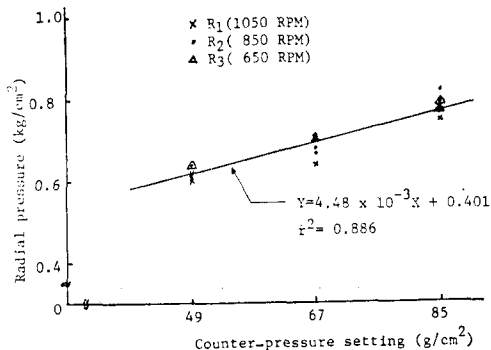


Fig. 9. Effect of counter-pressure setting on radial pressure

(2) 出口의 軸方壓力(axial pressure)

Table 5에서 보는 바와 같이 出口의 軸方壓力은 롤러軸의 回轉速度에는 영향을 받지 않으나, 出口抵抗에 의한 영향은 高度의 有意성이 認定되었으며 롤러 回轉速度和 出口抵抗間的 相互作用은 有意성이 없었다.

Fig. 10은 出口의 軸方壓力이 出口抵抗에 따라 거의 直線의으로 比例함을 보여주는 것으로서 回歸分析結果, 다음 線形方程式으로 表示될 수 있었다.

$$P_a = 1.022 P_C + 37.90 (r^2 = 0.903) \dots (7)$$

여기서  $P_a$  = 出口의 軸方壓力(g/cm<sup>2</sup>)

$P_C$  = 出口抵抗(g/cm<sup>2</sup>)

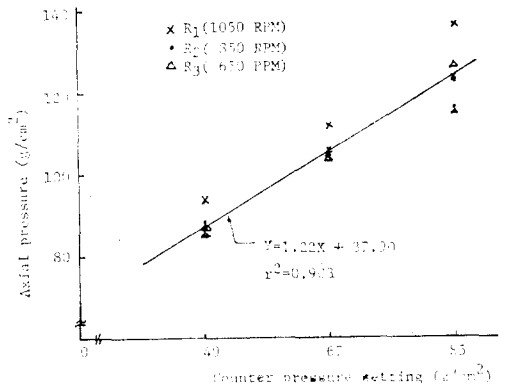


Fig. 10. Effect of counter-pressure setting on axial pressure

(3) 出口의 軸方壓力과 精白壓力은 Fig. 11에서와 같이 高度의 相關을 나타냈으며, 分析結果 다음의 關係式으로 表示되었다.

$$P_R = 4.06 \times 10^{-3} P_a + 0.27 (r^2 = 0.838) \dots (8)$$

여기서  $P_a$  = 出口의 軸方壓力(g/cm<sup>2</sup>)

$P_R$  = 精白壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

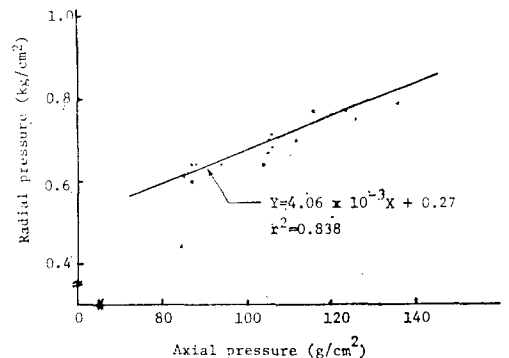


Fig. 11. Relationship between axial pressure and radial pressure

다. 供給率(flow rate)

精米機의 供給口를 完全히 開放하여 作業할 때 精白室을 通過하는 時間當 米穀量(供給率이라 定義함)은 Table 5에서 보는 바와 같이 出口抵抗의 크기에 關係없이 롤러軸의 回轉速度에 의해서만 變化하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 供給率과 롤러 回轉速度의 關係를 나타낸 것으로서, 供給率이 롤러 回轉速度에 따라 增加함을 알 수 있으며 回歸分析에 의하여 다음과 같은 2次方程式으로 表示될 수 있었다.

