

보리의 乾燥特性和 乾燥溫度 및 含水率이 精麥收率에 미치는 影響

Drying Characteristics of Barley and the Effect of Moisture Content and Drying Temperature on Milling Recovery

李 鎔 國* · 金 三 道* · 朴 勝 濟*
Lee, Yong Kook · Kim, Sam Do · Park, Seung Je

Summary and Conclusion

This study was to examine the drying characteristics of barley and the effect of moisture content of barley on milling performance. A barley variety, Jogang, having 35.0% of initial moisture content was used for this experiment.

Thermo-hydrostatic dryer which consists of blower, condenser, heater, humidifier, drying chamber and control box, etc., was used for the drying experiment. The change in the weight of a barley sample was continuously measured by means of the ring type load cell installed inside the drying chamber.

Milling test runs the samples having the predetermined moisture content were taken from each drying test run. A laboratory type barley miller was used for the milling test.

The results of the study are summarized as follows:

1. The drying constants (k) applied for the thin layer drying model, $(M-M_e)/(M_0-M_e) = A e^{-kt}$ were 0.155, 0.259 and 0.548, respectively, at the three levels of drying temperatures, 40°C, 50°C and 60°C. The drying constants complied with the Arrhenius Equation, $K = K_0 \exp(-C/T)$, were determined as $K_0 = 1.901455 \times 10^8$ and $C = 6563$.
2. The laboratory milling test indicated that the highest milled and head barley recovery was resulted from the sample which was dried at 40°C. In general, the increase in the drying temperature from 40°C to 60°C indicated a negative effect on milling yields.
3. Also, the sample having 15% M.C. presented the highest milled and head barley recovery among the five moisture content levels (12, 15, 18, 21 and 24%).

I. 緒 論

最近까지만 해도 우리나라는 2모작을 中心으로 하는 營農方法에 集中되어 왔고 벼와 보리를 主食으로 하여 왔다. 그러나 最近에는 보리 生産의 主軸을 이루어 왔던 南部地方에서는 비닐 하우스를 利用한 소재작물이나 持用作物을 경작하고 있는 實情이며, 中部南地方에서도 경계성이 없다는 理由 등으로 보리의 경작을 기피하고 있다. 또한, 보리의 收穫時期가 장마철과 일치할 뿐만 아니라 모내기과 겹치고, 많은

노동력을 必要로 하는 時期이기 때문에 노동력 부족으로 인하여 相當한 問題點으로 나타나고 있어서 경작면적은 점차 줄어들고 있는 實情이다. 하지만 急激히 불어나는 人口增加와 食糧의 自給자족이라는 側面에서 본다면 결코 보리의 경작은 중단될 수 없으며, 또한 乾燥 및 精麥過程이 等閑視될 수 없는 우리나라 主食의 一部를 차지함에는 틀림없다.

이러한 事實을 미루어 볼 때 보리의 乾燥 및 加工에 대한 研究가 수행되어야만 하는데도 우리나라에서는 아직까지 이러한 研究가 거의 없는 實情이다.

* 成均館大 農大 農業機械工學科

그런데 보리의 乾燥 및 加工 역시 벼와 마찬가지로, 우리나라에서는 태양을 利用한 自然乾燥로서 행해지고 있으며 乾燥한 보리는 大部分 政府수매하거나 貨 搗精工場에서 精麥하고 있다.

보리의 搗精에 있어서 무엇보다 重要的 것은 벼의 경우와 마찬가지로 最後에 生産되는 보리알이 最高의 搗精收率과 좋은 品質을 가지도록 하는 것이다. 이를 위하여서는 乾燥 및 搗精過程이 적절한 상태에서 수행되어야만 한다.

