

穀物乾燥貯藏法 改善을 爲한 農家用 Grain Bin에 關한 研究

Study on the Small Grain Bin for the Improvement of Grain Drying and Storage

金 聲 來*
Soung Rai Kim

SUMMARY

Experimental work of grain bin was carried out to develop the methods of natural air in-bin drying and storage. The method is considered to be more economical, labour saving, and an effective countermeasure to grain loss.

To examine the possibility of farm use of the grain bin and to analyze the related factors concerned with in-bin grain drying and storage, ambient air conditions (especially the change of air temperature and relative humidity) and grain quality during drying and storage periods were investigated.

A laboratory model bin was constructed to investigate the effect of different forced air conditions on the drying characteristics of rice. In addition, a grain bin with 2.2m diameter and 1.8m height, considered to be the optimum size for the average Korean farm, was constructed and tested to examine the drying and storing characteristics of rice.

The weather data analyzed in this study was the nine-year (from 1964 to 1972) record of air temperature and relative humidity in the Suweon area, and the thirty-year (from 1931 to 1960) record of pentad normal relative humidity and air temperature in the Seoul area. From the results of the weather data analyses, the adequate air delivery hours (which was arbitrary defined as the condition to give less than 75% relative humidity) to dry the rice during October were about nine hours (from approximately 10 A.M. to 7 P.M.) a day, in which the average air temperature was about 15.9°C and average relative humidity was 66%. The occurrence of days having three hours of such conditions was 1, 2, and 1-day within the 1st, 2nd and last 10-day periods for the month of October, respectively. Therefore, it may be considered that the weather condition in October was satisfactory for the forced natural air drying.

The results of the laboratory model bin test were analyzed to obtain the drying curve and drying rate for different drying stages and grain layers in the bin

* 農村振興廳 農工利用研究所

corresponding to various conditions of forced natural air.

A drying experiment with a prototype grain bin showed that an approximate 5 percent grain moisture gradient through a 1.6 meter grain deposit was observed after 80 hours of intermittent drying, giving an over dried zone in the lower grain layers and an extremely high grain moisture zone in the upper layers. This indicates that an effective measure should be taken to reduce this high moisture gradient.

In order to investigate the drying characteristics of bulk grain in a layer-turning operation a grain bin test was performed. This showed a significant improvement of uniform drying. In this test, approximate 107 hours were required to dry a depth of 1.6 meter of grain from an initial moisture content of 22.2 percent to a moisture content of 16.7 percent using an air delivery rate of 2.8 cubic meter per a minute per every cubic meter of grain. This resulted in a 2 percent moisture gradient from the top to the bottom of the bin.

During storage period, till the end of June the average temperature of grain was 2~3°C higher than ambient air temperature. But during July when the grain moisture content went up slightly (less than 1 percent), the average temperature of the grain also increased to 3~5°C higher than ambient air temperature. It is therefore recommended that for safe grain storage, grain should not be stored in sheet metal bins after mid May.

From the above results, in-bin rice drying and storage can be used effectively on Korean farms. It is strongly recommended that the use of grain-bin system should be implemented for farm use to improve farm drying and storage of rice.

I. 緒 言

우리 나라 農業은 當面의 至上課題인 食糧의 自給自足を 達成하기 위하여 農業의 生産性を 提高시킬 수 있는 農業技術의 革新이 그 어느 때 보다도 切實히 要求되고 있어, 政府에서는 그 施策의 一環으로 農業의 機械化를 強力히 推進하고 있다. 이에 따라 耕耘에서 收穫까지의 여러가지 農作業이 急進的으로 機械化되고 있는 反面, 收穫以後의 乾燥 및 貯藏過程은 아직도 在來方法을 그대로 踏襲하고 있다. 穀物의 慣行乾燥方法은 作業遂行上 氣象條件의 制約을 받는 極히 原始的인 方法이므로 이 期間中の 日氣不順은 適期適作과 二耗作地帶의 擴大等의 制限要因으로 크게 作用할 뿐만 아니라 貯藏過程中的 莫大한 穀物損失의 根源이 되고 있다. 乾燥가 充分하지 못하거나 貯藏管理의 未備에서 오는 穀物의 損失에 關하여 아직 우리 나라에서 調査分析된 資料는 없으나 東南亞의 主要米穀生産國의 경우 그 損失量이 總生産量의 5~10%에 達한다고 指摘

되고 있으며, (1) 우리 나라에서도 이 分野의 技術水準을 勘案할 때 거의 比等한 損失率을 나타낼 것이라고 보는 것이 妥當할 것이다.

慣行乾燥方法을 改善할 必要性은 最近에 이르러 “統一”벼의 大量 普及으로 더욱 浮刻되기 始作하였다. 即 “統一”벼는 脫粒에 依한 圓場損失이 많기 때문에 適期에 收穫作業을 完了하여야 하며 이때의 水分含量이 20%以上이므로 天日乾燥로서는 大量의 벼를 乾燥하기가 困難하여 熱風乾燥方法이 獎勵되고 있다. 또한 政府는 1972年 秋收期의 日氣不順으로 因한 米穀損失을 減少시키기 위하여 500餘台의 熱風乾燥機를 普及하였으며 經濟開發 3次 5個年計劃 期間에는 相當數의 乾燥機를 普及하므로써 收穫作業以後의 穀物取扱操作作業의 効率化를 圖謀하려고 計劃하고 있다. (2) 貯藏面에 있어서도 政府糧穀의 貯藏損失을 減少시키기 위하여 甲類倉庫로 施設의 改善을 獎勵中이며 特히 1972년에는 收買한 夏穀을 農家에서 貯藏케 하므로써 損失防止에도 勞力을 傾注하고 있다.

그러나 現在 農村에 普及되고 있는 平面式과 循環式

의 熱風乾燥機는 價格이 高價인 關係로 經濟的인 利用을 圖謀하기에는 現在의 農村經濟形便으로 아직 이른 實情이다.

西歐 各國에 있어서는 밀과 옥수수등 中心으로 한 穀物の 乾燥貯藏에 對한 研究가 일찍부터 이루어져서 乾燥方法으로는 大部分이 熱風乾燥를 利用하고 있으며 貯藏方法으로는 Grain Bin으로부터 大型 穀物乾燥貯藏施設인 Rice Center나 Country Elevator의 形態로 發達되고 있으나 이것 亦是 莫大한 施設投資와 高價의 利用費用 때문에 우리나라 實情으로는 適應性이 적다.

慣行乾燥貯藏方法을 改善하여 內在하는 여러 問題點을 解決하기 爲하여서는 무엇보다도 乾燥過程의 作業費用이 低廉할 뿐 아니라 農村에서의 技術的 適應性을 考慮에 넣어야 할 것이므로 이에 대한 接近方法의 하나로서 常溫通風으로 乾燥할 수 있고 Bulk狀態로 貯藏을 兼할 수 있는 Grain Bin의 適用可能性을 생각할 수 있다. 이 Grain Bin은 이미 外國에서 널리 利用되고 있으며 一般的으로 熱風裝置나 燃料를 利用하지 않으므로서 既存 各種乾燥機보다 購入價格이나 利用費用이 極히 低廉하고 貯藏管理를 合理化시키므로서 在來式方法에서의 莫大한 穀物損失量을 減少시킬 수 있는 長點을 所持하고 있다. 그러나 이 Grain Bin을 合理的으로 利用하기 爲해서는 米·麥의 收穫乾燥 및 貯藏期間의 氣象條件은 勿論, 穀類의 常溫乾燥 및 貯藏에 關聯된 特性이 究明되어야 하지만 우리나라에서는 아직도 이 方面의 研究가 없었다.

따라서 本 研究의 目的은 農家用 小型 Grain Bin의 適應性을 判斷하고 그 性能을 究明함과 同時에 穀類를 合理的으로 乾燥·貯藏시키는 데 必要한 基本要因을 分析하는데 있었으며 그 具體的인 內容은 다음과 같다.

1. 常溫通風乾燥時 國內 氣象條件에 따른 穀物の Grain Bin內에서의 乾燥特性 究明
2. 가을철 날씨에 있어서의 乾燥可能時間과 乾燥潛在力의 分析
3. Grain Bin에 依한 穀物貯藏現象의 實驗分析
4. Grain Bin內 穀物貯藏時 安全貯藏의 臨界期間 決定
5. Grain Bin의 乾燥性能判斷
6. Grain Bin에 依한 穀物乾燥方法 摸索

끝으로 本 研究를 遂行함에 있어 指導教授 鄭昌柱 博士의 直接的인 指導鞭達에 感謝하오며 또한 李哲周, 李殷雄, 高在君, 金載旭 博士 및 崔在甲 教授와 農工利用研究所長 韓成金 博士의 繼續的인 指導鞭達에 深甚한 感謝를 드립니다. 아울러 本 研究遂行을 爲하여 勞

苦를 기울려 준 農工利用研究所 農業機械研究擔當官室 職員一同에게 깊은 謝意를 表하는 바 입니다.

II. 文獻 概要

1. 穀物の 乾燥

農産物の 乾燥方法은 天日乾燥와 人工乾燥로 大別할 수 있으며 人工乾燥方法은 布袋乾燥, 平面乾燥, 立型乾燥, 穀物循環型乾燥, 大量乾燥貯藏施設 等으로 分類할 수 있다.

天日乾燥는 가장 널리 利用되는 在來式 方法으로서 太陽熱과 空氣의 낮은 相對濕度를 利用하는 乾燥方法인데 大氣條件의 많은 影響을 받으며 乾燥速度는 아주 낮다. 이 方法은 勞動力이 많이 所要되나 乾燥費用이 거의 들지 않는 利點이 있으며 收穫初期의 過多한 水分을 減少시켜 人工乾燥方法의 能率을 向上시키는데 利用될 수 있다고 하겠다. 이러한 天日乾燥의 乾燥速度 및 所要勞動에 關한 體係的인 研究文獻은 찾아 볼 수 없었다.

布袋乾燥(Sack drying)는 구멍이 뚫린 板위에 穀物 布袋를 쌓아 놓은 室內로 加熱空氣를 보내는 方法이다. 이것은 各 布袋속의 過多한 空氣抵抗 때문에 熱效率이 낮은 短點이 있으나 여러가지 다른 條件의 穀物이 混合될 念慮가 없다는 長點이 있으며 周圍溫度 14°C以上과 12m/min의 空氣速度를 維持할 때의 時間當 乾燥速度는 1%程度이다.⁽¹⁾

平面乾燥(Flat-bed drying or in-small-bin drying)는 Bulk狀態의 穀物을 多孔板이나 空氣導管(Air Duct) 위에 쌓아 常溫 또는 加熱空氣를 보내는 方法인데 穀物의 水分含量을 18%以下로 効果的으로 乾燥시키기 爲해서는 3m³/min/m²의 空氣量이 必要하다. 穀物堆積層의 높이의 上限界는 2m程度이며, 現在 日本에서 普及되고 있는 것은 대개 1~3% 容量規模인데 乾燥速度는 0.5%/hr程度이다.⁽²⁾

立型乾燥機(Upright dryer or radial flow dryer)는 圓筒 內部에 작은 多孔板 圓筒을 세워두고 그 사이에 穀物을 쌓아 加熱空氣를 橫方向으로 보내서 乾燥하는 方法이다.

穀物循環型乾燥機(Grain circulation dryer)는 穀物을 循環시키면서 加熱空氣를 보내는 方法으로 普通 1~6% 規模의 것이 普及되어 있다. 穀物全量이 1回 循環하는 데는 보통 2.5時間이 所要되며 이 동안에 1~2%의 水分이 減少되는데 이 乾燥法은 Tempering이나 Cooling이 다르며 大端히 效果的인 것으로 알려

겨 있다.⁽¹⁾

大量乾燥貯藏施設(Storage drying of large units)은 政府機關이나 企業體에서 大規模로 穀物을 乾燥貯藏하는 方法으로서 그 規模는 10~100%이며, 空氣室에 多孔板의 밑바닥을 깔고 穀物을 積載하여 送風機로 加熱空氣를 送風한다.⁽¹⁾

大部分의 乾燥裝置는 위의 여러 原理中 하나 또는 2가지 以上을 組合하여 乾燥를 實施하는 것이다.

穀物乾燥時의 水分除去는 穀物表面의 水分蒸發과 內部水分의 擴散에 依한 것으로 蒸氣壓을 基礎로 하여 說明하고 있다. Barre⁽²⁾와 Fenton⁽³⁾에 依하면 物體의 水分除去力은 物體内部의 水蒸氣壓과 周圍空氣의 水蒸氣壓의 差異에 따르므로 人工乾燥에 있어서 被乾燥物에 熱을 加하면 被乾燥物의 蒸氣壓이 增加되고 加熱空氣自體의 相對濕度는 낮아진다고 하였다. 穀物과 같은 吸濕性物質의 乾燥나 貯藏에 있어서는 外氣條件과의 平衡含水率이 重要한 意味를 갖게 되는데 Henderson⁽⁴⁾은 大氣의 水蒸氣壓 P 와 飽和水蒸氣壓 P_s 의 比인 P/P_s 와 物體의 水分含量과의 關係를 Gibbs의 吸着理論에 依하여 說明하였으며 平衡含水率의 關係式을 다음과 같이 誘導했다.

$$1 - \frac{P}{P_s} = e^{-KTM^n} \dots\dots\dots(1)$$

P/P_s : 相對濕度

M : 平衡含水率(%; Dry Basis)

K : 物質에 따른 常數

n : " " "

T : 絕對溫度

또한 (1)式의 P/P_s 는 相對濕度 rh 를 表示하므로 다음과 같은 式으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\ln(1-rh)}{T} = -KM^n \dots\dots\dots(2)$$

(2)式에 依하면 平衡含水率 M 은 大氣의 常溫範圍內에서는 溫度보다는 相對濕度の 影響을 많이 받음을 알 수 있다. 여기서 " K "와 " n "값은 여러 穀類의 平衡含水率曲線을 規定하는 常數로서 實驗의 結果로 決定되며 벼의 境遇 $K=2.32 \times 10^{-6}$ 이고 $n=2.0$ 이다.⁽⁵⁾

그림 II-1은 벼와 밀의 溫度와 相對濕度에 따른 平衡含水率을 나타낸 것인데 같은 相對濕度에서 溫度가 增加할 수록 平衡含水率은 減少하고 있음을 나타낸다.⁽¹⁾⁽⁶⁾

乾燥過程은 恒率乾燥期間과 減率乾燥期間으로 大別되는데⁽⁷⁾ 恒率乾燥期間中의 乾燥는 穀物表面에서 發生하며 自由水面에서의 水分蒸發과 類似的인 現象으로 나타낸다. C.W. Hall⁽⁸⁾과 S.M. Henderson 및 R.L.

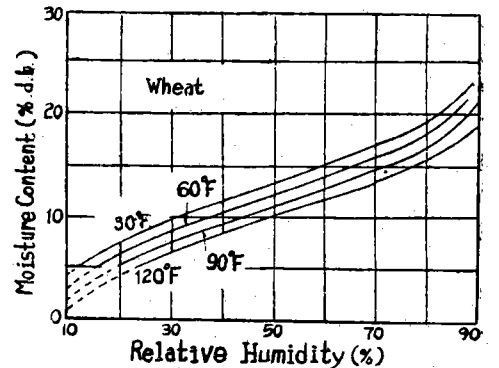
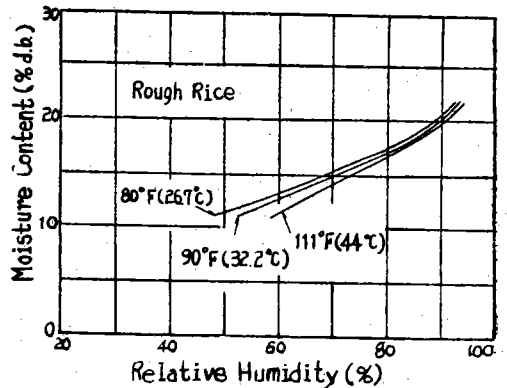
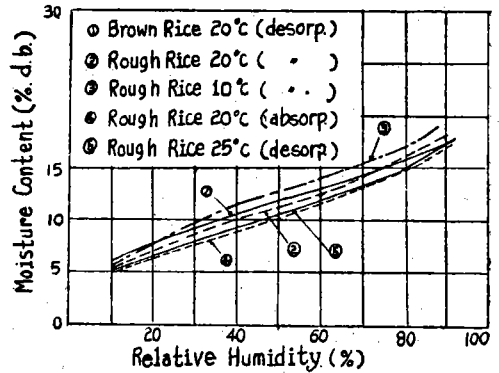


Fig. II-1 Equilibrium moisture content

Perry⁽⁹⁾에 依하면 恒率乾燥는 穀物表面에서 自由水分이 사라질 때까지 계속되며 臨界含水率에 到達한 後에는 減率乾燥가 始作된다고 하였다. 이러한 恒率乾燥速度는 穀物自體의 條件에는 약간의 影響만을 받게 되며 주로 周圍條件에 따라 決定되는데 특히 穀物의 表面과 空氣사이의 溫度差의 크기, 質量變換係數(Coefficient of mass transfer), 乾燥空氣의 速度等의 要因에 支配된다고 하였다.⁽¹⁰⁾ 이러한 恒率乾燥는 乾燥의 初期現象의 하나이나 減率乾燥가 始作되기 前에 除去되는 水

分量이 적고 期間도 짧기 때문에 穀物乾燥에서는 크게 問題되고 있지 않다. 減率乾燥速度는 앞에서 說明한 平衡含水率과 初期水分含量과의 差에 比例한다는 事實에 依하여 다음과 같은 基本的인 減率乾燥速度에 關한 式⁽⁴⁾이 알려져 있다.