$$f = 4.36 N - 1.720 \times 10^{-3} N^2 - 955.7$$

$$(r^2 = 0.989) \dots (9)$$

여기서  $f$  = 供給率(kg/hr)

$N$  = 롤러 回轉速度(rpm)

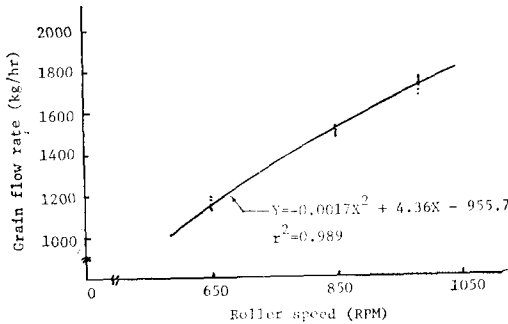


Fig. 12. Effect of roller speed on grain flow rate

Table 6. Head rice recovery for different operational conditions

Unit : %

		Roller speed (RPM)			
		650	850	1050	Mean
Counter-pressure setting (g/cm <sup>2</sup> )	49	83.75	83.26	84.28	83.95
		83.06	84.27	85.07	
	67	84.13	83.85	83.98	83.71
		82.85	83.00	84.46	
	85	79.32	80.31	80.84	81.33
		81.26	81.83	84.43	
	Mean	82.40	82.75	83.84	

를 減少하는 경향을 나타냈으며, 이것은 出口抵抗에 따라 精白壓力이 높아졌기 때문에 판단된다. 回歸分析을 한 結果로부터 다음과 같은 非線形方程式을 얻었다.

$$\eta_{HR} = 0.39 P_c - 0.0035 P_c^2 + 73.1$$

$$(r^2 = 0.556) \dots (10)$$

여기서  $\eta_{HR}$  = 完全米收率(%)

$P_c$  = 出口抵抗(g/cm<sup>2</sup>)

여기서 롤러 回轉速度가 增加할수록 供給率의 增加率이 鈍化하는 理由는 精白室內의 壓力이 일정水準으로 높아지면 供給스크류(feed screw)와 穀物의 미끄럼(slippage)으로 인해 供給스크류의 移送量이 回轉速度에 比例하지 않는 때문이라고 판단되었다.

라. 完全米收率

Table 6은 各處理別 完全米收率을 나타낸 것으로서, 統計分析(Table 5참조)에 의하면 完全米收率は 롤러軸의 回轉速度에 영향을 받지 않고 出口抵抗이 增加할수록 減少하였다.

또한 完全米收率에 대한 롤러 回轉速度和 出口抵抗의 相互作用은 有意성이 없었다.

또한 各 處理別로 副産物中에서 分離한 碎米量은 Table 7에 나타난 바와 같으며 統計的 分析을 한 結果 處理間에 有意성이 없는 것으로 나타났다. 이것은 本試驗에서 使用한 作動條件下에서는 完全米收率, 即 米質만이 出口抵抗에 의해서만 差異가 있을뿐 搗精收率(milled rice recovery)에는 差異가 없음을 意味한다.

本實驗結果에서 搗精收率이 處理間에 差異가 없고 또한 完全米收率이 回轉數에 영향을 받지 않는 것으로 나타난 理由는 本試驗에 使用한 玄米가 胴割粒과 碎粒의 量이 상당히 적은 매우 良好한 狀態였기 때문인 것으로 판단되며 이에 대한 계속적인 研究가 要請된다.