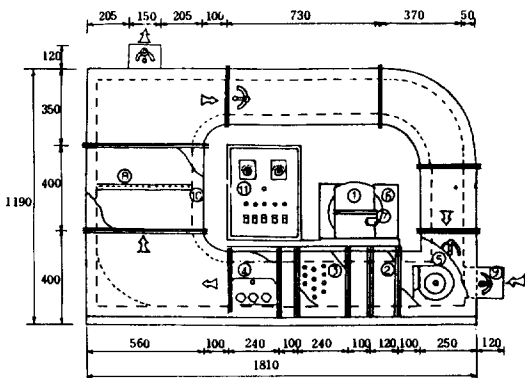
그러므로 本 實驗의 具體的 目的은 다음과 같다.

1. 乾燥條件에 따른 보리 및 보리알의 乾燥特性을 把握하고,
2. 보리 搗精時의 含水率이 搗精收率, 完全粒收率 等に 미치는 影響을 實驗的으로 究明하고,
3. 보리의 乾燥 및 搗精時의 問題點을 把握하므로써 보리를 加工하는데 있어 基本的인 資料를 提供하는데 있다.

II. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

本 實驗에 使用된 恒溫恒濕 乾燥機의 개관은 그림 1과 같다. 이 實驗裝置는 穀物의 乾燥 및 加工實驗에서 必要로 하는 空氣의 상태와 穀物의 含水率을 얻을 수 있도록 設計 製作된 것으로서 그 構成은 다음과 같다. 순환되고 있는 空氣(순환시키지 않을 수



- | | |
|-------------------|------------------|
| 1. COMPRESSOR | 7. CONDENSER FAN |
| 2. EVAPORATOR | 8. DRIER PANEL |
| 3. HEATING COIL | 9. DAMPER |
| 4. HUMIDIFIER | 10. INSULATION |
| 5. BLOWER & MOTOR | 11. CONTROL BOX |
| 6. CONDENSER | |

Fig. 1. Schematic drawing and dimensions of dryer used for experiment.

도 있도록 製作되어 있음)의 상태를 一定하게 만들어 주기 위하여 試料投入部 바로 아래에 溫度 및 濕度 感知部, 空氣가 순환될 때 穀物로부터 뺀 水分을 제거하기 위한 콘덴서를 利用한 계습부분, pipe type 가열기를 利用한 가열부분, 實驗裝置內的 相對 濕度를 조정하기 위한 증기 發生部分, 그리고 이 모든 기능을 제어하는 control box 및 空氣를 순환시키기 위한 blower로 이루어져 있다.

穀物을 通過하는 空氣의 送風量은 blower의 回轉數로 조정했으며, blower의 구동 및 回轉數을 위하여 D. C. 1마력 모터를 使用하였다.

그리고 穀物 投入部 상단 및 하단에 건구 溫度를 測定하기 위하여 thermocouple을 各各 2개씩 設置하였다. 이 thermocouple을 自動溫度 기록계에 연결함으로써 순환되고 있는 空氣의 狀態를 확인할 수 있도록 하였다.

本 實驗에서 使用된 實驗裝置의 構成圖는 그림 2와 같다.

또한 本 實驗에서는 恒溫恒濕 乾燥機에서 乾燥된 보리를 搗精實驗 하기 위하여 國內에서 製作한 實驗室用 연삭식 精麥機를 使用하였다.

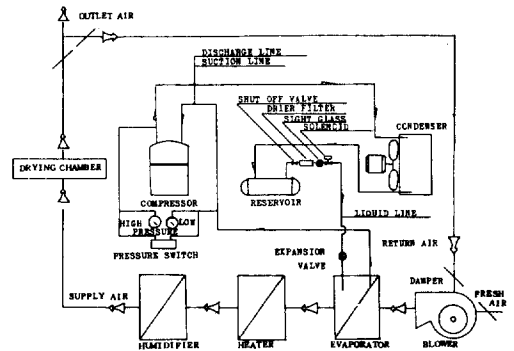


Fig. 2. The block diagram of dryer used for experiment

나. 供試 材料

本 實驗에 使用된 보리는 農材振興院 麥類研究所에서 栽培한 조강品種으로서, 콤바인으로 收穫한 것을 成均館大學校 農科大學 農業機械工學科 農産加工 實驗室에서 정선 및 混合하여 2.5kg씩 비닐봉지로 完全 밀폐포장(含水率 35%, w. b.)하여 냉장고(냉장온도 3℃)에 試料를 보관하였다.