$$\frac{dM}{d\theta} = -K(M - Me) \dots\dots\dots(4)$$

上記(4)式을 積分하면

$$\frac{M - Me}{Mo - Me} = Ae^{-K\theta} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 Mo : 初期含水率

Me : 平衡 "

M : θ 時間後의 含水率

K : 乾燥常數

A : 定數

이러한 乾燥基本理論은 常溫通風에 의한 穀物乾燥에도 適用될 수 있으나 乾燥曲線이 극히 不安한 常溫通風乾燥의 特殊性에 비추어 通風空氣의 乾燥時間을 乾燥能力과 關聯시키려고 企圖하였다.⁽⁵⁾ 即 穀物層을 通過하는 空氣가 穀物層을 通過한 後에 飽和된다고 假定하여 通風空氣의 乾燥力을 濕球溫度 降下量($Td - Tw$)로 表示하였던 것이다. 그러나 實際에 있어 空氣는 乾燥過程에서 穀物과의 平衡狀態에 依해 Tw 까지 到達하지 못하므로 通風乾燥時 乾燥所要時間을 다음과 같이 理論式으로 發表하였다.⁽⁶⁾

$$T = \frac{Ww - 1070}{0.24(Td - Tx) \times Wa} \dots\dots\dots(6)$$

T : 總乾燥時間(hr)

Ww : 單位體積當 除去되는 水分重量(lb)

1070 : 除去水分的 蒸發潛熱(b.t.u./lb)

0.24 : 空氣比熱

Td : 平均乾球溫度

Tx : 平衡溫度

Wa : 穀物單位 부피, 時間當 지는 空氣重量

Tw : 平均濕球溫度

通風乾燥에 있어서 送風量을 適正하게 適用하는 것은 熱效率을 極大化하고 稼動費用을 減少시키는데 대단히 重要한데 이 送風量은 穀物層을 通過하는 空氣의 抵抗에 依하여 규제되며 그 關係를 다음의 基本式으로 나타내고 있다.⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾

$$Q = KP^c \dots\dots\dots(7)$$

Q : 空氣量

P : 壓力降下

K : 穀物 깊이의 函數

c : 曲線의 기울기

이러한 送風抵抗을 여러가지 穀物에 對하여 實驗한

結果에 의하면 穀物에 섞인 異物質의 粒子가 穀物보다 작다면 送風抵抗은 더 크나 式(7)에서의 C 값이 穀物種類別로는 큰 差異가 없어 對數方眼紙(log-log grid paper)上에서는 大體로 平行直線으로 나타나게 되며 이러한 送風抵抗은 穀物의 水分含量이 높을 수록 적어진다 고 하였다.⁽¹⁰⁾

이러한 常溫通風乾燥의 實際 實驗結果를 보면 石橋貞人⁽¹¹⁾은 初期水分含量 21.9%의 벼 200kg을 溫度 15~25°C, R.H. 55~85%의 空氣條件에서 每 100kg當 1.23m³/min의 比率로 送風하였을 때 送風時間 60時間後 下層은 14.5%, 中層은 15%, 上層은 16.7%의 乾燥結果를 얻었다. G.H. Foster⁽¹²⁾의 밀에 對한 風量變化와 送風方法變化 實驗結果에 依하면 連續送風이 間斷送風에 비해 不利하며 25%부터 15%까지 乾燥하는 每 0.4m³/min/100kg의 送風比率이 適한 것으로 되어 있다. 美國의 穀物乾燥機製作協會에서는 Bin內 穀物堆積層의 두께에 따라 相異한 所要風量을 추천하고 있는데 즉, 두께가 4, 6, 8, 10피트일 때 所要되는 最小送風量을 每 Bushel當 各 4, 3, 2, 1ft³/min로 추천하였다.⁽¹³⁾ McNeal⁽¹⁴⁾의 Bin에 依한 米穀의 常溫通風乾燥 實驗結果에 依하면 벼의 乾燥速度에 가장 重要한 要因은 氣象條件이며 持히 水分含量이 높은 벼를 乾燥할 境遇, 氣象條件이 不良할 때는 Bin內部의 表面에 凝縮水가 形成되거나 部分的으로 熱이 發生하므로 이를 防止하기 위하여 Bin內의 벼를 1回程度 反轉하여야 한다고 報告하였다. Sorenson⁽¹⁵⁾에 依하면 大氣의 相對濕度가 높은 地域에서는 常溫通風乾燥時에 電氣 및 Gas Heater와 같은 裝置로 補助熱을 보내어 常溫보다 5~8°C程度로 溫度를 上昇시키는 것이 좋은 結果를 나타낸다고 하였고, 熱風乾燥는 穀物層 두께가 얇을 때에 適合하며 常溫 및 補助熱乾燥에는 穀物層 두께가 8~10ft인 것이 適合한데 이 方法은 乾燥速度가 느리나 貯藏期間이 乾燥時間보다 길 때는 乾燥時間이 重要한 要因이 아님을 밝히고 있다. Grift⁽¹⁶⁾에 依하면 이러한 常溫通風乾燥는 벼에 있어서는 大氣條件의 制限을 많이 받으나, 乾燥狀態는 乾燥自體效果보다도 調理(Cooking)效果에 依하여 決定된다고 報告하고 있다. 常溫通風乾燥에 있어서 大氣條件이 가장 重要한 要因의 하나이므로 이에 대한 分析方法은 大端히 重要한데 Zachariah와 Lipper⁽¹⁷⁾는 氣象資料를 利用하여 各單位(10%單位) 相對濕度別로 그 發生頻度를 調査하여 大氣가 가지고 있는 乾燥潛在力을 推定하는 分析方法을 擇하였으며 1日 適正乾燥時間을 推定하는데 있어서는 1日 時間別 相對濕度의 平均值로 相對濕度分析 Graph를 作成하여 相對濕度 70%以下가 始作되는 時刻부터

終了될 때까지의 시간을 1日 適正乾燥時間으로 判斷하는 分析方法을 擇하였다. 이러한 適正乾燥時間을 決定하는데 있어서 S. Morrison⁽⁴⁾은 實際로 벼의 常溫通風乾燥實驗에서 乾燥始作時刻과 그 終了時刻을 相對濕度 75%를 基準으로 하여 實驗하기도 하였다.

벼의 乾燥에 있어서 問題되고 있는 것은 胴割의 發生과 發芽率의 低下 및 食味の 變化이다. 穀物の 胴割은 乾燥時의 加熱, 蒸發 혹은 急速한 乾燥 및 吸濕에 依한 穀物內部的 水分分布의 勾配差異때문인 것으로 알려져 있다. 一般적으로 벼의 龜裂은 갑작스럽게 일어난다. 伴敏三⁽⁵⁾은 벼의 水分含量, 粒子的 大小, 貯藏日數, 收穫時期 등이 胴割에 미치는 影響에 對하여 研究한 바 있는데 胴割은 水分含量과 收穫時期, 貯藏日數 등의 影響도 있으나, 胴割에 가장 큰 影響을 미치는 要因은 乾燥速度와 乾燥溫度다 하였다. 즉 初期水分含量과 大氣條件(溫度 36°C~45°C, 絕對濕度 0.007 kg/kg 및 0.024kg/kg)에 따른 胴割發生率은 絕對濕度 0.024kg/kg에서는 胴割率이 周圍溫度에 比例하고 初期水分含量에는 水分含量 20%以上에서는 大體로 無關하며 45°C의 境遇 10%, 43°C의 境遇 5%, 41°C의 境遇 1%의 胴割率을 보여 周圍氣溫에 敏感한 反應을 보이고 있고, 絕對濕度 0.007kg/kg의 境遇에는 胴割의 發生이 周圍氣溫에 比例하고 初期水分含量에도 역시 大體로 比例하고 있음을 報告하였다. 乾燥速度에 따른 胴割發生은 空氣의 相對濕度에는 大體로 無關하였으나 乾燥速度가 增加할 수록 胴割率도 增加하였으며 特히 同一乾燥速度에 있어서 初期水分含量이 2%以下인 境遇에 胴割率은 急激히 增加하였다고 한다. 即 乾燥速度 3%/hr의 境遇에 胴割率은 50%程度이고 2%/hr의 境遇는 30%程度이며 1%/hr에 있어서는 거의 0%를 나타내므로써 벼에 있어서는 그 乾燥速度를 大體로 2%/hr未滿을 維持하여야 安全乾燥가 可能하다고 報告하였다.

穀物の 發芽에 가장 큰 影響을 미치는 因子는 乾燥速度이며 一般적으로 穀物の 發芽率은 溫度가 높을 수록 減少한다고 하였다.⁽⁶⁾ 그러나 벼에 있어서는 乾燥速度가 벼의 胴割에 미치는 影響이 앞에서 說明한 바와 같으므로 벼의 乾燥速度 上限界는 發芽率보다는 胴割率의 許容範圍內에서 決定하는 것이 妥當하다고 指摘하였다.⁽⁶⁾

쌀 食味에 影響을 미치는 것은 PH, 水溶性乾物量, 還元糖量과 酵素의 活性度 및 呼吸程度인데 食味爲主로 乾燥를 考慮한다면 낮은 乾燥溫度가 有利한 것으로 나타나고 있다.⁽⁷⁾

2. 穀物の 貯藏

穀物の 貯藏方法을 貯藏된 穀物の 狀態에 따라서 大別하면 Sack貯藏과 Bulk貯藏으로 나눌 수 있다.

Sack貯藏은 小規模貯藏에 處理過程을 迅速單純하게 하기 위하여 使用되어진다. Sack의 材料로서는 紙, 쥬트, 종이, 플라스틱 필름(Plastic-film)이 많이 使用되고 있다. 紙는 大氣濕度에 影響을 받으나 가마나의 두께에 의하여 直接的으로 水分이 傳達되지는 않는다. 종이를 材料로 할 때는 銀箔이나 폴리에틸렌膜을 입혀서 使用하는데 이 境遇는 가마나보다 곰팡이 發生에 對해 훨씬 有利하다는 것이 알려져 있다. Sack貯藏의 短點은 貯藏中の Sack數의 調査, 害虫의 侵入與否의 調査의 困難과 使用空間의 浪費, 崩壞의 憂慮등이 있다.⁽⁸⁾ Bulk貯藏은 穀物이 自然狀態로 쌓여있으므로 昇降機나 콘베이어와 같은 輸送裝置에 依하여 貯藏場所로 부터 쉽게 移動할 수 있는 利點을 가지고 있다.

Bulk貯藏形態를 區分한다면 平面型(Flat storage)과 垂直型(Vertical storage) 두 種類로 나눌 수 있다. 前者의 代表的인 것은 貯藏庫(Ware house)나 小形 Bin形態의 것이고 後者は 穀物 Silo에 垂直으로 貯藏하는 Country Elevator나 Rice Center가 代表的이다. 이 兩者는 穀溫과 水分의 調節을 爲해서 大型의 通風裝置, 乾燥裝置가 반드시 必要하다.⁽⁹⁾

W.W. Machie⁽¹⁰⁾는 美國의 例를 들어서 "Bulk에 의한 處理過程은 Sack에 依한 것보다, 모든 費用損失을 考慮해도 acre當 \$ 20~30 利益이다" 라고 指摘하므로써 Bulk狀態의 貯藏過程의 優位性을 強調하였다.

"穀物の 貯藏過程中에는 穀物이 種子로서 呼吸, 養分の 攝取, 生長을 거쳐 死滅하는 過程을 거치는 살아 있는 有機體이므로 他 生命體에 必要한 것과 똑 같은 管理가 必要하다" 하였으며 "安全하게 貯藏하기 爲해서는 穀物이 살아 있으면서 非活動性이 되는 環境을 提供해야 된다"고 하였다.⁽¹¹⁾ 貯藏中の 벼는 溫度, 濕度, 水分含量에 따라서 物理, 化學, 生物學的 變化를 일으킨다.

貯藏中の 벼는 呼吸作用에 依하여 養養分の 消耗, 炭酸 gas의 發生, 重量의 減少에 依해 新鮮度를 잃어 品質이 低下된다⁽¹²⁾고 하였다. 그러므로 呼吸作用을 抑制하기 위해서는 低溫 및 低水分含量 狀態를 維持시켜야 한다고 하였다.⁽¹³⁾ M. Abe⁽¹⁴⁾에 依하면 穀物溫度 10°C의 境遇 玄米의 呼吸量은 水分含量19%에서 約 10 CO² cc/200g/24hrs.가 되며 17%에서는 約 1.5 CO² cc/200g/24hrs.인데 반하여, 20°C의 穀物은 水分含量 19%에서 約 40 CO² cc/200g/24hrs.이고, 17%에

서는 約 5 CO₂ cc/200g/24hrs. 程度로서 穀物溫度는 常溫의 範圍에서도 穀物の 呼吸程度에 큰 影響을 주고 穀物の 水分含量 또한 그 呼吸程度에 큰 影響을 준다 고 指摘하였다.

H. Naito⁽¹⁾에 依하면 貯藏된 벼의 發芽率은 高溫下에서 急激히 低下한다고 하였다. 즉 15°C 程度에서 貯藏된 玄米의 發芽率은 貯藏 1年後에도 初期發芽率인 95% 程度를 維持하고 貯藏 2年後에도 60% 程度는 維持하나 常溫下에서 貯藏된 것은 貯藏 1年後에 거의 10% 程度밖에 發芽하지 못하며 貯藏 16個月後에는 거의 發芽하지 못한다고 하였다. 또 T. Tanni⁽²⁾에 依하면 벼는 水分含量이 높을 때에도 發芽率의 低下程度가 심하였다. 그에 依하면 25°C에서 貯藏된 벼중 水分含量 11.2%의 벼는 貯藏期間 200日後에도 90% 以上の 發芽率을 維持하고 있으나, 水分含量 16.8%의 벼는 200日後, 거의 10% 未滿의 發芽率을 나타낸다고 하였으며, 32°C에서 貯藏된 벼중 水分含量 11.3%의 벼는 200日後, 約 80%의 發芽率을 나타내나 16.5%의 벼는 120日後에 僅히 發芽力을 거의 잃는다고 하였다.

그 밖에 穀物の 貯藏時 問題가 되는 것은 微生物이나 害虫의 繁殖인데 微生物의 發生種類로서는 곰팡이類가 大部分을 차지하며 곰팡이는 6月 中旬부터 發生하기 始作하여 相對濕度 85%, 大氣溫 16°C 以下에서는 潛伏한다고 하였다.⁽³⁾ 害虫은 甲虫類에 屬하는 바구미나 나방이類 등 여러 種類의 것이 發生하는데 害虫에 對한 安全貯藏의 範圍는 穀物の 水分含量에 大體로 無關하게, 15°C 以下程度이며, 곰팡이類의 繁殖에 對한 安全貯藏範圍는 水分含量 20%에 있어서 10°C 程度이고, 水分含量 15%에 있어서는 17°C 內外이었다.⁽⁴⁾ 이러한 安全貯藏의 標準이 되는 것은 遊離脂肪酸度, 냄새, 變色, 곰팡이發生 등인데, 大原農業研究所⁽⁵⁾ 實驗結果에 依하면, 水分含量 15%의 쌀을 0~15°C 內에서 貯藏할 때 3年程度 安全貯藏이 可能하며 15°C에서는 2年, 20°C에서는 1.5年, 25°C에서는 1年程度였다. 또한 水分含量 16%의 쌀은 0~10°C에서 3年, 15°C에서 1.5年, 20°C에서 1年, 25°C에서 0.5年程度이며, 水分含量 18%의 쌀은 0~10°C에서 0.5年, 15~20°C에서는 거의 貯藏이 困難한 것으로 報告되었으며, 25°C 以上の 高溫에서는 30°C의 境遇, 水分含量 12%의 것도 불과 70日 程度이며 40°C에서는 18日 未滿이었다.

實際 Grain Bin 內에 穀物을 貯藏한 實驗結果⁽¹⁾에 따르면, 同一 Bin 內의 穀物에 있어서도 上下層에 따라 空氣의 相對濕度는 上層이 2月부터 4月까지 90% 程度임에 比하여 下層은 72~73% 程度이고 6月에서는 上層이 84% 程度인데, 下層은 74% 程度였다. 穀物溫度는

12월에 있어서 外氣溫이 9°C일 때, 穀物上層은 6°C, 下層은 14°C이며, 2월에 있어서는 外氣溫이 8°C일 때, 穀物上層은 7°C, 下層은 11°C이며, 4월에 있어서는 外氣溫이 17°C일 때 穀物上層은 16°C, 下層은 14°C 程度로서, 上層에 位置하는 穀物이 外部條件의 影響을 敏感하게 받는 反面, 下層穀物은 大體로 둔한 反應을 나타낸다고 하였다.

M.L. Esmay⁽¹⁾에 依하면, 高溫多濕의 季節이 다가오에 따라, Bin 內部的 穀物水分含量은 上層이 점차 增加하여, Bin의 中層 및 下層의 中央部分과의 水分含量 差異가 4~5% 程度되어 上層의 穀物은 물론 中層 및 下層의 穀物도 水分含量의 變化를 나타내므로 穀物貯藏時에 穀物溫度를 낮추기 위해 Aeration을 實施할 경우 送風方法보다는 上層穀物의 含水率도 낮출 수 있는 排氣方法을 擇하는 것이 有利하다고 하였다.

II. 實驗裝置 및 方法

本 研究에서 實施된 實驗은 Grain Bin 模型乾燥裝置에 依한 基礎乾燥實驗 및 實際 Gran Bin에서의 常溫通風乾燥 및 貯藏實驗으로 大別할 수 있으며, 이를 爲하여 供與된 實驗裝置 및 實驗方法은 다음과 같다.

1. 實驗裝置

(1) 模型乾燥實驗

模型實驗에 利用된 重要裝置는 常溫通風에 依하여 乾燥될 穀物을 담은 2個의 圓筒型 Bin, 送風機, 모터, 自記溫濕度計 및 靜壓測定計 等이다.