(1) 完全米收率과 出口抵抗

Fig. 13은 完全米收率과 出口抵抗의 關係를 나타낸 것으로서 完全米收率は 出口抵抗이 增加할 수

Table 7. Broken rice included in by-products

Unit : kg

		Roller speed (RPM)			
		650	850	1050	Mean
Counter-pressure setting (g/cm <sup>2</sup> )	49	0.28	0.19	0.27	0.24
		0.24	0.23	0.22	
	67	0.27	0.25	0.19	0.26
		0.32	0.21	0.34	
	85	0.25	0.21	0.24	0.25
		0.42	0.21	0.15	
	Mean	0.30	0.22	0.24	

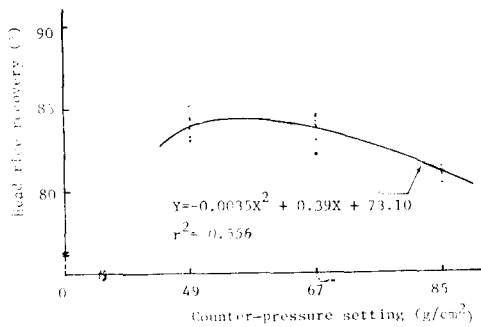


Fig. 13. Effect of counter-pressure setting on head rice recovery

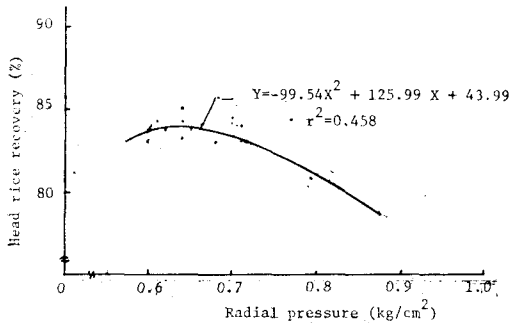


Fig. 14. Relationship between head rice recovery and radial pressure.

(2) 完全米收率과 精白壓力

上記結果로 부터 精白壓力은 出口抵抗에 比例하여 增加하고, 完全米收率은 出口抵抗에 逆比例한다는 事實에 비추어 完全米收率과 精白壓力의 關係를 알기 위하여 Fig. 14에 나타낸바 다음과 같은 回歸曲線을 얻을 수 있었다.

$$\eta_{HR} = 125.0P_R - 99.5P_R^2 + 44.0 \quad (r^2 = 0.458) \dots \dots (11)$$

여기서  $\eta_{HR}$  = 完全米收率(%)

$P_R$  = 精白壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

다. 精白能率(milling capacity)

精白能率은 Table 5에서 보는바와 같이 出口抵抗과 롤러回轉速度에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 出口抵抗과 回轉速度間의 相互作用은 有意性이 없었다. 精白能率은 Fig. 15에서 처럼 出口抵抗에 따라 急激히 增加하며 롤러回轉速度에는 直線的으로 比例하여 增加하였다.

多重回歸分析에 의한 精白能率과 回轉速度 및 出口抵抗의 關係는 다음의 方程式으로 表示될 수 있었다.

$$C = -17.443P_C + 0.175P_C^2 + 0.625N + 186.33 \quad (r^2 = 0.980) \dots \dots (12)$$

여기서  $C$  = 精白能率(kg/hr)

$N$  = 롤러回轉速度(rpm)

$P_C$  = 出口抵抗(g/cm<sup>2</sup>)

한편, 精白能率과 精白壓力과의 關係는 Fig. 16에서와 같이 大體적으로 精白壓力이 增加할수록 精白能率이 向上되는 경향을 나타내어 回歸分析에 의하여 다음식으로 表示되었다. 그러나 精白壓力만으로 精白能率을 表示하기에는 不適合함을 알 수 있다.

$$C = 1.464 \times 10^3 P_R - 657.2 \quad (r^2 = 0.525) \dots \dots (13)$$

여기서  $C$  = 精白能率(kg/hr)

$P_R$  = 精白壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

精白作業時의 所要動力을 考慮한 精白效率은 Table 5에서 보는 바와 같이 出口抵抗과 롤러回轉速度에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig. 17에서와 같이 롤러回轉速度和 出口抵抗이 增加할수록