實驗期間은 1주일이었으며 그 기간동안 試料의 質의 變化 및 含水率의 變化는 없는 것으로 調査結果 나타났다.

本實驗에 使用된 供試 材料의 品位는 表1에 表示된 바와 같다.

Table 1. Properties of the barley sample for experiment

Item		Observations	Remark
Variety		Jokang	
Grain size	Length (L)	0.800mm	$\sigma = 0.055$
	Width (W)	0.298mm	$\sigma = 0.018$
	Thickness (T)	0.249mm	$\sigma = 0.042$
	L/T	3.213	
Bulk density (kg/ℓ)		0.647	
Moisture content (w. b.)		14.2%	

다. 測定 裝置

1. 穀物의 含水率

乾燥機內에 投入한 穀物의 含水率 變化를 測定하기 위하여 그림 3과 같이 設計 製作된 Strain-gauge 시스템을 利用하였다. 즉 강철을 材料로 한 ring에 Strain-gauge sensor를 부착하여 Tray內의 穀物의 重量變化를 測定하였다.¹⁸⁾ 이 測定에는 Switching & Balancing box와 SM-60D Strain meter가 利用되었으며 重量變化에 따른 Strain을 測定하여, 이를 바탕으로 穀物의 含水率을 算出하였다.

試料의 重量變化와 Strain과의 測定設定 (Calibration)은 다음과 같은 관계가 있다.

$$W = 0.1454257 \epsilon - 618.548 \quad (r^2 = 0.999857)$$

여기에서, W : 穀物의 무게 (g)

ϵ : Strain

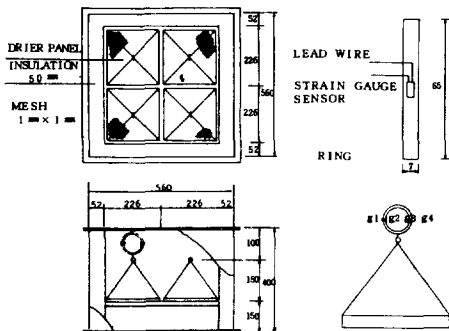


Fig. 3. Schematic drawing of the ring type load cell and dimensions of the drying chamber.

라. 實驗設計 및 方法

보리의 乾燥 및 搗精수율에 影響을 미치는 要因^{12,17)}으로는 收穫時期, 脫穀方法, 乾燥條件 등 여러가지 要因이 考慮될 수 있으나, 本實驗에서는 보리 및 보리쌀의 乾燥特性和 精麥時 보리의 건조온도 및 含水率에 搗精取率에 미치는 影響을 究明하기 위하여 실시하였다. 보리의 乾燥條件은 乾燥溫度를 종자 및 시관용이 41℃인 것을 參考로 하여 40℃, 50℃, 60℃의 3수준으로 하였으며, 보리쌀의 乾燥는 各溫度 수준에서 含水率 24, 21, 18%일 때 보리를 搗精하여 얻은 試料를 乾燥하는 것으로 하였으며, 보리의 搗精 含水率은 24, 21, 18, 15, 12%의 5수준으로 하였다. 그리고 乾燥空氣의 相對溫度는 40%, 送風量은 8.5CMM으로 고정하였다.