Bin은 直徑이 30cm, 높이 1.8m의 圓筒으로서 밑바닥에서 20cm 높이에 多孔鐵板을 裝하였으며, 圓筒의 높

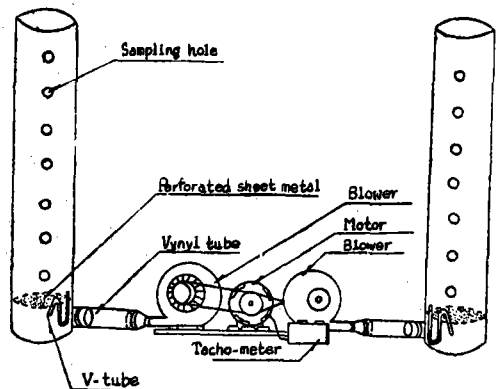


Fig. 1-1. Laboratory testing set-up

이에 따라, 20cm 間隔으로 試料採取孔(直徑 2.5cm)을 設置하였으며 또, 模型 Bin의 試料採取後에는 密閉되도록 製作되었다. 下部의 Air Duct部分에는 靜壓을 測定하기 爲하여 直徑 7mm의 U字管을 設置하였다. 圓筒에 個別的으로 連結된 2個의 送風機는 直線型 날개의 遠心送風機이며 이들은 容量 0.75kw의 三相無段

變速形 브러에 푸라(Pulley)로 連結시켰다. 이 模型 Bin 實驗裝置를 圖示하면 그림(圖-1)과 같다.

(2) Grain Bin實驗

Grain Bin의 크기는 農家單位의 營農規模를 勘案하여 크기를 決定하였으며 그 諸元은 表 圖-1과 같다.

Table 圖-1. Structure of grain bin used for in-bin drying and storage experiments

Material	Type	Dia.	Height	Capacity
0.7mm sheet metal and 37×37×2.5mm angle	Column type	2.2m	1.8m	6.8m ³ (Rough rice:3.75%)

送風方法은 垂直方向 強制送風이며 Air Duct의 System은 Main Duct와 8角形의 二重 Lateral Duct로 되어 있다. 使用된 送風機는 單相 0.75kw의 Motor와 12 inch의 Forward-Blade Centrifugal Fan이 結合된 것으로 3,400rpm일 때 17.3m³/min의 風量을 낼 수 있는 送風機로서 現 農家電燈線의 動力範圍內의 것을 擇하였다.

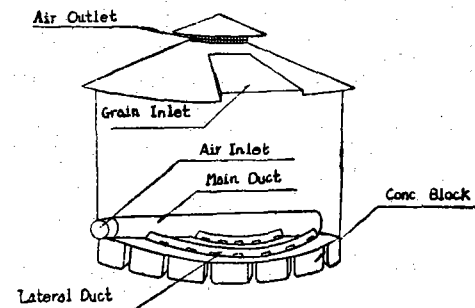


Fig. 圖-2. Sectional view of grain bin

Grain Bin은 地面으로 부터의 太陽輻射熱과 地熱을 防止하고 또 水分의 侵入이나 빛물의 影響을 防止하기 爲하여 높이 20cm의 시멘트 불럭위에 設置하였다.

2. 實驗方法

(1) 模型乾燥實驗

1) 벼를 常溫通風乾燥할 경우, 氣象條件에 따른 벼의

Table 圖-2. Treatments of model test.

Exp. No.	Air temperature	Relative humidity
1	10°C	50%
2	10°C	70%
3	15°C	50%
4	15°C	70%
5	20°C	70%
6	25°C	50%
7	25°C	70%

乾燥特性을 究明하고자 表 圖-2와 같이 通風空氣의 狀態를 人爲的으로 變化시켜 實驗하였다.

2) 實驗設計에 주어진 空氣의 狀態를 實驗期間中 繼續 維持하기 위하여 實驗室(4.5×7.0×3.6m)內에서 Steam Heater와 Propane Gas Heater를 使用하여 溫度와 相對濕度를 調整하였다.

3) 實驗材料로서는 1972年度 收穫한 統一벼(IR 667)를 使用하였으며 試料의 初期水分含量은 23% W.B.로 하였다.

4) 通風時 送風量은 本實驗에서 適用된 乾燥初期의 水分含量과 穀物堆積層높이에 對하여 美國의 乾燥機製作協會가 推薦하고 있는 벼 1m³當 3.6m³/min을 強制送風하였다.

5) 各 模型 Bin內의 穀物水分含量의 測定은 Drying Oven에 依하여 이루어 졌으며 105°C 乾燥法으로 測定하였다.

(2) Grain Bin實驗

1) Grain Bin에 있어서의 乾燥貯藏實驗에 供與된 試料는 10月初旬에 自脫型 Combine으로 收穫된 벼(品種; 統一)이었다.

2) Grain Bin에 있어서의 乾燥實驗은 1973年 10月 14日 부터 1973年 11月 2日 까지 實施하였고 貯藏實驗은 1972年 12月 26日 부터 1973年 3月 4日 까지와 6月 9日 부터 9月 7日 까지 2회에 걸쳐 實施하였다.

3) Grain Bin은 直接 太陽의 直射光線과 大氣溫의 影響을 받을 수 있는 屋外에 設置하였다.

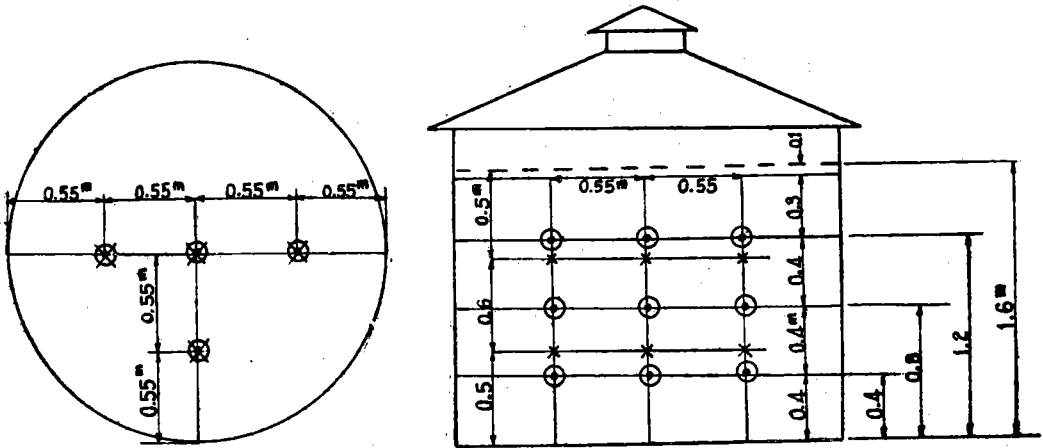
4) 乾燥期間中 送風量은 벼 1m³當 2.8m³/min로 維持되었으며 大體로 1日 平均 8時間씩(09:30~17:30) 每日(雨天時는 除外) 送風하였다.

5) 乾燥過程中 穀物의 水分含量의 測定位置는 그림 圖-3에 表示되었고 各 點에서 米麥水分計에 依하여 3反覆測定하여 平均值로 表示하였다.

6) 乾燥期間中 大氣溫濕度의 測定은 Bin近處에 設置된 自記溫濕度計에 依하였다.

- 7) 乾燥期間中 穀物の 反轉은 Bin內的 穀物을 10cm層으로 區分排出시켜 中間層인 80cm 높이를 中心으로 上下層을 完全히 反轉시켰다.
- 8) 穀物の 貯藏期間中 穀物의 水分含量은 2週 間隔으로

그림 1-3의 地點에서 米麥水分計에 依하여 3회 覆測定하여 平均値로 表示하고 穀物의 溫度는 每日 測定하였다.



Note; O: Drying; Sampling position for moisture content determination.

•: Drying; Thermometer position.

••: Storage; Thermometer position and sampling position for moisture content determination

×: Storage; Grain temperature determination.

Fig. 1-3. Sampling and check point in grain bin test

IV. 乾燥 및 貯藏期間의 氣象分析

1. 乾燥期間의 氣象

農産物의 乾燥는 乾燥하고자 하는 被乾燥物, 收穫時期의 氣象條件에 따라 그 乾燥方法이 決定되며 또한 그에 따라 乾燥所要經費가 크게 左右된다. 即 收穫時期의 氣象條件이 갖는 乾燥潛在力이 크면 常溫通風乾燥方法을 考慮할 수 있을 것이고 乾燥潛在力(drying potential)이 적은 氣象條件下에서는 當然히 熱風乾燥方法을 擇하여야 할 것이다.

이러한 大氣의 乾燥潛在力의 程度는 乾球濕球溫度差와 乾球溫度의 高低程度로서 表現된다. 即 大氣의 濕度와 溫度로서 나타내어 지는데 大氣의 濕度는 絶對濕度 또는 相對濕度로서 나타내나 便宜上 相對濕度를 使用한다.

우리나라의 경우 秋穀收穫期인 가을철 氣象條件은 快晴日이 繼續되는 좋은 氣象條件임은 周知의 事實이므로 常溫通風乾燥의 可能性을 檢討하기 爲하여 그리

한 氣象條件이 갖는 乾燥潛在力이 어느 程度인가를 밝힐 必要가 있다. 그러기 爲해 우리나라의 中部地方인 水原地方의 氣象資料를 擇하였다. 어떤 特定日이나 짧은 特定期間中의 氣象觀測値는 해마다 바뀌어지므로 過去의 記錄値를 通하여 信賴性있게 未來의 氣象發生을 推定하기 爲해서는 長期間의 觀測値를 利用하는 것이 바람직하나 入手可能한 10月中 水原地方의 時間別 濕度觀測値는 1964年度부터 1972年度까지의 9個年值였다. 이러한 觀測値中 1964年度는 1日 8時間間隔의 相對濕度 및 大氣溫의 測定値와 1日 相對濕度와 大氣溫의 最高最低値와 그 發生時刻이었고 1965年度부터 1972年度까지는 1日 6時間間隔의 相對濕度와 大氣溫의 測定値 및 1日 最高最低値와 그 發生時刻이었다.

이러한 大氣溫과 相對濕度는 비록 間斷的으로 測定되었지만 連續性的의 物理的 量이므로 이들을 連續曲線으로 表示하면 日別變化를 明確히 알 수 있을 것이다. 이와 같은 方法으로 表示된 年度別 大氣溫과 相對濕度의 變化狀을 附圖 1에 表示하였다.

이와 같은 日別濕度의 變化를 通하여, 첫째로 大氣溫이 上昇할 때 相對濕度는 낮아져 乾燥潛在力이 增

加하지만 果然 어느 程度의 大氣溫과 相對濕度에서 常溫通風乾燥를 實施해야 하는가 하는 問題와, 둘째로 이러한 常溫通風乾燥가 可能한 日數 또는 不可能한 日數가 一定期間中에 얼마나 發生될 수 있는나 하는 問題를 提起시킬 수 있다.

(1) 乾燥潛在力이 있는 날의 平均溫濕度 分析

첫째 問題에 對한 解答은 于先 하루 동안에 氣溫 및 相對濕도가 變化하는 大氣를 通風했을 때 穀物의 乾燥에 어떤 影響을 주느냐 하는 데서 求할 수 있다. 바꾸어 말하면, 穀物을 乾燥시키기 爲해서는 周圍의 空氣濕度 및 氣溫이 穀物의 平衡含水率에 相應하는 濕度 및 氣溫보다 乾燥條件에 있어 有利해야 한다. 그러나 그 差가 작을 때는 繼續적인 通風으로서도 滿足할 만한 乾燥效果를 얻지 못할 것이다. 따라서 가을철 乾燥時期의 平均大氣溫을 10~15°C로 보고 이 때의 穀物의 平衡含水率이 國內 農產物檢查基準 水分含量인 16%가 되는 相對濕도를 그림 II-1에서 求하여 보면 75~80%임을 알 수 있다. 따라서 日 相對濕度 및 大氣溫의 變化에 對하여 相對濕度 75%以下되는 條件을 滿足하는 始作時間과 終了時間, 그리고 그 사이의 相對濕도와 氣溫의 變化를 規定하를 例를 그림 IV-1에 나타내었다. 그러므로, 이러한 通風空氣의 性狀이 繼續되는 時間동안 常溫通風乾燥機를 稼動하면 所望의 水分含量까지 穀物을 乾燥시킬 수 있다는 結論에 이르지만, 稼動의 臨界大氣狀態를 規定하는 때는 두 獨立的의 變量인 大氣의 溫도와 濕도를 同時에 考慮해야 한다. 그러나 常溫通風乾燥는 乾燥潛在力이 比較的 큰 낮 동안에만 實際로 可能할 것이고 送風機 稼動의 臨界 時刻는 日出時나 日沒時에 나타날 것이므로 一般의 日 時刻에 있어서 溫도와 濕도의 變化는 極히 작다는 것을 溫도와 濕도의 日變化狀態를 잘 觀察하면 알 수 있다. (附圖 I 參照)

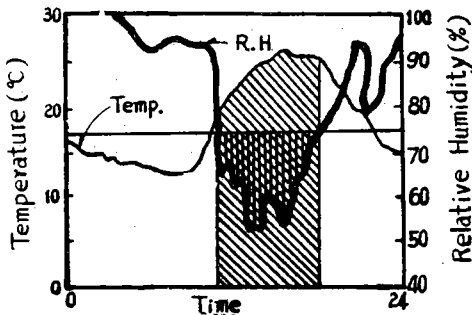


Fig. IV-1. Definition of drying duration in natural-air-ventilation

이 事實은, 常溫通風乾燥機의 稼動臨界時刻의 基準을 溫度 또는 濕度中 어느 하나에 依하더라도 實用上

큰 問題가 안 됨을 나타낸다고 할 것이다. 그러나 10月中의 平均溫度는 上旬에서 下旬으로 갈 수록 低下하며, 또 氣溫의 變化範圍內에서 穀物의 平衡含水率의 變化는 極히 작은 反面(그림 II-1 參照), 豫想되는 常溫大氣의 相對濕도의 變化와 이에 대한 平衡含水率의 反應도가 相對的으로 크다는 點을 考慮하여, 이 分析에서는 相對濕度 하나만을 臨界時刻決定의 基準으로 삼았다. 이 臨界의 相對濕度는 이미 위에서 指摘된 75~80%에서 같은 溫度에서 乾燥潛在力이 높은 75%를 取하였다. 相對濕度만을 常溫通風機의 稼動臨界基準으로 삼은 것은 外國의 例⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾와 一致되며 또 75%를 臨界相對濕도로 잡은 것도 Morrison의 方法⁽⁴²⁾과 合致된다.

이와 같은 實際穀物乾燥에 利用될 空氣의 相對濕도가 75%未滿인 條件을 滿足하는 時間의 始作時刻과 終了時刻는 一定期間사이에 크게 變化할 뿐 아니라 해마다 바꾸어지므로 여기에서는 年度別로 10月中의 5日間隔 始作時刻과 終了時刻의 平均値를 求하여 表 IV-1에 나타내었다. 이 始作時刻과 終了時刻는 Grain Bin 稼動의 乾燥始作時刻과 終了時刻의 한 一般的인 基準値로서 利用될 수 있을 것이며 이 두 時刻의 差는 1日의 乾燥可能時間을 나타낼 것이다. 여기에서 提起될 수 있는 또 한가지 問題는 이러한 乾燥可能時間中의 空氣狀態가 實際乾燥에 活用될 수 있는 乾燥潛在力을 나타내게 될 것이므로 이를 規定하기 爲하여 乾燥可能 繼續時間中의 平均相對濕도와 平均溫度를 求積器를 使用하여 5日 間隔으로 그 範圍內의 面積을 求한 後 이를 繼續時間으로 나누어 求하였다.

Tab. IV-1. Pentad average air temperature and relative humidity in October (in Suweon from 1964 to 1972), which give less than 75% relative humidity.