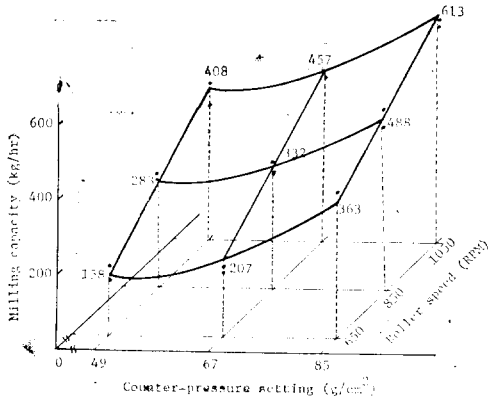


Fig. 15. Effect of counter-pressure setting and roller speed on milling capacity.

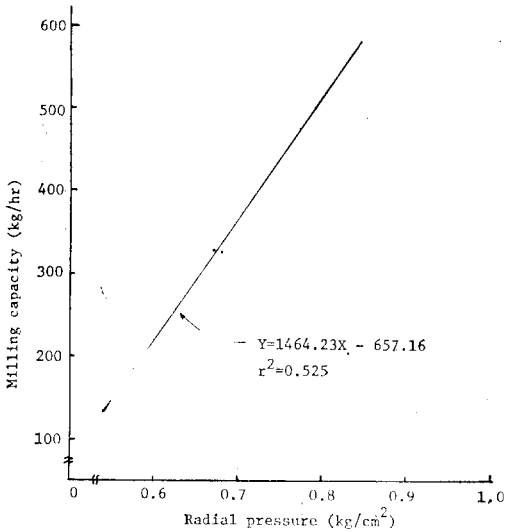


Fig. 16. Relationship between milling capacity and radial pressure

바. 精白效率(milling efficiency)

增加하였으나, 높은 出口抵抗에서 롤러回轉速度的 영향이 減少하였으며, 또한 높은 롤러回轉速度에서 出口抵抗의 영향이 적은 것으로 나타났다. 한편 精白效率에 대한 出口抵抗과 롤러回轉速度的 相互作用은 有意성이 없었다.

多重回歸分析에 의한 精白效率과 出口抵抗 및 回轉速度的 關係는 다음式으로 表示되었다.

$$E = -4.779P_c + 0.044P_c^2 - 0.331N + 2.2 \times 10^{-4}N^2 + 342.73 \quad (r^2 = 0.881) \dots \dots \dots (14)$$

여기서  $E$ =精白效率(kg/kW·hr)  
 $P_c$ =出口抵抗(g/cm<sup>2</sup>)  
 $N$ =回轉速度(rpm)

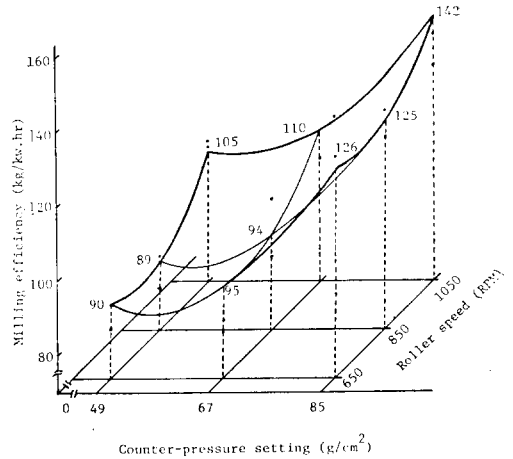


Fig. 17. Effect of counter pressure setting and roller speed on milling efficiency

사. 所要精白回數

Table 8은 各處理別 所要精白回數를 나타낸 것으로서 出口抵抗이 增加할수록, 또한 롤러回轉速度가 增加할수록 大體로 精白回數가 減少하였다.