그리고 일정한 含水率까지 乾燥된 試料를 乾燥機로부터 꺼낸 후 實驗室內에서 30분동안 비닐종이 위에서 식힌 후 이 試料를 均分機로 混合 및 半分한 다음 150g씩 2반복으로 精麥機에 投入하여 2분동안 搗精하였다. 보리의 경우는 搗精度 즉 分度數가 정해져 있는 것이 아니고 다만 品種에 따라 육안 및 겨의 색깔로써 搗精度를 판단하고¹¹⁾ 있는 實情이어서 本實驗에서는 예비 시험을 통하여 2分程度 搗精하는 것이 本 供試機에서는 알맞는 것으로 판단되어 搗精時間을 2分으로 고정하였다. 또한 生産된 보리쌀의 品位를 調査하기 위하여 2mm표준망체를 使用하여 完全粒과 쇄립을 구분하였으며, 完全粒의 重量을 測定한 후 含水率 24, 21, 18% 수준에서의 試料는 보리쌀의 건조특성을 把握키 위하여 完全粒만을 乾

乾燥機에 넣고 乾燥시켰다.

Ⅲ. 結果 및 考察

가. 보리의 乾燥特性 및 乾燥速度

本 試驗에서 보리의 乾燥實驗은 含水率이 35.0%인 試料를 恒溫恒濕 乾燥機를 利用¹⁵⁾ 하여 薄層乾燥로 實施되었으며 이때 보리의 두께는 3cm 程度이었고 乾燥空氣의 相對濕度는 40%로 고정하였다.

乾燥溫度를 各各 40, 50, 60°C로 하여 보리를 乾燥시켰을 경우에 보리의 乾燥常數 $K(\text{hr}^{-1})$ 값을 求하기 위하여 다음과 같은 乾燥特性 方程式을 Model¹⁶⁾로 利用하였다.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt}$$

여기에서, MR : Moisture ratio

M : Moisture constant (dry basis)

M_e : Equilibrium Moisture content (dry basis)

M_0 : Initial Moisture content (dry basis)

k : Drying constant (hr^{-1})

t : Drying time (hr).

이 Model에서 利用된 보리의 평균함수율은 다음과 과 같은 Chung Equation을 利用하였다. ¹⁶⁾

$$M_e = E - F \cdot \ln[-R \cdot (T+C) \ln(\text{RH})]$$

여기에서, RH : Relative humidity, (decimal)

R : Universal gas constant, (1.987 Cal /g, mole°C)

T : Temperature, (°C)

C : Constant in Chung equation, (91.323°C)

E : Constant in Chung equation, (0.368149)

F : Constant in chung equation, (0.050279)

그림 4는 上記 Model들을 利用하여 各各의 水準에서 乾燥時間에 따른 含水率比를 나타낸 것으로서 乾燥常數 및 統計 處理는 表2와 같다. 表2에서 보는 바와 같이 各 溫度水準別로 보리의 乾燥常數 $K(\text{hr}^{-1})$ 의 값은 40, 50, 60°C에서 各各 0.155, 0.259, 0.548 (hr^{-1})로 나타났다.

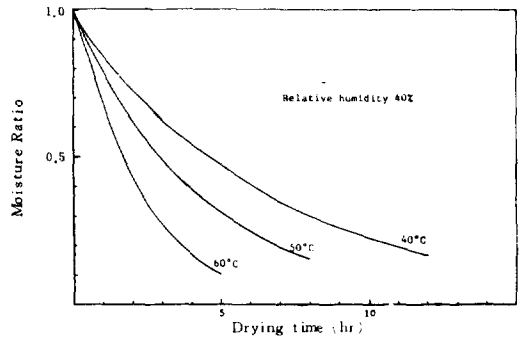


Fig. 4. Moisture ratio versus drying time at the three drying temperature levels.

그리고 그림 5는 乾燥溫도와 乾燥常數와의 關係를 Semi-log로 나타낸 것인데 이것은 다음과 같은 Arrhenius Equation을 Model로 利用하였다. ¹⁷⁾

Table 2. Drying constants for the drying equation model $(M-M_e)/(M_0-M_e) = e^{-kt}$ and ANOVA for the moisture ratio versus drying time at the three drying temperature levels.