(a) Analysis for 1st to 5th day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp. (°C)
'64	9:48	19:06	9:12	67.9	20.2
65	10:24	19:12	8:48	65.4	22.0
66	11:00	20:12	9:12	69.9	18.7
67	10:24	20:12	9:48	65.0	15.7
68	10:12	18:30	8:18	65.6	10.1
69	9:18	20:54	11:24	60.9	15.1
70	10:06	18:06	8:00	64.0	18.7
71	9:54	18:24	8:30	66.3	17.4
72	11:06	18:36	7:30	68.3	18.9

(b) Analysis for 6th to 10th day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp (°C)
'64	8:48	18:54	11:06	63.0	15.3
65	8:30	18:54	10:24	66.4	16.1
66	8:54	19:12	10:38	68.1	19.4
67	9:24	19:24	10:00	64.8	17.6
68	11:24	20:06	8:42	69.5	13.9
69	7:54	20:12	12:24	64.8	12.6
70	10:24	18:30	7:54	65.9	11.0
71	9:54	18:24	8:30	66.3	17.4
72	12:12	19:18	7:06	67.0	19.2

(c) Analysis for 11th to 15th day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp (°C)
'64	9:54	19:06	9:12	65.2	20.0
65	8:00	19:45	11:42	69.0	15.3
66	11:00	18:06	7:06	69.4	20.4
67	8:24	18:00	9:36	65.8	14.8
68	9:18	19:42	10:24	65.4	14.6
69	9:18	20:54	11:36	60.9	15.1
70	10:48	17:18	6:24	69.9	20.3
71	9:18	20:06	10:48	65.2	12.4
72	9:24	18:00	8:36	67.6	15.6

(d) Analysis for 16th to 20th day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp (°C)
'64	8:36	19:42	11:06	69.4	14.2
65	11:00	18:24	7:36	67.5	15.5
66	9:42	19:24	9:42	67.2	14.4
67	9:12	20:12	11:00	64.5	14.2
68	10:48	18:12	7:24	68.0	12.2
69	9:00	20:18	11:18	62.4	15.7
70	11:12	19:24	8:12	66.2	11.0
71	9:30	19:06	9:36	65.8	17.7
72	9:18	19:39	10:30	65.3	19.8

(e) Analysis for 21st to 25th day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp (°C)
'64	7:24	20:24	13:00	63.4	10.8
65	10:00	18:00	8:00	67.1	17.5
66	10:18	17:30	7:12	67.4	16.2
67	9:36	21:06	11:30	63.9	16.0
68	9:36	19:30	9:54	66.9	15.2
69	8:36	19:42	11:06	66.0	19.4
70	11:12	18:18	7:12	68.3	17.7
71	10:54	18:24	7:48	66.8	13.1
72	11:00	18:00	7:00	65.0	13.9

(f) Analysis for 26th to 31st day period

Year	Starting time	Ending time	Duration (Hours)	Average relative humidity (%)	Average air temp (°C)
'64	9:12	18:30	9:36	63.4	14.6
65	11:36	9:24	8:18	68.5	16.4
66	10:48	18:48	8:00	65.7	13.5
67	9:54	19:48	9:48	67.9	14.4
68	11:06	19:06	8:00	67.1	11.2
69	9:42	19:24	9:42	68.1	13.7
70	8:42	19:54	11:12	64.9	7.2
71	11:06	19:12	8:06	67.0	14.0
72	8:48	19:00	11:12	66.5	15.0

隔의 平均相對濕度와 平均溫度를 나타내면 表 IV-1과 같다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 相對濕度 75% 未滿을 나타내는 始作時刻, 終了時刻, 繼續時間 또는 그러한 範圍內의 平均相對濕度와 平均溫度는 年度別로 相當한 差異가 있으므로 그 發生의 特性을 究明하기 爲하여 9年間 分析值의 平均과 標準偏差를 求하였으며 그 結果는 表 IV-2와 같다. 即 10月中 中部地方에 있어서 常溫通風乾燥時 乾燥作業의 適正始作時間은 上, 中, 下旬 모두 9時 30分부터 10時 12分 사이로서 그 平均値는 9時 53分이었으며 標準偏差는 1時間程度이었다. 乾燥時間의 適正終了時間은 19時~19時 24分 사이로서 그 平均値는 19時 11分이며 이것의 平均繼續時間은 9時間 23分으로 9時間程度이며 그 標準偏差는 1時間 40分程度였다.

平均相對濕度와 平均溫度的 決定方法은 相對濕度 75% 未滿의 始作時刻과 終了時刻사이의 相對濕度 및 大氣溫 曲線內의 面積을 求積器를 利用하여 求하고 그것들을 이미 求한 乾燥可能繼續時間으로 나누어 얻을 수 있다. 이와 같은 方法으로 求한 年度別 10月中 5日 間

이와 같은 事實을 綜合하여 보면 水原地方에 있어서 Grain Bin에 使用한 送風機는 一般的으로 午前 9~11時부터 午後 6~8時까지 9±1.6時間동안 稼動시킬 수 있다는 結論에 이르게 된다. 또한 이러한 乾燥時間 中の 乾燥機稼動平均大氣溫은 10月 上旬에서 下旬으로

Tab. IV-2. Pentad average value and standard deviation of duration, relative humidity, and air temperature for days which give less than 75% relative humidity, analyzed based on 9 years weather record in Suweon area.

Date	Item		Starting time		Ending time		Duration		Average relative humidity		Average air temp.	
	Time	s	Time	s	Hours	s	Humidity		Temp.			
							%	s	°C	s		
1~5	10:12	0.535	19:12	0.973	9:00	1.146	65.9	2.638	17.4	3.466		
6~10	9:48	1.405	19:18	0.656	9:30	1.697	66.2	1.918	16.9	2.733		
11~15	9:30	0.981	19:00	1.199	9:30	1.872	66.5	2.826	16.5	2.946		
16~20	9:48	0.948	19:24	0.716	9:36	1.530	66.2	2.075	16.1	2.875		
21~25	9:48	1.233	19:00	0.235	9:12	2.238	66.0	1.693	15.5	2.629		
26~31	10:06	1.884	19:12	0.501	9:06	1.301	66.0	1.655	13.0	2.639		
平均	9:53	1.024	19:11	0.880	9:23	1.709	66.1	2.118	15.9	3.881		

감에 따라 17.4°C에서 13°C까지 계속 낮아지고 있으나 平均相對濕度는 大體로 66%程度로서 큰變化가 없다. 또한, 10月中 送風機稼動時間內의 平均値는 大氣溫이 15.9°C, 그 標準偏差는 約 4°C이며 相對濕度는 66.2%, 그 標準偏差가 約 2%였다. 이러한 15.9±4°C의 平均大氣溫과 66.2±2%의 相對濕度는 벼를 14.2%(w.b.)까지 乾燥시킬 수 있는 極히 높은 乾燥潛在力을 가지고 있으므로, 이를 利用한 常溫通風乾燥의 可能性을 여기에서 찾아 볼 수 있는 것이다.

(2) 乾燥可能日의 發生頻度分析

乾燥潛在力이 있는 날의 平均溫濕度는 이미 分析하였으나 이러한 날이 繼續的으로 發生할 것이라고 斷定할 수는 없다. 日氣不順으로 因하여 어떤 날은 몇 時間 또는 하루 終日, 경우에 따라서는 몇일 동안 常溫通風乾燥不能日이 나타날 수 있다. 이런 不可能日의 發生頻度を 分析하기 爲하여서는 먼저 實際의 常溫通風乾燥가 不可能한 條件 또는 基準이 마련되어야 한다. 여기에서도 이미 論述된 理由때문에 相對濕도가

75%以下인 경우에만 常溫通風乾燥가 實施될 수 있다는 基準이 그대로 適用될 수 있으며 附加的으로 이런 條件을 滿足하는 大氣狀態가 1日間 持續되는 時間이 補充의 基準으로 마련되어야 할 것이다. 왜냐하면, 75%以下의 相對濕도가 極히 짧게 나타나는 경우, 이것을 正確히 認知하여 이에 따라 乾燥機를 稼動하게 하기 어려울 뿐만 아니라, 그렇게 할 수 있다 하더라도 짧은 時間 사이에 乾燥實效를 얻을 수 없기 때문에 乾燥가 可能한 時間이 極히 짧은 날은 乾燥不可能日로 看做하는 것이 妥當하다고 생각하기 때문이다. 乾燥가 可能한 條件이 1日 몇 時間以上 계속될 때 常溫通風乾燥機를 稼動하는 것이 좋으나 하는 것은 Grain Bin의 實際 利用面에서 볼 때 極히 重要하지만, 여기에서는, 보다 根源的인 解答을 求하고자 年度別로 10月中의 10日間隙 사이에 相對濕도가 75%未滿인 條件이 하루 1時間, 2時間, 3時間以下되는 날의 發生日數를 分析하였으며, 그 結果는 各各 表(IV-3), (IV-4), (IV-5)와 같다.

Table IV-3. No. of days having less than 1hr. less than 75% relative humidity.

Date	Year									
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	
1st 10-Day period	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2nd 10-Day period	1	3	2	0	0	0	0	0	0	
3rd 10-Day period	0	2	0	0	1	0	2	1	1	

Table IV-4. No. of days having less than 2hr. less than 75% relative humidity.

Date	Year									
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	
1st 10-Day period	0	0	0	1	1	0	0	0	1	
2nd 10-Day period	1	3	2	1	0	0	1	0	0	
3rd 10-Day period	0	1	1	0	1	0	2	1	1	

Table IV-5. No. of days having less than 3hrs. less than 75% relative humidity.

Date	Year								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1st 10-day period	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2nd 10-day period	1	3	2	1	0	0	0	0	0
3rd 10-day period	0	1	1	0	1	0	2	0	1

이들 表에서 알 수 있는 바와 같이, 10月中 10日間 隔 사이에 相對濕도가 75%未滿인 時間이 1時間, 2時間 또는 3時間 以下인 날의 發生日數는 해마다 다르게 나타나고 있으며, 이 結果는 해마다의 氣象狀態가 無作爲한 變化를 일으키고 있다는 一般의 特徵을 나타낸 것이라고 할 수 있을 것이다. 따라서 어느 特定年度의 氣象狀態에 依하여 乾燥不可能日數를 判斷하기 보다

는 長期間의 記錄值의 分析結果를 利用하는 것이 더욱 바람직하므로, 여기에서는 이미 表(IV-3), (IV-4), (IV-5)에서 주어진 9年間의 分析結果에서 10月中 相對濕도가 75%未滿인 時間이 1日間 各其 1, 2, 3時間 以下인 날이 전혀 없는 날, 1日 나타나는 날, 2日 또는 그 以上으로 나타나는 날의 發生頻度를 分析하였으며 그 結果는 表(IV-6)과 같다.

Table IV-6. Frequency distribution of occurrence of impractical operation of grain bin in 10-day period.

Period	Item	Drying impracticable days per 5days					
		5	4	3	2	1	0
1st 10-day period	less than 1hr in 75% R.H.	0	0	0	0	.111	.889
	less than 2hr in 75% R.H.	0	0	0	0	.111	.889
	less than 3hr in 75% R.H.	0	0	0	0	.111	.667
2nd 10-day period	less than 1hr in 75% R.H.	0	0	.111	.111	.111	.667
	less than 2hr in 75% R.H.	0	0	.111	.111	.222	.556
	less than 3hr in 75% R.H.	0	0	.111	.111	.333	.445
3rd 10-day period	less than 1hr in 75% R.H.	0	0	0	.111	.333	.556
	less than 2hr in 75% R.H.	0	0	0	.111	.444	.445
	less than 3hr in 75% R.H.	0	0	0	.111	.556	.333

이 表에 依하면 10月 上旬에 있어 1日中 相對濕度 75%以下되는 時間이 1~2時間 未滿되는 日數가, 10日中 하루도 發生하지 않는 頻도가 85%이고 하루發生頻도는 11.1%, 2日以上이 發生할 頻도는 없으며 1日中 相對濕도 75%以下되는 時間이 3時間未滿되는 日數가 10日中 하루도 나타나지 않을 頻도가 66.7%, 1日이 發生할 頻도는 33.3%이며 2日以上이 發生할 頻도는 없었다. 이에 反하여, 10月中의 中, 下旬에 있어서는 相對濕도 75%以下되는 時間이 3時間未滿인 日數가 10日中 2日 또는 3日 發生하는 頻도가 나타났으므로 上旬에 比하여 乾燥可能日數에 相對的으로 制約을 받고 있음을 알 수 있다.

日이 可能할 確率は 100%라고 할 수 있다. 中旬에 있어서는 連日乾燥可能確率は 66.7%이고 10日中 1日을 除外한 9日乾燥可能確率は 77.8%이며 8日乾燥可能確률은 88.9%이다. 下旬에 있어서는 連日乾燥可能確률이 55.5%이며 10日中 9日이 乾燥可能한 確률은 88.9%, 10日中 8日이 可能할 確률은 100%라고 말할 수 있다. 마찬가지로 乾燥作業不可能日을 1日 最少乾燥時間이 3時間인 날로 생각할 경우 10月中 上旬에 있어 連日乾燥可能確률은 66.7%이고 10日中 9日이 乾燥可能할 確률은 100%이다. 中旬에 있어서는 連日乾燥可能確률이 44.5%이고 10日中 9日이 乾燥可能할 確률은 77.8%이다. 下旬에 있어서는 連日乾燥可能確률이 33.3%이고 10日中 9日이 乾燥可能할 確률은 88.9%이다.

이 結果를 綜合해서 말하면, 常溫通風乾燥를 實施할 경우에 있어 乾燥作業不可能日을 1日 最少乾燥時間이 1時間인 날로 정하면 10月 上旬에 있어 連日乾燥可能確률은 88.9%이고 10日中 1日이 乾燥不可能日이고 9

以上의 結果를 綜合하면 우리나라 中部地方에 있어서 秋穀乾燥時期에 常溫通風乾燥를 實施할 경우 不順

氣候에 의해 乾燥作業이 不可能한 日數는 1日 乾燥可能 時間이 3時間以下인 날로하고 85%의 期待水準에서 생각한다면 上旬에 있어서는 1日이고 中旬에 있어서는 2日이며, 下旬에 있어서는 1日이다. 그러나, 1日 乾燥 可能時間을 2時間以下로 생각하면 같은 基準下의 乾燥 不可能日數는 中, 下旬에서는 아무 變動이 없고 上旬에서는 10日동안 하루도 發生하지 않을 것이라고 期待하는 것이 妥當하다는 結論을 얻을 수 있다.

2. 貯藏期間의 氣象

貯藏된 農產物은 接觸하는 大氣溫의 影響에 依하여

그 自體溫度가 變하며 吸水 및 有機物質分解作用的 變化를 가져온다. 또한 穀類의 變質은 局部的 또는 全體的인 穀類溫度의 上昇에서 흔히 일어난다. 即 貯藏된 農產物의 內部溫度는 貯藏形態에 따라 差異는 있으나, Grain Bin의 경우 어떤 時差를 두고 外氣溫에 따라 相關인 變化를 일으키므로(12) 벼의 安全貯藏臨界期間을 決定하려면 外氣의 狀態變化를 分析할 必要가 있다. 따라서 여기에서는 이러한 平均大氣溫과 平均相對 濕度의 年中分布狀態를 分析하였으며 그 結果는 그림 (IV-2)와 같다. 그림(IV-2)를 觀察하면 大氣溫의 5日 平均值變化는 1月初부터 2月上旬까지 -5°C程度를

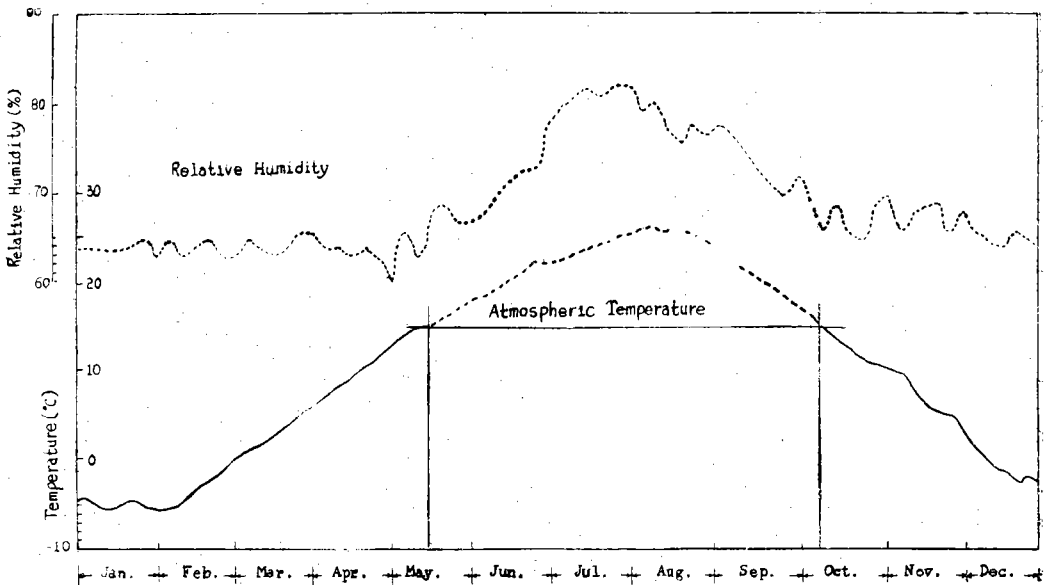


Fig. IV-2. Pentad normal relative humidity and air temperature in Seoul area(1931 to 1960)

維持하나 2月中旬부터 漸次 上昇하기 始作하며 4月中旬경에는 10°C程度, 6月中旬경에는 20°C程度로 나타나고 8月初旬에 約 26°C로서 가장 높은 氣溫을 보여 주며 그 후 次次 減少하여 9月中旬경에 20°C程度의 分布를 이루고 10月末에는 10°C程度, 12월에 이르러 零度以下로 된다. 相對濕度の 5日平均值 年中變化는 1月初부터 5月中旬까지 大體로 62~63%程度이나 5月下旬부터 漸次 增加하여 大氣溫과 마찬가지로 8月初旬에 80%以上을 上廻하는 最多濕狀態에서 차차로 減少하여 10月初旬부터 12月末까지는 다시 65%程度를 維持하였다.

이러한 年中氣象檢討結果 穀物貯藏에 있어 問題가 되는 期間은 夏季이며 이러한 夏季동안의 氣象條件은 高溫多濕하므로 穀物貯藏에 있어 相當히 不利한 條件으로 判斷된다.

V. 實驗結果 및 考察

1. 模型乾燥實驗

이미 實驗計劃에서 주어진 여러가지 通風空氣의

條件下에서 實施된 模型乾燥 實驗結果는 表 V-1 과 같고 이들을 乾燥曲線으로 나타내면 그림 V-1 (a)~(g)와 같다.

이 乾燥曲線群에서 알 수 있는 바와 같이 穀物の 乾燥程度는 送風空氣의 狀態뿐만 아니라 堆積層에 따라서도 큰 차이가 있음을 나타내고 있다. 乾燥潛在力이 높은 空氣를 처음으로 接觸하는 下層의 穀物은 薄層乾燥現象을 뚜렷이 나타내지만 中間層에 接近할 수록 이 實驗의 乾燥繼續時間 範圍內에서는 거의 一定한 比率로 乾燥되며 上層에 接近할 수록 乾燥初期의 穀物은 通風空氣에 거의 無反應하며 乾燥前線(drying front)이 上層으로 移動함에 따라 穀物의 水分含量이 漸次的으로 減少됨을 알 수 있다.