아. 精白室의 温度上昇

Table 9는 第1回 精白過程中的 最高温度上昇을 나타낸 것으로서 温度上昇範圍는 5.6~18.3°C(평균 11.3°C, 표준편차 2.98°C)이며, 温度上昇은 大體로 롤러回轉速度和 出口抵抗에 따라 增加하는 傾向을 보였다. 그러나 Table 5의 統計分析結果처럼 回轉速度에 대해서만 有意성이 認定되었다. 回轉速度에 따라 温度上昇이 增大하는 이유는 米粒과 스크린 또는 米粒相互間에 摩擦이 많아져 摩擦熱이 增大하기 때문인 것으로 판단된다.

4. 要約 및 結論

精米機의 作動要因이 精白性能에 미치는 影響을 分析하고 適正한 作動條件을 究明하기 위하여 出口抵抗과 롤러軸의 回轉速度를 變化시켜 精白實驗을 實施한 結果는 다음과 같이 要約될 수 있다.

가. 精米機의 出口抵抗은 完全米收率, 精白能率 및 精白效率에 모두 影響을 미치는 主要 作動要因

Table 8. Number of passes required to complete whitening process

		Roller speed (RPM)				Mean
		650	850	1050	Mean	
Counter-pressure setting (g/cm <sup>2</sup> )	49	8	6	5	6.2	
		7	6	5		
	67	7	5	4	5.3	
		7	5	4		
	85	3	3	3	3.2	
		3	4	3		
	Mean		5.8	4.8	4.0	

Table 9. Temperature rise in whitening chamber

Unit : C

		Roller speed (RPM)				Mean
		650	850	1050	Mean	
Counter-pressure setting (g/cm <sup>2</sup> )	49	7.3	11.5	10.4	9.9	
		9.8	11.4	8.9		
	67	11.5	12.8	14.1	11.7	
		7.5	10.9	13.6		
	85	11.0	10.9	18.3	12.3	
		5.6	14.1	13.8		
	Mean		8.8	11.9	13.2	

이었다.

나. 精米機의 롤러回轉速度는 完全米收率에는 영향이 없었으나 精白能率과 精白効率에 영향을 미치는 作動要因이었다.

다. 精白壓力은 回轉速度에 關係없이 出口抵抗에 比例하여 增加하였으며, 精白室內의 精白壓力은 入口側에서 가장 높고, 出口側이 中間보다 다소 높게 나타났다.

라. 出口의 軸方壓力은 出口抵抗에 따라 거의 直線的으로 比例하여 增加하였다.

마. 上記(다)와 (라)항에서 推定될 수 있는 바와 같이 出口의 軸方壓力과 精白壓力사이에는 高度의 相關關係가 나타났다.

바. 穀物의 供給率은 本試驗의 作動條件에서는 出口抵抗에 關係없이 롤러軸의 回轉速度에 따라 增加하였으나 回轉速度가 높을 수록 그 增加率은 鈍化하였다.

사. 完全米收率은 롤러回轉速度에 關係없이 出口

抵抗 또는 精白壓力이 增加할수록 減少하는 경향을 나타내었다.

아. 精白能率은 出口抵抗에 따라 急激히 增加하고 롤러回轉速度에 따라서는 直線的으로 比例하여 增加하였다.

자. 精白効率은 出口抵抗과 롤러軸의 回轉速度가 增加할수록 增大하나 높은 出口抵抗에서는 回轉速度에 關係없이 일정하게 나타났다.

차. 精白室의 溫度上昇은 平均 11.3°C로 나타났으며 롤러回轉速度에 따라 多小 增大하는 것으로 나타났다.

카. 上記結果를 土臺로 完全米收率과 精白効率을 考慮한 供試精米機의 適正作動範圍는 出口抵抗이 67g/cm<sup>2</sup>, 回轉速度가 1050rpm인 것으로 판단된다. 그러나 完全米收率의 差異가 적으므로 이를 無視한다면 ; 出口抵抗 85g/cm<sup>2</sup>에서 850, 1050rpm의 回轉速度로 作業하는 것이 機械의 能率을 크게 向上시킬 수 있다.