Drying temp. (°C)	M_e (d. b., %)	$K(\text{hr}^{-1})$	Source	df	SS	MS	F	R^2
40	9.28	0.155	Due to regression	1	9.76	9.76	2711.1**	0.966
			Residual	11	0.04	0.0036		
			Total(Corrected)	12	9.80			
50	8.91	0.259	Due to regression	1	26.44	26.44	2049.6**	0.993
			Residual	14	0.18	0.1290		
			Total(Corrected)	15	26.62			
60	8.57	0.548	Due to regression	1	14.33	14.33	506.46**	0.988
			Residual	6	0.17	0.0283		
			Total(Corrected)	7	14.50			

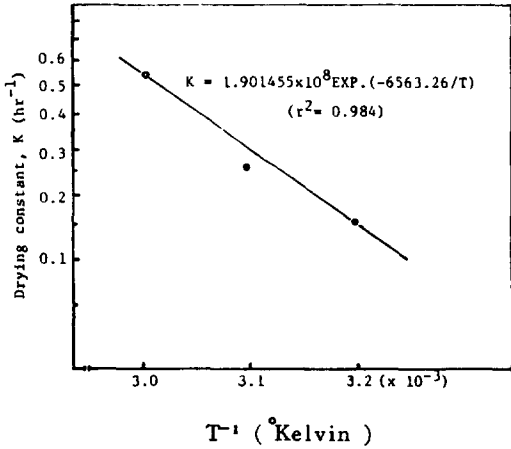


Fig. 5. Drying constant versus drying temperature.

$$K = K_0 e^{-C/T}$$

여기에서, K : Drying Constant, (hr⁻¹)

K₀, C : Constant

T : Absolute temperature. (°K)

한편, 그림 6은 보리의 건조곡선과 각각의 온도수준에서 보리의 습수율이 24, 21, 18%인 시험물을 2분동안搗精한 보리쌀의 건조곡선을 나타낸 것이다.

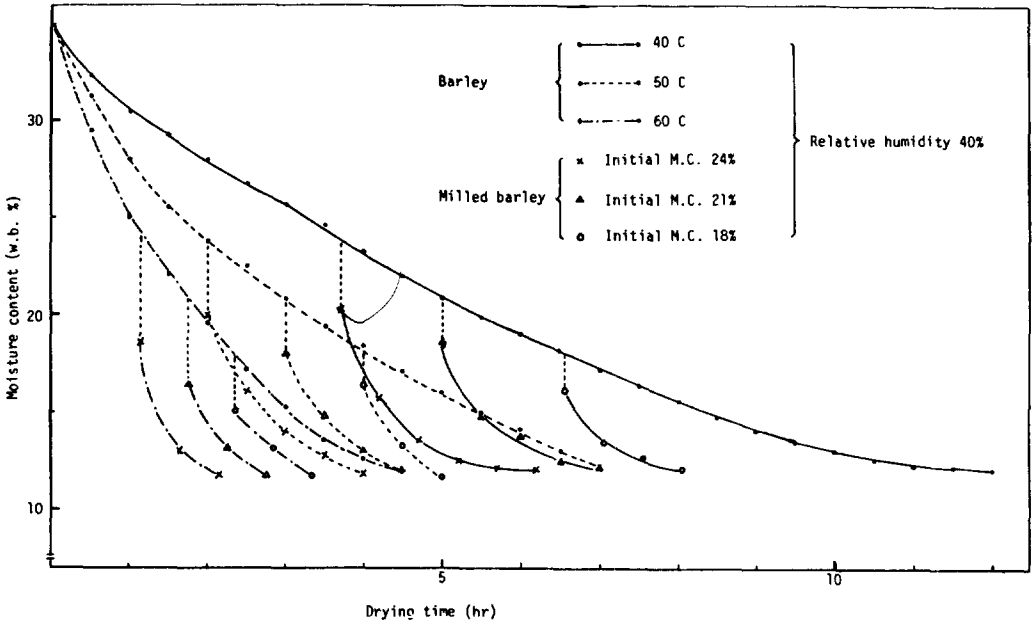


Fig. 6. Moisture content versus drying time at different drying temperature and initial moisture content.