이것은 Grain Bin이나 平面式乾燥機와 같이 空氣가 穀物層을 通過하는 사이에 그 狀態가 漸次 變化하여 乾燥潛在力의 差異를 나타내고, 따라서 層別의 乾燥狀態가 다른 厚層乾燥의 特性을 나타내는 結果라 하겠다.

여기에서 穀物最下層의 水分含量이 一般的인 平衡含水率보다 1%程度 낮은 것으로 나타났으나, 이는 送風空氣의 溫度와 相對濕度の 調節誤差 및 風速에 依한 影響으로 判斷된다. 細川明⁽¹³⁾에 依하면 30~50°C의 溫度範圍에서의 等溫下에서는 風速이 크면 平衡含水率

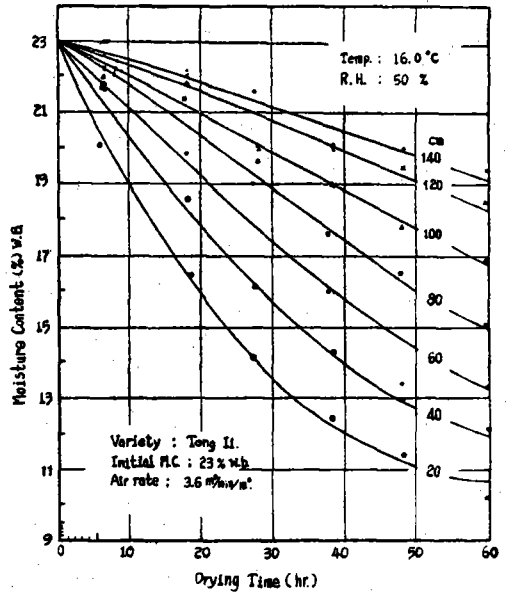


Fig. V-1 (b) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 16°C and 50% relative humidity.

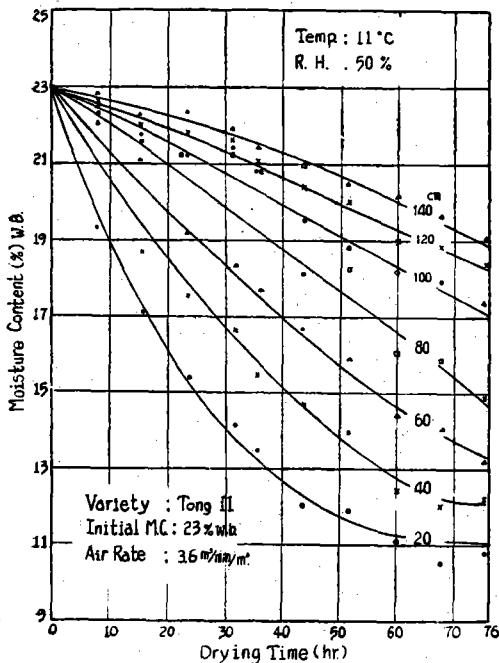


Fig. V-1 (a) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 11°C and 50% relative humidity.

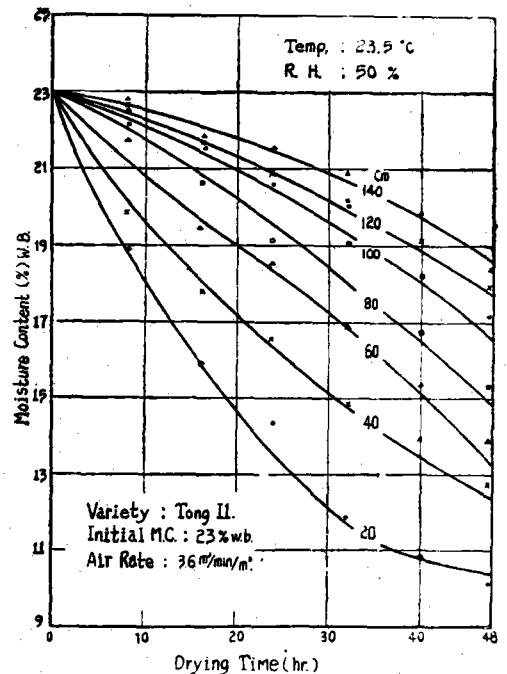


Fig. V-1 (c) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 23.5°C and 50% relative humidity.

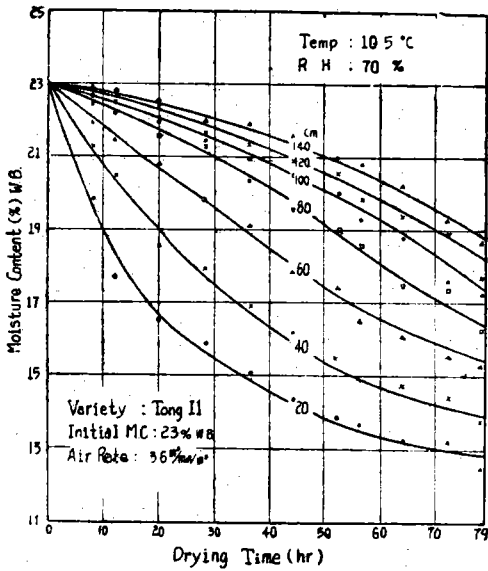


Fig. V-1 (d) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 10.5°C and 70% relative humidity.

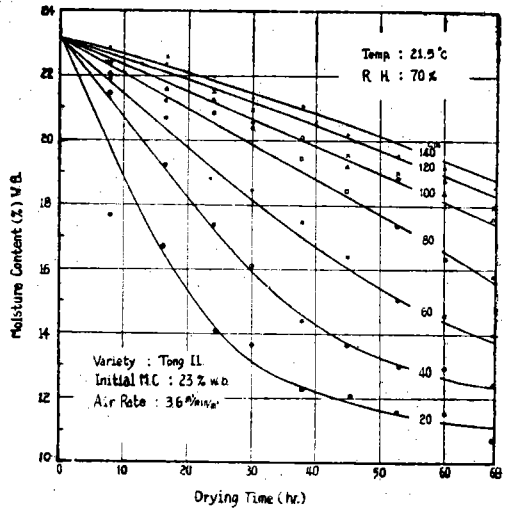


Fig. V-1 (f) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 21.5°C and 70% relative humidity.

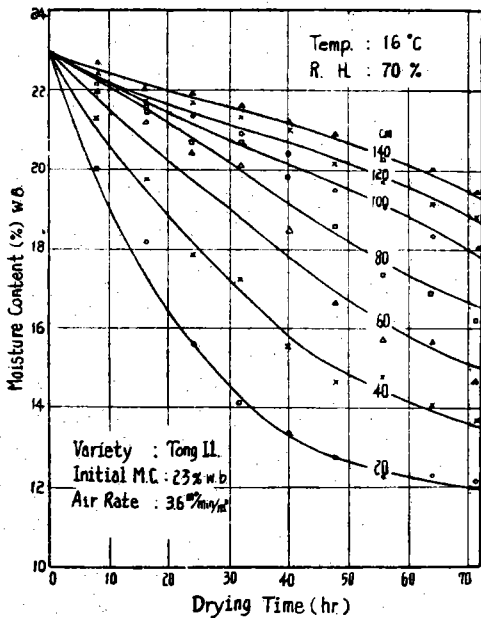


Fig. V-1 (e) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 16°C and 70% relative humidity.

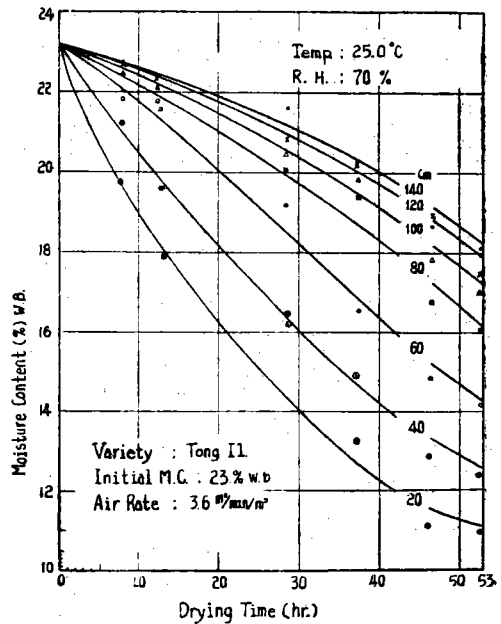


Fig. V-1 (g) Drying curves of different layers for the forced-air condition of 25°C and 70% relative humidity.

Table V-1. Drying rates in per cent per hour for different air conditions and various grain moisture contents as drying is proceeded.

Air Temperature and Relative Humidity	Moisture Content	Layer Height (cm)					Air Temperature and Relative Humidity	Moisture Content	Layer Height (cm)					
		20	40	60	80	100			20	40	60	80	100	
11.0°C 50%	23%	0.582	0.281	0.171	0.125	0.091	10.5°C 70%	19%	0.028	0.136	0.075	0.107	0.078	
	21%	0.483	0.267	0.170	0.142	0.108		17%	0.187	0.085	—	—	—	
	19%	0.371	0.240	0.167	0.150	0.115		15%	0.108	—	—	—	—	
	17%	0.308	0.206	0.163	0.162	0.112		13%	0.021	—	—	—	—	
	15%	0.223	0.163	0.160	—	—		16.0°C 70%	23%	0.092	0.236	0.146	0.106	0.073
	13%	0.141	—	—	—	—			21%	0.316	0.229	0.138	0.114	0.093
16.0°C 50%	23%	0.645	0.292	0.180	0.135	0.101	19%		0.328	0.201	0.123	0.122	0.106	
	21%	0.529	0.270	0.180	0.150	0.127	17%		0.246	0.152	0.103	0.125	—	
	19%	0.437	0.261	0.176	0.162	0.138	15%		0.164	0.107	0.078	—	—	
	17%	0.350	0.230	0.112	0.180	0.149	13%		0.072	—	—	—	—	
	15%	0.272	0.180	0.163	—	—	21.5°C 70%	23%	0.552	0.265	0.172	0.119	0.076	
	13%	0.181	—	—	—	—		21%	0.466	0.254	0.162	0.127	0.099	
11%	0.070	—	—	—	—	19%		0.372	0.231	0.153	0.133	0.123		
23.5°C 50%	23%	0.687	0.347	0.220	0.170	0.152		17%	0.281	0.185	0.143	0.143	0.146	
	21%	0.669	0.311	0.214	0.198	0.189		15%	0.199	0.138	—	—	—	
	19%	0.479	0.278	0.213	0.227	0.213		13%	0.119	—	—	—	—	
	17%	0.387	0.243	0.209	0.237	—	25.0°C 70%	23%	0.611	0.279	0.175	0.123	0.085	
	15%	0.282	0.163	0.190	—	—		21%	0.503	0.268	0.174	0.136	0.116	
	13%	0.199	0.149	—	—	—		19%	0.412	0.249	0.173	0.153	0.142	
11%	0.101	—	—	—	—	17%		0.317	0.211	0.168	0.175	0.162		
23.5°C 70%	23%	0.471	0.203	0.128	0.092	0.062		15%	0.229	0.162	0.165	—	—	
	21%	0.382	0.190	0.118	0.103	0.043		13%	0.151	—	—	—	—	

이 낮아간다고 하였다.

本 研究에서 얻어진 이들 乾燥曲線群의 通風空氣의 狀態別, 穀物堆積層別 特徵은 乾燥速度와 水分含量을 對比하여 보다 明確히 究明할 수 있다. 一般의으로 乾燥速度는 水分含量(또는 乾燥時間)에 따라 다르므로 乾燥現象을 究明함에 있어서 平均의 乾燥速度보다 瞬間 乾燥速度가 더 큰 意義를 갖는다.

그러므로 本 研究에서는 瞬間乾燥速度, 即 $\frac{dM}{dt}$ 를 求하였으며 이를 爲하여 圖解微分(Graphical differentiation)을 適用하였다. 各 實驗條件別, 穀物堆積層別 乾燥速度의 分析結果는 表 V-1에 表示하였으며 이 들을 그림 V-2 (a)~(e)에 나타내었다. 이 分析 結果에서 알 수 있는 것은 어떠한 경우에나 通風空氣의 溫度가 높을 수록, 相對濕度가 낮을 수록 乾燥速度는 크게 나타나고 있다. 또한 그림 V-2 (a)에서와 같이 穀物最下層의 乾燥速度가 거의 一定한 比率로 減少하여 薄層의 穀物의 減率乾燥現象을 뚜렷이 나타낸 反面, 中間層에서는 그림 V-2 (c)에서와 같

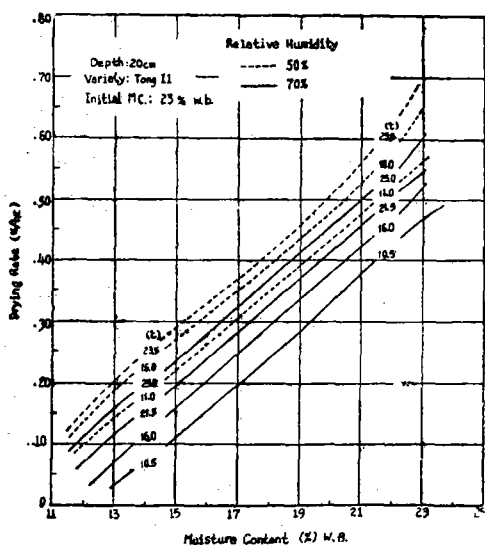


Fig. V-2 (a) Drying rate vs. moisture content at the layer of 20cm grain depth.

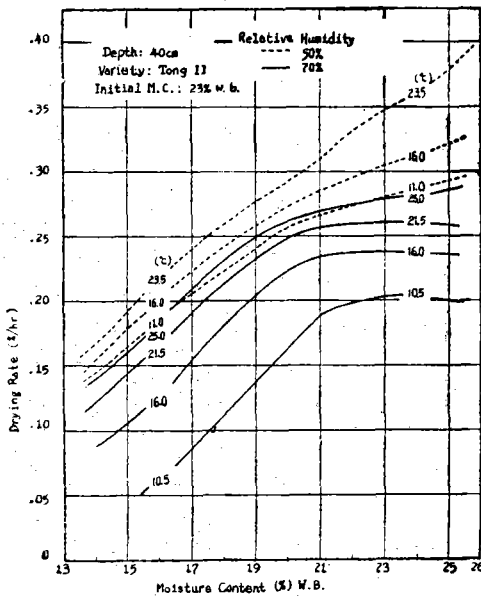


Fig. V-2 (b) Drying rate vs. moisture content at the layer of 40cm grain depth.

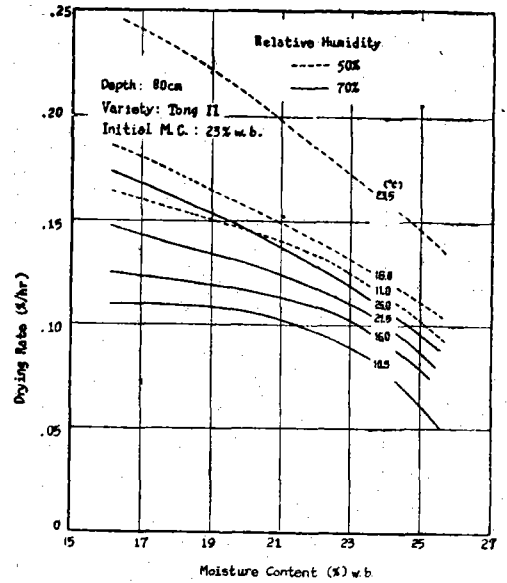


Fig. V-2 (d) Drying rate vs. moisture content at the layer of 80cm grain depth.

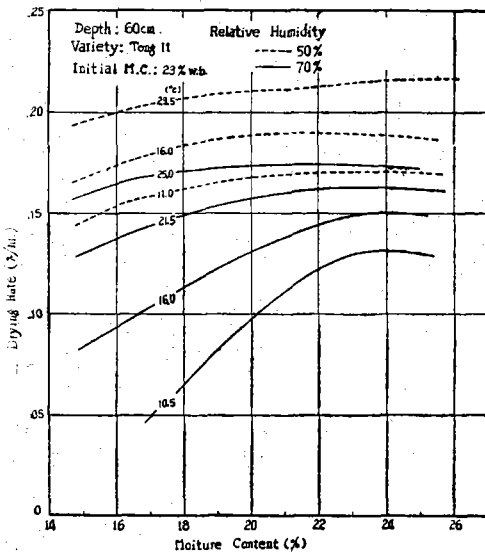


Fig. V-2 (c) Drying rate vs. moisture content at the layer of 60cm grain depth.

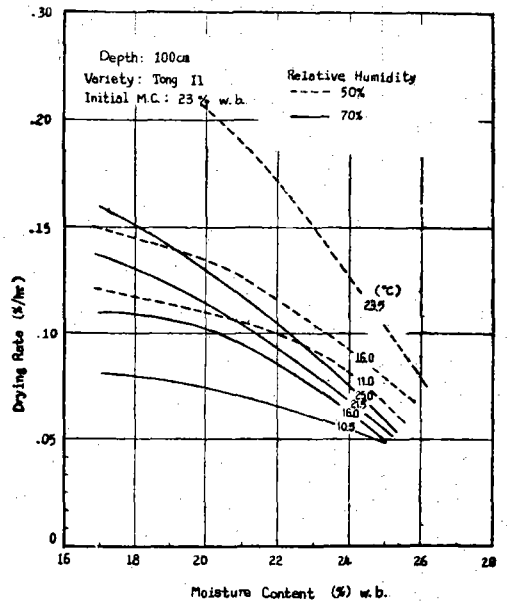


Fig. V-2 (e) Drying rate vs. moisture content at the layer of 100cm grain depth.