### References

- 1) SMITH, W.D., DEFFES, J.J. AND BENNETT, C.H. 1938. Effect of date of harvest on yield and milling quality of rice. U.S. Dep. Agric. Cir. 484.
- 2) JOHNSTON, T.H. and MILLER, M.D. 1973. Rice in the United States; Varieties and production. U.S.D.A. Handbook, 289, Rev.
- 3) MATTEWS, J. and SPADARO, J.J. 1975. Rice breakage during combine harvesting. Rice Journal 78(7)59-63.
- 4) STIPE, D.R., WRATTEN, F.T. and MILLER, M.F. 1972. Effects of various methods of handling brown rice on milling and other quality parameters. Proc. 14th Rice Tech. Working Group, June 20-22, Davis, California
- 5) FAULKNER, M.D., WRATTEN, F.T. and MIMMER, M.F. 1967. The effect of milling quality of rice due to various harvest moisture content. 59th Annual Progress Report, Rice Experiment Station, Louisiana, pp.98-102.
- 6) ARAULLO, E.V., de PADUA, D.B. and GRAHAM, MICHAEL. 1976.

- Rice, Postharvest technology, IDRC dp.12.
- 7) WASSERMAN, T. 1962.  
Remoisturing of overdried milled rice, high-temperature, sample drying and effect of time lags between drying and milling. Proceeding, Rice Technical Working Group, Houston, Texas, Feb. pp.29.
- 8) AROMA, V.K., HENDERSON, S.M. and BURKHART, T.H. 1973.  
Rice drying dracking versus thermal and mechanical properties. Trans. of the ASAE Vol. 16, No.2, pp.320-327.
- 9) SHIN, K.S. 1971,  
Comparative performance test of rice whitening machines. Annual Progress Report, the Farm Machinery Utilization and Research Inst. O.R.D. Korea pp.33-449.
- 10) JULIANO, B.O. 1973,  
Biochemical Properties of the rice grain in relation to mipling and eating qualities. Post-Harvest Rice Technology. Compilation of Lectures at the Regional Training Course. University of the Philippines, April 1-30. IDRC, Singapore, pp.38-46.
- 11) KUNZE and CHOUDHARY, M.S.U. 1971.  
Moisture adsorption and strength of rice. ASAE Ppr. 71-374. Ppr. presented at 1971 SW Reg
- 12) CHUNG, C.J., JEON, Y.W. and KANG, W.S.  
Effects of the rainfall rewetted paddy on the quality of the milled rice. The Journal of the K.S.A.M. Vol. 4, No. 1, pp.75-85.
- 13) AUTREY, H.S., GRIGORIEF, W.W., AL-TSCHUL, A.M. and HOGAN, J.H. 1955.  
Effects of milling conditions on breakage of rice grains. Journal of Agric. Food Chem. 3 pp.593-599.
- 14) BHATIA, K. 1969.  
Effect of environmental conditions during milling on breakage of rice grain. M.A. thesis. Louisiana State University, Baton Bouge, Louisiana.
- 15) 日本農業機械 HANDBOOK  
新農林社
- 16) ROBERTS, R.L. and WASSERMAN; T, 1977.  
Effect of milling conditions on yields, milling time and energy requirements in a pilot scale Engelberg rice mill. J. Food Science, 42, pp.802-3, 806.
- 17) WASSERMAN, T. and ROBERT, L. 1972.  
Effects of surface wetting of brown rice immediately prior to milling. Proceedings 14th Rice Tech. Working Group June 20-22. Davis, California
- 18) WASSERMAN, T., ROBERTS, R.L., McCREADY, R.M. and BALLEY, G.F. 1974.  
Changes in yields, milling time and conditions, and energy requirements in commercial-type rice mills. Proceedings 15th Rice Technical Working Shop, March 12-14. Fayetteville, Arkansas
- 19) No, S.H. and CHOI, J.K. 1976.  
Mechanical and operational factors affecting the efficiency of rice polishing Machines. The Journal of the K.S.A.M. Vol.1. pp.15-48.