여기에서 보리를搗精할 때 보리의 습수율이恒温恒濕乾燥機內에서 24, 21, 18%에 도달하였을 경우에乾燥機로 부터 試料를 채취하여 實驗室(室內 平均溫度는 22.3°C이었음)에서 30분 동안 비닐종이 위에서 식힌후 2분동안 供試 精麥機에서搗精實驗을完了한 보리쌀을乾燥機에投入하고 습수율이 12%될 때까지乾燥시켰다.投入시의 보리쌀은完全粒만을 사용하였다. 이때 그림에도 나타난 바와같이 보리를 꺼낸 후搗精이完了될 때까지 계속하여 試料의 습수율이 줄어들고 있음이 調査結果 나타났다. 試料의 습수율이 줄어드는 幅으로 볼 때乾燥溫度가 높을수록, 또 습수율이 높은 試料를 꺼낼수록加工中에 水分의 증발이 큰 것으로 나타났다. 그리고 보리쌀의 경우가 보리보다도 훨씬乾燥速度가 빠르다는 것을 그림 6에서 볼 수 있는데, 이것은 보리의 표면에 씌워져 있는 겨층의 影響인 것으로 생각된다.

나. 보리의 搗精收率

乾燥機에서 각각의 온도수준에서 함수율이 24, 21, 18, 15, 12%에 도달한 試料를 채취하여 150g의 試料를 供試機에投入하여 精麥作業이完了된 후에最終적으로生産된 보리쌀의 重量을 求하여 다음 式으

로 搗精收率을 算出했다. 3, 4, 5, 6, 7.

$$\text{搗精收率} = \frac{\text{보리쌀의 重量(kg)}}{\text{投入보리의 重量(kg)}} \times 100(\%)$$

그림 7은 各 處理에 따른 搗精收率을 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 보리의 乾燥溫度에 따른 搗精收率은 乾燥空氣의 溫度 40°C 일때가 모든 含水率 水準에서 높게 나타났으며, 乾燥空氣의 溫度가 높을수록 搗精收率이 낮아지는 것으로 나타났다.

한편, 보리 搗精時의 穀物 含水率은 15% 일때가 모든 乾燥空氣의 溫度水準에서 가장 높은 것으로 나타났는데 이것은 보리를 搗精할 때에는 벼를 搗精할 때와는 달라서 生産된 보리쌀의 搗精度에 대한 판단 기준이 없고 단지 겨의 색깔이나 보리의 색깔로서 搗精度를 판단하는 것으로 알려져 있기¹⁾ 때문에 本 實驗에서는 예비실험을 통하여 搗精時間을 基準으로 하였다. 이로 인하여 보리의 含水率이 12%인 경우에는 만족한 搗精이 이루어지지 않은 것으로 觀察되었으며, 21%, 24%의 보리는 약간의 過搗精이 행해진 것으로 判추되었다. 이러한 結果들을 綜合해 볼 때 보리는 含水率 15% 전후에서 搗精하는 것이 最高의 搗精收率을 얻을 수 있을 것으로 생각되어진다.

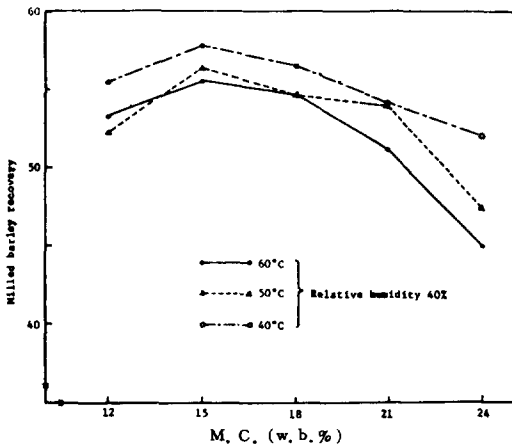


Fig. 7. Effect of grain moisture content and drying temperature on milled barley recovery.