이 水分含量에 거의 無關하게 乾燥速度가 一定하게 나타났었다. 그러나 上層에서는 그림 V-2 (a)와 같이 오히려 水分含量이 減少함에 따라 乾燥速度가 增加되는 것으로 나타나서 乾燥前線이 下層에서 上層으로 移動함을 알 수 있다.

2. Grain Bin 實驗

(1) 벼의 乾燥實驗

Grain Bin에서의 벼의 常溫通風 乾燥特性 및 堆積層

에 따른 不均一 乾燥現象의 改善方法을 究明하기 爲하여 農家用 小型 Grain Bin에 對한 常溫通風乾燥實驗을 實施하였다.

이 實驗에서는 自然狀態의 空氣를 適用하였으므로 實驗期間中의 氣象, 特히 送風機稼動中의 氣溫과 相對濕度가 乾燥特性 및 乾燥現象에 큰 影響을 줄 수 있다.

따라서 乾燥期間中의 大氣의 溫濕도를 測定分析하여 이에 따른 乾燥現象을 檢討함은 勿論 이미 IV章에서 이루어진 9年間に 걸친 長期氣象分析值과 比較하였다.

이 Grain Bin에 對한 乾燥實驗은 乾燥期間中 Grain Bin에 堆積된 穀物의 上下層을 反轉하지 않고 連續通風한 實驗과 上下層間의 水分隔差의 減少效果를 究明하기 爲하여 60時間의 乾燥가 實施된 後 穀物上下層을 反轉시켜 乾燥시킨 兩 實驗으로 나누어 實施하였으며, 各 實驗에서는 層別 水分含量의 平均的 變化, Bin內部의 水分含量分布狀態等이 測定分析되었다.

1) Grain Bin에서의 無反轉 乾燥實驗

實驗期間中 自己溫濕度計에 依해 測定된 氣溫과 相對濕도는 穀物乾燥時間에 相當하는 送風時間部分만의 平均值로서 나타내었으며(附表 3 參照) 그 結果는 그림 V-3과 같다. 이러한 平均値는 乾燥時間이 間斷의 이므로 連續曲線으로 表示하지 않고 各各의 平均值가 作用한 時間範圍內에서 直線으로 表示하였다. 그림에

서 알 수 있는 바와 같이 連續乾燥時의 氣溫은 모두 11~19°C 範圍內에서 變化하였으며 平均氣溫은 15°C 內外였다. 相對濕度の 時間에 따른 變化는 大體로 週期的이었으나, 1日 變化는 그 差異가 커서 乾燥時間에 있어 平均相對濕도는 30~80% 範圍內에서 變化하였으며 그의 平均値는 50~60% 程度였다. 이런 大氣의 狀態는 長時間의 氣象記錄值에서 分析된 10月中의 平均溫度 15.9°C와 거의 비슷하나 相對濕度 66.2%보다는 훨씬 낮게 나타났으므로 이 Grain Bin乾燥實驗中의 氣象은 平年에 比하여 乾燥潛在力이 높은 大氣條件이었다고 말할 수 있다.

Bin內部の 各斷面에서 나타난 溫度和 大氣溫의 變化를 比較하여 볼 때 全體의으로는 恰似하게 變化하였으나 上下層에 따른 變化는 上層이 下層보다 낮아져서 2~5°C 程度의 낮은 分布를 보여 주었다.

그림 V-3은 無反轉 常溫通風乾燥時 各層別로 測定한 穀物水分含量變化를 나타낸 것이다. 本 實驗結果와 模型實驗結果를 比較하여 볼 때 그 乾燥速度가 相當히 緩慢하였는데 이는 每의 單位體積當 送風量이 模型實驗時의 送風量의 2/3 程度로서 送風量의 減少에 起因하는 것으로 생각되며 다른 또 하나의 理由로서는 Grain Bin實驗이 模型實驗에 比하여 穀物이 bulk化된 狀態에서 乾燥實驗이 實施되므로서 周邊影響(外氣條件에 依한 影響)이 적었던 것으로 생각된다. 이 無反轉 連續乾燥時의 特徵은 堆積層 60cm 程度以下에서는 連續乾燥時間이 40時間(約 5日) 經過할 때 水分含量이 16%(W.B) 까지 이르지만 120cm 以上의 堆積層에서는 實質的으로 큰 變化없는 狀態를 維持하였다. 送風量을 增加시키므로서 이 上層部의 乾燥率을 多少間 增加시킬 수 있다 하겠으나 上層部까지 安全貯藏水分含量으로 乾燥시키려면 長時間이 所要될 것이므로 上下層間의 水分含量의 隔差는 實質的으로 좁히기 어려운 問題點이 있다.

穀物堆積層에 따른 平均水分含量의 變化는 乾燥曲線을 통하여 그 變化傾向을 表示할 수 있지만, Bin 橫斷面의 位置에 따라서 送風機의 通風效果, 太陽輻射熱의 影響이 一般的으로 다를 수 있으므로 Bin의 어떤 層에 對한 穀物水分含量이 一定하다고 期待할 수는 없다. 따라서 Bin內部の 全般的인 穀物乾燥現象을 把握하기 爲해서는 穀物水分含量의 分布狀態를 그려 볼 必要가 있다. 그림 V-4에는 乾燥繼續時間이 40時間 經過하였을 때와 80時間이 經過하였을 때의 南北向을 通하는 Bin斷面의 穀物水分含量分布를 表示하였다. 이들 水分含量分布圖에서 알 수 있는 바와 같이 南쪽에 接하는 斷面의 穀物은 北쪽의 穀物에 比하여 乾燥가 빨리 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 大氣와 接하는 最上

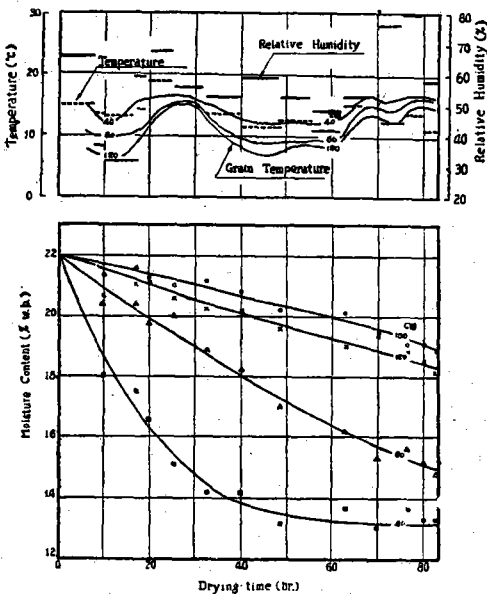
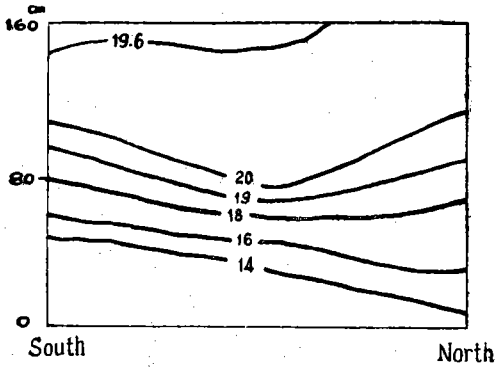
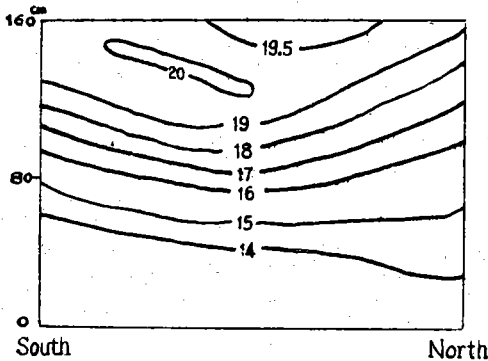


Fig. V-3 Grain Bin test of rough rice drying without turning.



(a) After 40hr. drying time



(b) After 80 hr. drying time

Fig. V-4 Distribution of grain moisture content in grain bin (Without turning in drying period)

層部에서는 그隣接層보다 穀物의 水分含量이 낮은 分布를 보이고 있는 바 이 現象은 最上層部의 穀物이 通風空氣의 影響보다 太陽의 輻射로 加熱된 大氣와 接觸에 依하여 받는 影響이 더 큰데 基因한다고 說明될 수 있을 것 같다. 그림 V-4의 (a)와 (b)를 比較할 때 乾燥前線이 時間의 經過에 따라 漸次的으로 上層으로 올라가고 있기는 하지만 80時間이란 長時間의 送風 乾燥로서는 上層部에는 高水分領域이 그대로 存在한다는 것은 Grain Bin에 依한 穀物乾燥의 하나의 制約性을 나타내었다고 할 것이며 上下層間의 水分含量의 隔差를 좁히는 効率的인 操作方法의 必要性을 提起시켰다고 說明할 수 있다.

2) 反轉乾燥實驗

Bin內部의 穀物을 連續的으로 通風乾燥시키면 理論上 上下層의 穀物의 水分含量은 平衡含水率에서 더 以上 乾燥되지 않고 그 狀態를 持續할 것이며 上層의 高水分含量의 穀物은 繼續的으로 乾燥되어 終局에는 上下層에 關係없이 水分含量은 同一해질 것이라고 期待할 수 있다. 그러나 이런 稼動方法은 下層의 穀物을 過乾

燥시킬 뿐만 아니라 上層穀物을 充分히 乾燥시키는데 長時間이 所要되고, 따라서 稼動費用도 增加할 것이므로 中間層이 相當히 乾燥된 60時間後에 上下層을 完全히 反轉시켜 그 乾燥效果를 實驗하였으며 그 層別平均 水分含量의 變化를 分析圖示하면 그림 V-5와 같다.

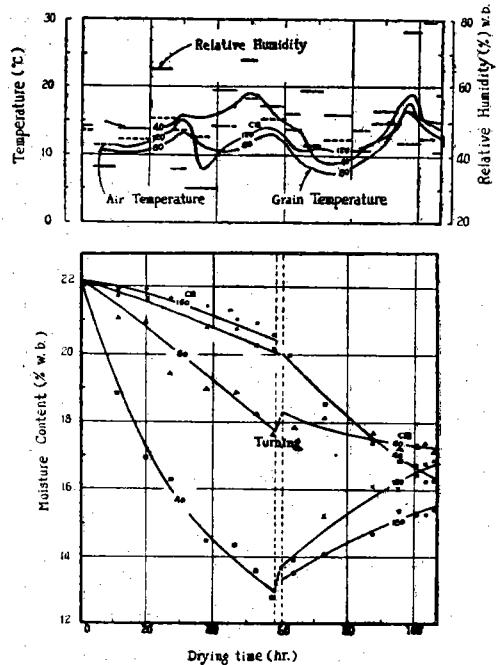


Fig. V-5 Grain Bin test of rough rice drying with a turning.

이 實驗期間中 稼動時間사이의 外氣溫濕度의 日平均値는 그림 V-5의 윗쪽에 나타냈다. 이를 分析하여 보면 溫度는 10~19°C 範圍內에 있었고 相對濕度는 30~80% 範圍內로서 全體 乾燥期間中의 平均溫度와 平均相對濕度는 各各 14.5°C, 55% 程度로서 無反轉連續乾燥時와 大差가 없으며 比較的 乾燥潛在力이 높은 가을 날씨라고 할 수 있다. 그림 V-5에서 反轉을 中心으로 한 反轉前後 層別水分含量의 隔差가 나타난 것은 反轉作業中 穀物層의 混成에서 緣由한 것으로 생각되며 反轉後의 乾燥曲線은 Bin內部의 穀物이 層別로 吸濕(Moisture absorption) 또는 脫濕(Moisture desorption)過程을 밟았다는 것을 그대로 나타내었다. 即 反轉前에 堆積層 120cm에 있던 穀物層은 反轉後 40cm의 層에 놓여졌으므로, 이 40cm層의 穀物은 薄層乾燥의 乾燥曲線을 나타내면서 繼續 水分含量이 減少되고 反轉後 約 30時間에는 80cm堆積層의 穀物보다 더욱 낮은 水分含量으로 乾燥되었다. 그러나 反轉前 40cm의 層

에 있던 穀物은 反轉後 120cm의 層에 놓이게 되므로서 元來 13%까지 乾燥되었던 穀物이 常溫通風乾燥過程 中 下層部의 影響으로 오히려 吸濕을 하였다. 그러나 100 時間程度의 總稼動時間이 經過한 後에는 上下層間의 水分含量隔差는 거의 1%程度로 줄어 들었고 中間層의

높은 水分含量穀物도 安全貯藏水分含量에 接近하고 있음을 나타내었다. 이 1회 反轉의 效果는 그림 V-3과 V-5를 比較하면 더욱 明確하다. 即 80時間 常溫通風 乾燥 實施後 無反轉時의 水分含量 隔差는 約 6%로서 13~19%의 範圍에 있는 反面, 反轉時에는 그 隔差가 4%未滿으로 14.3~18.3%의 範圍에 있으므로 一回 反轉에 依한 乾燥의 效率性을 立證한다고 하겠다. 1회 反轉에 依한 穀物의 常溫通風乾燥效果는 Bin內部의 水分含量分布圖(그림 V-6 參照)에서 더욱 明白히 나타나고 있다. 即 反轉後 20時間이 經過한 後에는 反轉時 22%程度의 水分含量이 約 3%程度 減少하고 Bin 中央部分은 大體로 吸濕이 일어나 20%의 水分含量을 가지는 穀物層이 存在하지만 反轉後 44時間이 經過한 後에는 全體層이 모든 斷面에서 거의 均一한 水分含量을 갖는 狀態로 變하였다.

以上的 結果를 綜合하여 볼 때 두께가 두꺼운 穀物 乾燥(Thick layer drying)에 있어 穀物層 上下에 따른 不均一乾燥는 乾燥期間中 穀物을 反轉시키므로서 解決할 수 있을 것으로 생각된다. 이 反轉方法으로는 乾燥 期間中 揚排穀機에 의하여 穀物全量을 여러차례 循環시켜 주는 方法 또는 下層部에서 乾燥된 穀物을 漸次로 排出하여 上層部에 넣지 않고 포대에서 일시 保管하는 한편 上層部의 穀物을 所定의 水分含量까지 乾燥시킨 다음 全量을 Grain Bin에 넣어 貯藏하는 方法등을 考慮할 수 있을 것이다.

(2) 벼의 貯藏實驗

Grain Bin에 約 3.3ton(穀物推積 높이 1.6m)의 벼를 Bulk 狀態로 貯藏하고 冬季(1972. 12. 26~1973.

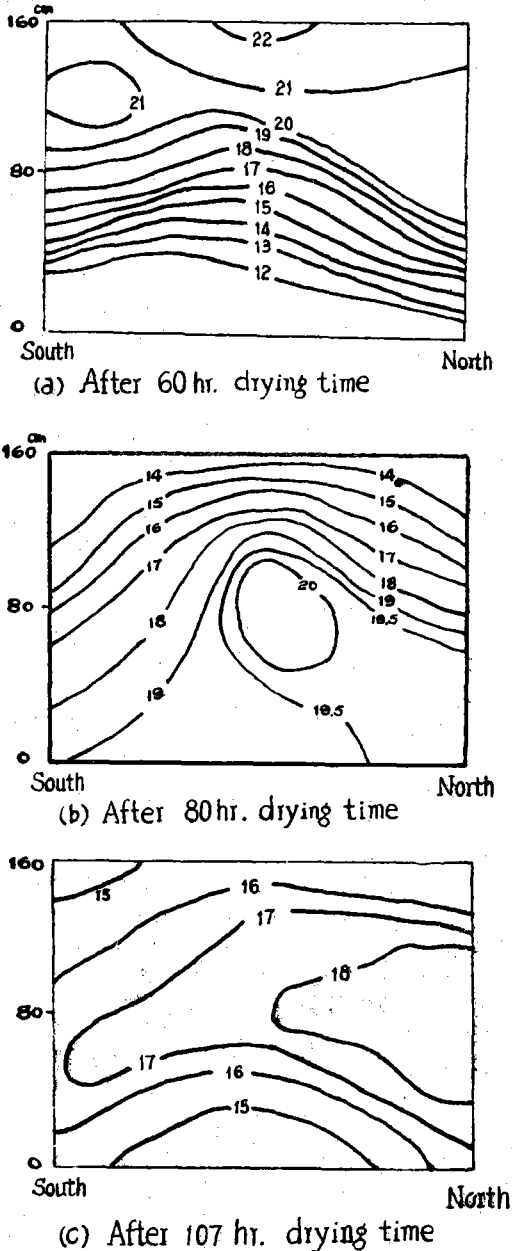


Fig. V-6 Distribution of grain moisture content in Grain Bin (A turning in drying period)

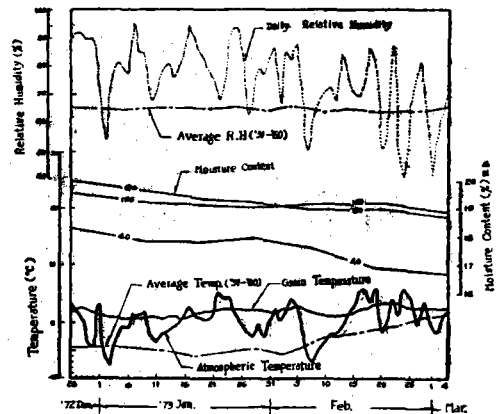


Fig. V-7 Changes in weather condition and grain quality during bin storage (From Dec. 26, 1972 to Mar. 4, 1973)

3. 3)와 夏季(1973. 6. 9~9. 7)로 나누어 貯藏實驗을 實施하였다. 이 實驗에서는 가장 不利한 條件下에서 Grain Bin의 貯藏性을 究明하기 爲하여 貯藏期間中 特別히 通風을 하지 않고 慣行貯藏方法을 適用하였다.