다. 보리의 完全粒 收率

보리의 搗精이 完了된 후 보리쌀 全量을 回收하여 2mm 표준망체로써 쇄립을 고른 후 다음 式으로 完全粒 收率을 算出하였다. 3), 4), 5), 6), 7)

$$\text{完全粒收率} = \frac{\text{完全粒 重量(kg)}}{\text{投入보리 重量(kg)}} \times 100(\%)$$

그림 8은 各 處理別 보리쌀의 品位를 나타낸 것으로서, 보리의 搗精收率과 마찬가지로 보리의 乾燥溫度에 따른 보리쌀의 品位는 溫度水準 40°C 일때가 가장 높게 나타났으며 乾燥空氣의 溫度가 높을수록 보리쌀의 品位는 떨어지는 것으로 나타났다.

한편, 보리 搗精時의 穀物 含水率은 含水率 15% 일 때가 보리의 乾燥溫度水準에 관계없이 完全粒 收率이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이러한 結果는 보리의 搗精收率과 비슷한 경향으로 나타나고 있다. 앞에서 보리의 搗精收率을 分析할 때에도 언급되었지만 未搗精이나 過搗精 된 것을 고려하더라도 穀物 含水率이 12%인 경우와 含水率이 높은 21% 이상에서는 보리를 搗精하지 않는 것이 좋다고 생각된다.

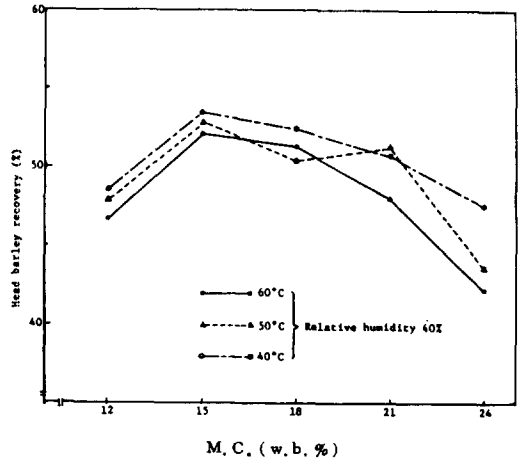


Fig. 8. Effect of grain moisture content and drying temperature on head barley recovery.

IV. 要約 및 結論

本 試驗은 恒溫恒濕 乾燥機에서 乾燥되고 있는 穀物의 含水率을 測定할 수 있는 裝置를 부착하여 보리 및 보리쌀의 乾燥特성을 把握하고, 搗精時의 보리 含水率이 보리의 搗精收率에 미치는 影響을 實驗적으로 究明하기 위하여 實驗 設計된 것이며, 恒溫恒濕 건조 조건은 송풍기, 응축기, 가열기, 증기발생장치, 乾燥室 및 콘트롤 박스 등으로 構成되어 있다. 그리고 搗精實驗에 使用된 精麥機는 國內 搗精機 製作會社에서 만든 實驗室用 精麥機이었으며, 實驗에

使用된 보리는 農村振興廳 麥類研究所에서 栽培한 조강品種으로서 初期 含水率は 35.0%이었다.

實驗의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 相對濕도를 40%로 고정하고 穀物을 通過하는 送風量이 一定한 薄層乾燥의 경우에 各各의 溫度水準(40, 50, 60℃)에 대한 乾燥常數 값은 0.155, 0.259, 0.548 (hr⁻¹)으로 나타났으며, Arrhenius Equation으로 나타낸 乾燥常數는 $K = 1.901455 \times 10^8 e^{(-6563/T)}$ 나타났다.