Grain Bin의 貯藏性에 있어서 外氣의 氣象條件이 Bin 內의 穀物溫度 및 水分含量에 미치는 影響을 觀察하고 저 貯藏期間中の 大氣의 溫度와 相對濕도를 每日 一定

時刻마다 測定 했는때 그 日平均値는 附表 5 (a), (b) 및 表 6 (a), (b)와 같고 이것을 圖示하면 그림 V-7 및 V-10과 같다. 그리고 貯藏期間中 Bin內의 穀物溫度와 水分含量은 그림 V-3에서와 같이 두 層으로 나누고 各層마다 4個點의 平均値를 取하였으며 그 結果는 附表 7 및 8과 같고 이것을 圖示하면 그림 V-7 및 V-8과 같다.

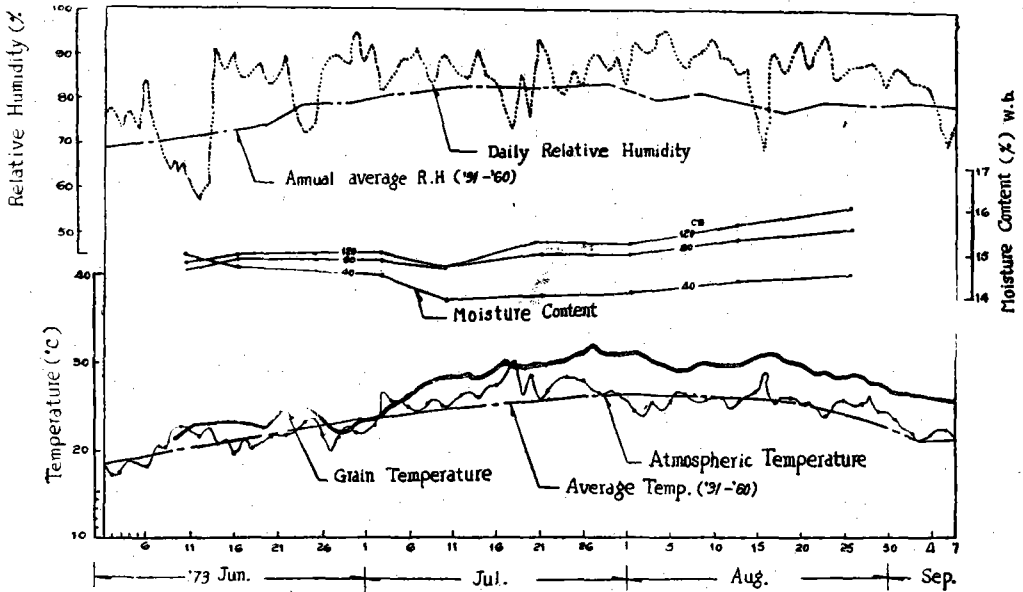


Fig. V-8 Changes in weather condition and grain quality during bin storage. (From Jun. 9 to Sep. 7)

冬季의 貯藏期間中 氣象狀態를 概觀하면 大氣溫度는 -8°C 부터 5°C 사이에서 變化하였고 가장 낮은 期間은 1月初旬과 2月初旬이었다. 그리고 相對濕도는 最低 40%부터 最高 98%까지 變化하였으며 平均相對濕도는 1월에 約 75%이고 2월에 65%程度이다.

夏季의 貯藏期間中 氣象狀態는 大氣溫이 18°C ~ 26°C 로서 그 平均溫度는 22°C 이고 相對濕도는 最低 55%부터 最高 96%까지로서 平均相對濕도는 80%程度이다.

이 兩 貯藏期間의 氣候狀態를 比較하면 夏季는 冬季보다 大氣의 溫度는 約 20°C 높고 相對濕도는 10%程度 上廻하고 있다.

冬季貯藏에 있어서 Grain Bin內의 穀物의 溫度分布를 살펴보면 그림 V-9와 같이 12월에는 上層部가 下層部에 比하여 약간 낮은 溫度의 分布를 나타내고 있으나 3월에는 이와 正反對 現象을 나타내고 있으며 溫度差는 12월에서와 같이 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度이다. 이와 같은

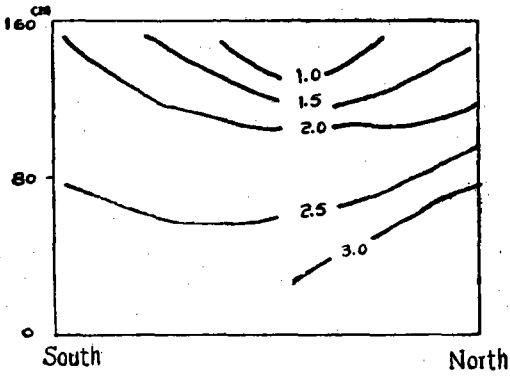
溫度分布現象과 溫度差는 外氣接觸이 上層部가 下層部에 比하여 容易한 事實에 基因하는 것으로 생각된다.

그리고 같은 層內에서의 溫度分布는 南쪽이 北쪽에 比하여 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 높았는데 그 主要原因은 貯藏期間中 太陽熱의 影響으로 認定된다.

外氣의 溫度變化와 Bin內 穀物의 溫度變化를 比較하여 보면 그림 V-7과 같이 大氣溫의 變化範圍는 -8°C ~ 5°C 로서 穀物溫度의 變化範圍인 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ 보다 變化幅이 넓은 것을 알 수 있다. 이 現象은 大氣가 바람이나 太陽輻射熱 등에 敏感한데 比하여 Bin 內部에는 바람이나 太陽熱의 影響도 적지만 貯藏된 穀物은 穀粒間의 空間이 적어 溫度變化에 敏感할 수 없기 때문이라고 생각된다.

따라서 冬季에 있어서 Grain Bin內의 穀物의 溫度變化는 外氣에 敏感하지 않고 큰 變動없이 거의 一定한 溫度를 維持하게 됨을 알 수 있었다.

Dec. 26, 1972



Mar. 2, 1973

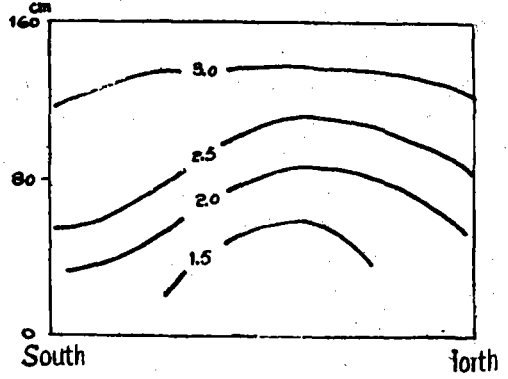
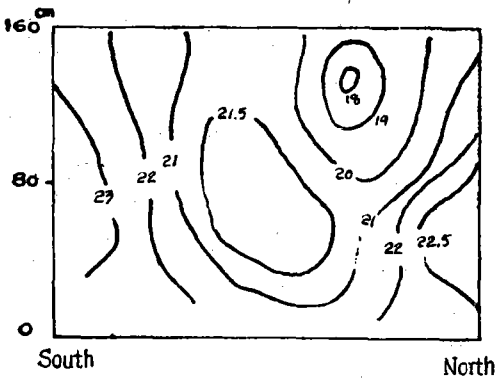
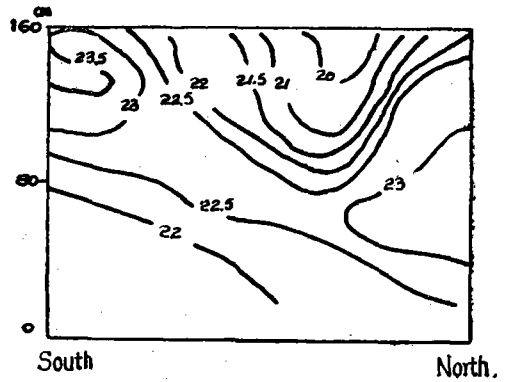


Fig. V-9 Distribution of rough rice temperature during bin storage.
(From Dec. 26, 1972 to Mar. 4, 1973)

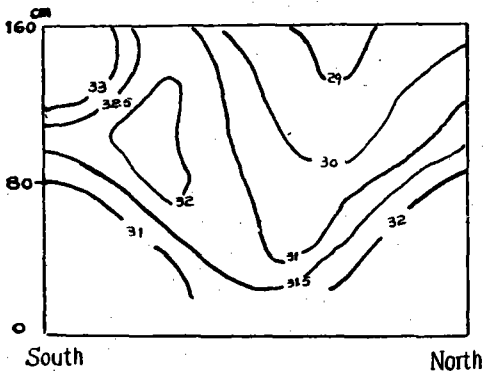
Jun. 10, 1973



Jul. 2, 1973



Jul. 30, 1973



Aug. 8, 1973

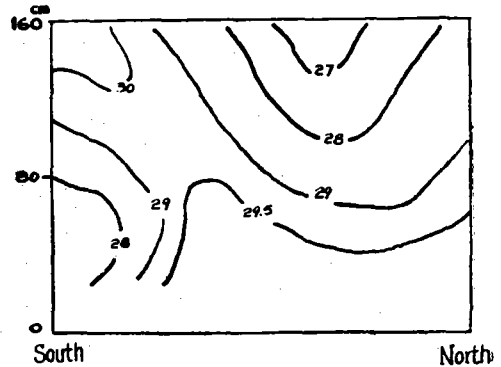


Fig. V-10 Distribution of rough rice temperature during bin storage.
(From Jun. 9 to Sep. 7, 1973)

夏季貯藏에 있어서 Grain Bin內的 穀物の 溫度分布를 살펴보면 그림 V-10과 같이 貯藏期間이 經過함에 따라 上層部는 下層部에 比하여 낮은 分布를 나타내고 있으며 그 溫度差는 3~5°C程度로서 冬季貯藏에서 보다 2~3°C程度 높았다. 이와 같은 溫度分布는 貯藏期間中 穀物の 溫度가 上層部에서는 冬季貯藏에서와 마찬가지로 外氣의 影響等에 敏感한데 比하여 下層部の 穀物은 呼吸이 增加됨에 따라 穀物自體內에서 heating 現象⁽¹⁾⁽²⁾이 더욱 支配的인 것으로 생각된다. 이와 같은 現象은 同一한 時間에 測定한 穀物溫度와 外氣溫의 測定值를 比較하면 穀物溫度가 外氣溫보다 높은 事實을 考慮할 때 더욱 確實한 것으로 생각된다.

그리고 같은 層內에서의 溫度分布는 그림 V-10에서와 같이 南쪽에 北쪽에 比하여 3~5°C程度 높아 冬季貯藏에서 보다 1~2°C程度 더 큰 差異를 나타냈는데 方位에 따라 穀物溫度差異를 나타낸 것은 冬季와 마찬가지로 理由인 太陽熱의 影響에 基因한 것으로 생각되며 夏季에 있어서의 方位에 따른 穀物 溫度差異가 冬季에서보다 크게 나타난 것은 冬季에 比하여 夏季에 더욱 太陽熱의 影響이 크다는 것을 뒷받침하고 있다.

冬季와 夏季貯藏을 通하여 大氣溫과 穀物溫度와의 關係를 考察할 때 冬季에는 穀物溫度가 大氣溫度의 變動範圍以內에서 維持되었으나 夏季에는 이와 反對로 穀物溫度가 大氣溫度의 變動範圍를 벗어나서 繼續 大氣溫度보다 높은 溫度를 維持함을 알 수 있다. 따라서 서울地方의 平均氣溫分布와 關聯하여 생각할 때 5月中旬까지는 冬季貯藏影響이 繼續될 때 穀溫은 大氣溫度의 變動範圍內의 溫度가 維持되어 穀物溫度는 15°C內外가 될 것으로 推定된다.

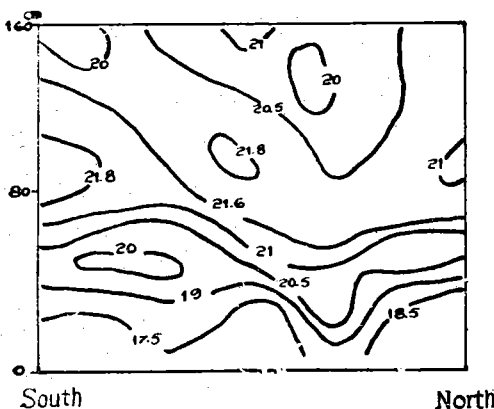
穀物の 安全貯藏은 遊離脂肪酸의 增加, 곰팡이, 微生物의 繁殖, 그리고 呼吸量과 關聯하여 생각할 때 穀物溫度는 15°C程度 以下(벼의 水分含量 16%以下)에서 可能하므로 이 溫度를 維持하는데 Grain Bin에 依한 貯藏期間은 10月부터 翌年 5月中旬까지가 된다.

따라서 萬一 더욱 長期間貯藏이 必要한 境遇에는 穀物溫度의 上昇을 防止하는 方法이 講究되어야 할 것이다.

冬季貯藏時 벼의 水分含量分布를 觀察하여 보면 그림 V-11에서와 같이 初期에는 上下部에 關係없이 그 分布가 不規則하였으나 貯藏期間의 經過에 따라 漸次 上部는 下部에 比하여 높은 水分含量分布를 나타내기 始作하였다. 이러한 實驗結果는 M.L. Esmay⁽³⁾의 Grain Bin 貯藏實驗結果와 一致하고 있다. 貯藏된 穀物의 水分含量分布는 南北方位에 無關하였다. 夏季貯藏時 水分含量分布는 그림 V-12와 같이 冬季貯藏과 마찬가지로 貯藏期間의 經過에 따라 上部가 下部에 比하여 높은 水分含量分布를 나타내고 南北方位에 따른 水分含量도 같은 傾向을 나타내었다.

貯藏期間을 通한 水分含量의 變化는 約 1%程度로서 冬季에 있어서는 若干 減少傾向을 나타내었으나 夏季에 있어서는 오히려 增加하였다. 이 原因은 冬季貯藏時 穀物의 初期水分含量이 18%程度이므로 平衡含水率理論과 같이 貯藏過程中 漸次 大氣條件과 平衡에 到達하려는 現象에 依하여 減少한 것이며 夏季에 있어서도 마찬가지로 理由로서 夏季의 多濕한 大氣條件에 平衡되는 現象에 依하여 水分含量이 若干 增加한 것으로 생각된다. 그러나 이러한 水分含量 1%程度의 變化는 穀物의 貯藏過程에 큰 影響이 없을 것으로 생각된다.

Dec. 26, 1972



Mar. 2, 1973

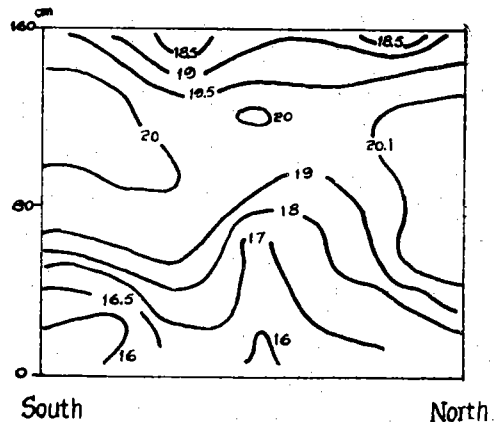


Fig. V-11 Distribution of rough rice moisture content during bin storage.

(From Dec. 26, 1972 to Mar. 4, 1973)

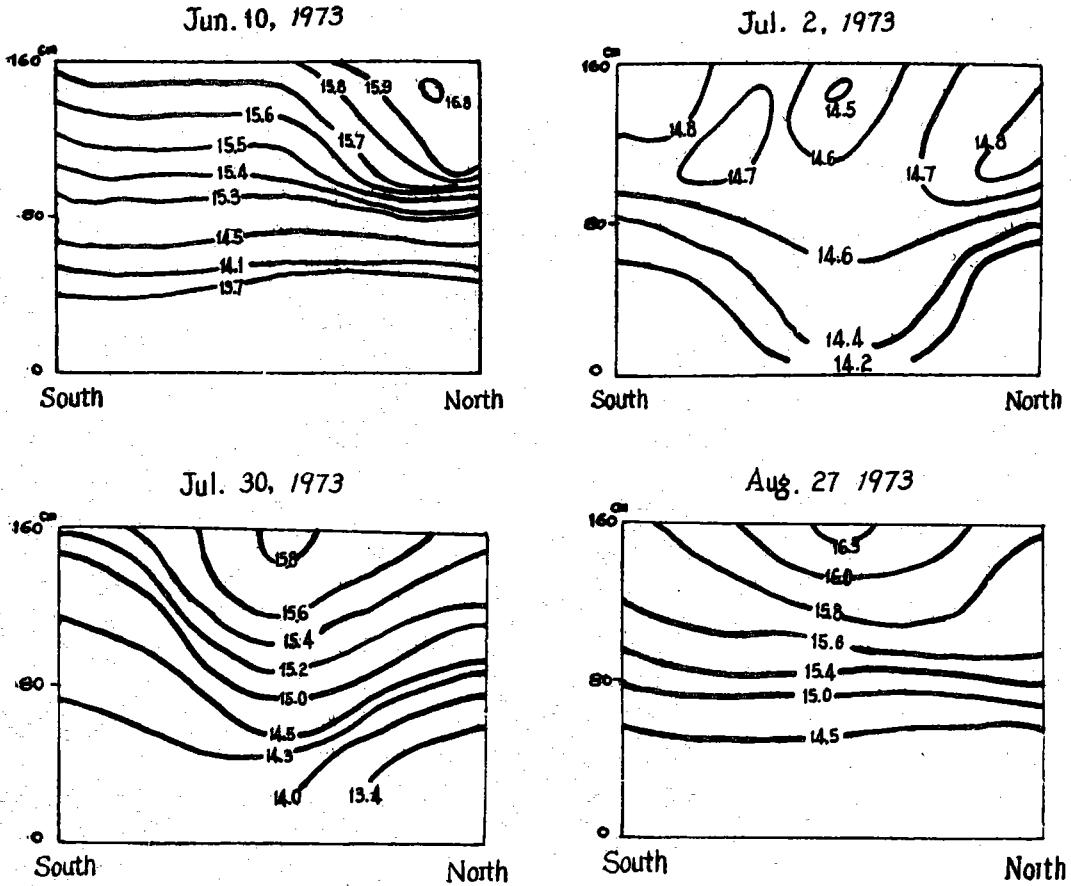


Fig. V—12 Distribution of rough rice moisture content during bin storage.
(From Jun. 9 to Sep. 7, 1973)

이와 같은 결과를 종합하여 보면 鋼鐵製 Grain Bin 에 穀物을 慣行方法에 依하여 貯藏할 境遇 安全貯藏을 爲해서는 秋穀收穫期부터 翌年 5月中旬까지의 穀物貯藏이 可能하고 더욱 貯藏期間을 延長할 境遇에는 通風과 이밖에 遮光, 白色塗裝 등이 考慮되어야 할 것으로 생각된다.