2. 乾燥溫度가 40℃ 일때에 搗精收率 및 完全粒收率이 가장 높았으며 溫度가 높을수록 收率은 낮아지는 것으로 나타났다.

3. 搗精時 보리의 含水率は 15%에서 搗精收率, 完全粒收率 모두가 가장 높았으며 含水率이 너무 낮은 12%와 너무 높은 21~24%의 보리는 搗精에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. 金南奎, 1969. 米麥搗精研究, 韓國糧穀加工技術研究所.
2. 金三道, 鄭昌柱, 盧祥夏, 1982. 研削·磨擦의 組合式 精白作用이 精白性能에 미치는 影響. 韓國農業機械學會誌, 7(2), 72~85.
3. 盧祥夏, Duff, B., 崔在甲, 1976. 精米機의 能率에 影響을 미치는 機械的 要因 및 作動條件에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌, 1(1), 15~48.
4. 朴濟傑, 鄭昌柱, 盧祥夏, 1982. 搗精收率과 性能向上을 위한 研究(II). -벼의 精白過程에 관한 實驗의 研究-. 韓國農業機械學會誌, 7(1), 62~72.
5. 李成範, 鄭昌柱, 盧祥夏, 1983 噴風 研削式 精米機의 精白性能에 관한 實驗의 研究. 韓國農業機械學會誌, 8(1), 17~29.
6. 鄭昌柱 等, 1980, 벼 搗精性能에 影響을 주는 作動要因, 韓國農業機械學會誌, 5(2), 1~14.
7. 鄭昌柱, 盧祥夏, 金三道, 1982. 精米機의 性能에 影響을 주는 精白室 스크린 設計에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌, 7(2), 57~71.
8. Akira Hosokawa and Kuniji Motohashi, 1970. Drying Characteristics of a Single Grain of Rough rice. Journal of the SAMJ. 33(1), 53-59.
9. Akira Hosokawa and Kuniji-Motohashi, 1975. Constant Drying rate of a Single Paddy Grain. Journal of the SAMJ. 37(3), 326-330.
10. Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and W. Hall., 1974. Drying Cereal Grains, AVI Publishing Co.
11. Kunzu O.R. and C.W. Hall. 1967. Moisture Adsorption Characteristics of Brown Rice. Trans. of the ASAE. 10(4), 448-450, 453.
12. Matthews, J., J.I. Wadsworth, and J.J. Spadaro. 1981. Rough-Rice Breakage in Relation to Kernal Thickness for Hand-and Combine-Harvested Rice. Trans. of the ASAE, 255-258.
13. Morey R.V., R.J. Gustafson and H.A. Cloud, 1976. Energy Requirements for High-Low Temperature Drying. Trans. of the ASAE, Paper No. 76-3522.
14. Nishita K.D. and M.M. Bean. 1982. Grinding Methods: Their Impact on Rice Flour Properties. Cereal chem 59(1), 46-49.
15. Roberts D.E. and D.B. Brooker. 1972. Grain Drying with a Recirculator, Trans. of the ASAE. 181-184.
16. Pfof, H.B., S.G. Maurer, D.S. Chung and G.A. Milliken, 1976. Summarizing and reporting Equilibrium Moisture data for Grains. ASAE Paper No. 76-3520.
17. Sharma A.D., H.D. Tolley and O.R. Kunze, 1979. A Two Compartment Drying Model related to the Fissuring in Rough Rice, ASAE Paper No. 79-3550.
18. Wadsworth J.I., J. Matthews and J.J. Spadaro, 1982. Milling Performance and Quality Characteristics of Starbonnet Variety Rice Fractionated by Rough Rice Kernel Thickness, Cereal Chem. 59(1), 50-54.
19. Willits D.H. and I.J. Ross, 1975. An Automatic Weighing System for Use in Drying Studies, Trans. of the ASAE. 711-713.