VI. 結 論

乾燥貯藏過程에서의 穀物의 損失을 減少시키고 操作上的 便宜와 經費節約을 圖謀하기 爲하여 現在 우리나라에서 實施하고 있는 穀物의 가마니貯藏을 Bulk 狀態로 改善하며 우리나라의 淸명한 가을 날씨를 利用하여 常溫通風乾燥方法으로 穀物의 乾燥를 圖謀하고 나아가 漸次 推進되고 있는 營農作業의 機械化에 併行하여 收穫作業後의 穀物操作作業의 省力化를 圖謀

하는데 寄與될 수 있는 農家用 Grain Bin의 製作利用에 關係되는 要因을 究明하고자 國內氣象條件을 分析하고 室內 模型 實驗 및 Grain Bin 實驗을 實施하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. Grain Bin에 依한 벼의 常溫通風乾燥에 適正한 乾燥時間을 求하고자 우리나라 中部地方(水原)의 10月中 氣象資料를 分析한 結果, 適正乾燥時間의 始作時間은 9時 53分, 終了時間은 19時 11分이었으며 그에 따라 1日 適正乾燥時間은 9時間 23分으로 9時間程度였으며 標準偏差는 始作, 終了時間 모두 대체로 1時間程度였다. 이러한 期間內的 平均氣溫은 上旬에서 下旬동안 13~17.4°C였고 平均相對濕度는 대체로 66%程度였다.
2. 平均 相對濕度 66%와 平均大氣溫 13~17.4°C에서 的 벼의 平衡水分含量이 14%程度이므로 補助熱없이 乾燥시킬 수 있는 乾燥潛在力을 갖고 있어 常溫通風

乾燥의 가능성을提示하였다.

3. 乾燥期間中 우리나라에 있어 乾燥不可能日數를 求하고자 相對濕度 75%以下되는 繼續時間이 1日中 1時間, 2時間, 3時間 未滿되는 日數의 發生頻度を 分析한 結果 中部地方에 있어서 秋穀乾燥時期에 常溫通風乾燥를 實施할 경우 不順氣候에 依하여 乾燥不可能한 日數는 1日 乾燥可能最少時間을 3時間으로 볼 때 10月中 上旬은 1日, 中旬은 2日, 下旬에 있어서는 1日程度이며, 1日 乾燥可能最少時間을 2時間으로 볼 때 乾燥不可能日數는 中 下旬에서는 앞의 結果와 같고 上旬에서는 10日中 하루도 없다는 結論을 얻을 수 있었다.
4. Grain Bin의 特性인 두꺼운 層의 벼를 常溫通風乾燥할 경우 그 乾燥特性을 查하고자 模型實驗機에 依해 氣溫과 相對濕度別 벼 乾燥實驗을 實施한 結果 벼의 乾燥程度는 送風空氣의 狀態뿐만 아니라 堆積層에 따라서 큰 差異가 있음을 나타내고 있었다. 즉 送風空氣의 溫度가 높을 수록 相對濕度가 낮을 수록 乾燥速度는 크며 穀物上下層의 乾燥速度는 下層에 있어서는 乾燥速度가 거의 一定한 比率로 減少하여 薄層穀物의 減率乾燥現象을 뚜렷히 나타내는 반면 中間層에서는 本 乾燥實驗時間 範圍內에서 水分含量에 거의 無關하게 乾燥速度가 一定하였고, 上層에서는 오히려 水分含量이 減少함에 따라 乾燥速度가 增加되는 것으로 나타났다.
5. 實際 農家使用 크기의 Grain Bin에 堆積層의 높이 1.6m의 벼를 送風量 約 2.8m³/min/m²으로 1日 8~9時間씩 계속 送風하여 乾燥實驗을 實施한 結果 下層이 13.3%까지 乾燥된 送風時間 80時間後에도 堆積穀物 上下層의 水分含量이 5%以上의 큰 隔差를 나타내었으므로 乾燥進行中 上下層의 穀物反轉을 통한 水分含量 隔差減少의 必要性을 提示하였다.
6. 同一 크기 Grain Bin에 있어 乾燥進行中 穀物上下層間의 水分含量 隔差減少效果를 究明하기 위하여 乾燥進行中 穀物層上下를 反轉한 一回反轉實驗을 實施한 結果 送風時間中 平均相對濕度 54%, 平均大氣溫 13.9°C의 大氣條件下에서 初期水分含量 約 22.2%의 벼를 約 16.7%까지 乾燥하는데 約 107時間이 所要되었고, 穀物層 上下에 따른 水分含量의 差異는 送風時間 80時間에서 約 3.9%였고 送風時間 107時間에서는 거의 2%程度로 그 隔差가 減少되었다. 그 結果로 보아 實際 Grain Bin使用時에는 乾燥期間中 穀物을 反轉하는 것이 必要하다.
7. Grain Bin에 벼를 貯藏하여 冬季貯藏時 穀物溫度, 水分含量의 變化를 調查分析한 結果 穀物의 溫度는

氣溫의 5日 平均值와 거의 비슷하게 1~4°C 範圍內에서 變化하였고 水分含量 또한 2個月 貯藏後 1%未滿이 增加한 것으로 보아 安全貯藏이 可能하였다.

8. 夏季貯藏實驗結果 水分含量의 變化는 大體로 貯藏初期狀態를 維持하였으나 貯藏에서 가장 크게 問題되는 여름철 高溫下에서는 穀物溫度가 7月初부터 平均大氣溫보다 3~5°C程度 높아 安全貯藏의 限界를 벗어났다. 그러므로 穀物의 安全貯藏을 爲해서는 實驗에 使用된 Grain Bin으로는 5月 中旬까지만 使用하고 더 長期貯藏을 하려면 穀物溫度上昇을 防止하기 위한 效果의인 方法의 模索이 必要하다고 생각되었다.

VII. 摘 要

本 研究의 目的은 現 農村의 穀物乾燥貯藏方法을 穀物損失과 操作上的 勞動力을 減少시킬 수 있는 方法으로 改善하는데 있어서 穀物을 常溫通風으로 乾燥시키고 Bulk狀態로 貯藏하는 Grain Bin의 適用可能性을 究明하기 위하여 關係되는 여러 要因을 實驗分析하는데 있다.

穀物의 乾燥와 貯藏過程을 穀物의 狀態와 大氣條件을 合理的으로 結付시켜 Grain Bin에 關係되는 要因을 分析하고 農家普及性을 究明코자 秋穀乾燥時期인 10月의 大氣條件과 年中氣象에 關한 資料를 分析하였다. 또한 Grain Bin內의 벼의 乾燥特性을 查하고자 模型實驗機를 製作하여 벼의 乾燥基礎實驗을 實施하였으며 實際 農家單位規模의 小型 Grain Bin을 製作하여 乾燥貯藏實驗을 實施하였다.

水原地方의 10月中의 大氣溫 및 相對濕度의 9年間에 걸친 資料의 分析結果 벼를 常溫通風乾燥시킬 경우 秋穀乾燥時期인 10月中에 送風하기 適合한 乾燥時間(相對濕度 75%未滿)은 午前 10時부터 午後 7時까지로 1日 平均 約 9時間이며, 그 때의 平均相對濕度 및 大氣溫은 各各 約 66%, 15.9°C로서 벼의 水分含量을 14% w.b.까지 乾燥시킬 수 있는 潜在力을 가졌으며, 乾燥不可能日은 1日 乾燥適正時間을 最少 3時間으로 할 때 上旬에는 1日, 中旬에는 2日, 下旬에는 1日程度 發生한다고 期待할 수 있다.

送風된 空氣條件을 變化시켜 벼의 乾燥模型實驗을 實施한 結果 大氣條件別 各層의 水分含量別 乾燥速度는 送風空氣의 溫度가 높을 수록, 相對濕度가 낮을 수록 乾燥速度는 크며 穀物層 上下를 比較해보면 穀物最下層의 乾燥速度는 水分含量의 減少에 따라 거의 一定한 比率로 減少하며 中間層에 있어서는 乾燥時間이 相

當히 經過한 뒤에도 水分含量에 無關하게 乾燥速度가 一定하였고, 上層에서는 오히려 水分含量의 減少에 따라 乾燥速度가 增加되는 것으로 나타나 乾燥前線이 下層에서 上層으로 移動함을 알 수 있었다.

이러한 두꺼운 層의 穀物乾燥時에는 上下層의 不均一程度가 甚하여 이 缺點을 補完코자 Grain Bin實驗에서 乾燥期間中 穀物을 1回 反轉시킨 結果, 좋은 成果를 얻었다. 이 때 乾燥所要時間은 穀物높이 1.6m에 있어 每 1m³당 2.8m³/min의 比率로 送風한 結果, 水分含量 22.2%의 벼를 16.7%까지 乾燥시키는데 約 107時間이 所要되었다.

鐵製 Grain Bin에 벼를 貯藏하여 實驗한 結果, 穀物溫度는 6月末까지는 平均 大氣溫과 같이 變化하였으나

7月初부터 平均 大氣溫보다 3~5°C程度 높았으며 穀物의 水分含量은 夏季를 지나는 동안 若干(1%未滿) 增加하였다. 穀物의 安全貯藏을 爲하여는 穀物安全貯藏溫度가 15°C이므로 實驗한 Grain Bin으로는 5月 中旬까지 安全貯藏이 可能하였다.

以上の 實驗結果를 綜合할 때 水原地方에서의 秋穀乾燥는 가을철 大氣條件이 良好하여 Grain Bin에 依한 常溫通風乾燥方法이 좋을 것으로 認定되며 Grain Bin의 貯藏實驗結果 秋穀收穫期부터 翌年 5月 中旬까지 穀物의 安全貯藏은 可能하므로, Grain Bin의 農家普及은 우리나라 穀物乾燥貯藏方法 改善에 크게 寄與될 것이 豫測된다.

引 用 文 獻

1. A.P.O.; Training in Storage and Preservation of Food Grains, Training Manual, Japan, 1970.
2. Blatchford, S.M. and P.F. Prevette; Tropical Stored roduct Information, No. 22, England, 1971.
3. Barre, H.J.; Vapor Pressure in Studying Moisture Transfer Problems, Jour. of A.S.A.E., p. 249, Jun., 1973.
4. Barre, H.J.; Some Engineering Phase of Grain Storage, Jour. of A.S.A.E., p. 79-80, Mar., 1942.
5. Barre, T.H. and L.G. Coonrod; Bulk Drying and Storage of Rice on the Farm, Jour. of A. S.A.E., p. 158-160, Mar., 1952.
6. Bell, E.J. Jr.; Economics of Storing Grain on the Farm, A.S.A.E., p. 311-312, 1931.
7. Calderwood, David L.; Use of Aeration to Aid Rice Drying, Trans. of A.S.A.E., Vol. 9, No. 6, p. 893, 1966.
8. Carter, Deans G. and M.D. Farrar; Redistribution of Moisture in Soybean Bins, Jour. of A. S.A.E., p. 269, Sep., 1943.
9. Collins, Tappen; Flow Patterns of Air Through Grain During Drying, Jour. of A.S.A.E., p. 759-769, Nov., 1953.
10. Day, D.L. and G.L. Nelson; Predicting Performance of Crossflow Systems for Drying Grain in Storage in Deep Cylindrical Bins, Trans. of A.S.A.E. Vol. 8, No. 9, p. 288-292, 1965.
11. Exotech Systems, Inc.; Farm Mechanization Program for Korea, Aug., 1972.
12. Fenton, F.C.; Storage of Grain Sorghum, Jour. of A.S.A.E., p. 316-320, Sep., 1941.
13. Foster, George H.; Methods of Conditioning Shelled Corn, A.S.A.E., p. 497-499, Oct., 1950.
14. Foster, George H.; Minimum Air Flow Requirements for Drying Grain with Unheated Air, Jour. of A.S.A.E., p. 681-683, Oct., 1953.
15. Grift, D.H.; Rice, p. 355, Lowe & Brydone, Ltd., London, 1965.
16. Hall, Carl W.; Analysis of Air Flow in Grain Drying, Jour. of A.S.A.E., p. 247, Apr., 1955.
17. Hall, Carl W.; Preventing Crop Losses by Drying, Jour. of A.S.A.E., p. 414-415, Jun., 1956.
18. Hall, Carl W.; Processing Equipment for Agricultural Products, Ag. Consulting Associates, 1963.
19. Hall, Carl W.; Drying Farm Crops, The AVI Publishing Company, Inc., 1971, U.S.A.
20. Henderson, S.M.; Resistance of Soybeans and Oats to Air Flow, Jour. of A.S.A.E., p. 127-128, Apr., 1944.
21. Henderson, S.M.; Basic Concept of Equilibrium Moisture, Jour. of A.S.A.E., p. 29-30, Jan., 1952.
22. Henderson, S.M.; Deep-Bed Rice Drier Performance, Jour. of A.S.A.E., p. 817-820, Dec., 1955.

23. Henderson, S.M.; Air-Flow and Pressure Patterns for Perforated Grain-Drying Tunnels, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 8, No. 4, p. 538-549, 1965.
24. Henderson, S.M. and R.L. Perry; *Agricultural Process Engineering*, John Wiley & Sons, 1955.
25. Hohner, G.A. and D.B. Brooker; an Analog of Grain Cooling by Cross-Flow Aeration in Tall Structures, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 8, No. 1, 1965.
26. Holman, Leo E. and Dean G. Carrer; Corn and Grain Conditioning With or Without Heat, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 397-400, Sep, 1947.
27. Hukill, William V.; Basic Principles in Drying Corn and Grain Sorghum, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 335-338, Aug., 1947.
28. Hukill, W.V.; Evolution of Grain Drying, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 526-527, Jul., 1957.
29. Hurlbut, L.W., et al; Harvesting and Condition Grain for Storage, *Jour. of A.S.A.E.* p. 412-424, Jul., 1952.
30. Hustrulid, Angrew; Comparative Drying Rates of Naturally Moist, Remoistend and Frozen Wheat, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 6, No. 4, p. 304-308, 1963.
31. Issacson, J.D. and J.S. Boyd; Mathematical Analysis of Lateral Pressures in Flat-Bottomed, Deep Grain Bins, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol.8, No. 3, p. 358-360, 1965.
32. Johnson, R.E. and Marvin Virgil; Mechanical Ventilation of Ear Corn, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 15, No. 2, 1972.
33. Kazarian, E.A. and W.C. Hall; Thermal Properties of Grain, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 8, No. 1, p. 33-37, 1966.
34. Kelly, C.F.; Methods for Drying Grain on the Farm, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 125-138, Apr., 1939.
35. Kelley, C.F.; Drying Artificially Heated Wheat with Unheated Air, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 316-320, Sep., 1941.
36. Kramer, Harold A.; Factors Influencing the Design of Bulk Storage Bin for Rough Rice, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 465, Dec., 1944.
37. Kramer, Harold A.; The Mechanics of Rice Drying, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 411-413, Sep., 1947.
38. Kramer, Harold A.; Engineering Aspects of Rice Drying, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 44-45, Jan., 1951.
39. Kunze, O.R. and S.E. Hall; Relative Humidity Changes that cause Brown Rice to Crack, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 8, No. 9, p. 396-399, 1965.
40. McCune, W.E., et al; Conditioned Air Storage of Grain, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 6, No. 3, p. 186-188, 1963.
41. McNeal, Xzin; Rice, Aeration, Drying and Storage, *Agr. Experiment Station, Univ. of Arkansas, Fayetteville, Oct., 1957.*
42. Morrison, Stantion; Drying Rice with Unheated Air, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 735-736, Oct., 1954.
43. O' Dowd, E.T.; Hermetic Storage of Cowpea (*Vigna unguiculata* Wamp) in Small Granaries, Silas and Pits in Nothern Nigeria, England, 1972.
44. Perry, John S.; Equipment and Techniques for Determining Moisture Content of Pea Beans in Bulk Storage, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 4, p. 90-91, 1961.
45. Person, N.K. Jr., et al; Thermodynamic Consideration in Designing Controlled Storage Environment for Bulk Grain, *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 9, No. 4, p. 520-523, 1966.
46. Rabe, F.E.; Aeration of Grain in Vertical Bins, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 98-103, Feb., 1958.
47. Ross, I.J. and G.W. Isacs; Forces Acting in Stocks of Granular Materials(Part I), *Trans. of A.S.A.E.*, Vol. 4, No. 1, p. 92-96, 1961.
48. Shedd, C.K.; Resistance of Grains and Seeds to Air Flow, *Jour. of A.S.A.E.*, p. 616-619, 1953.
49. Smith, R.L. and S. Boon-long; Ferro-Cement Bins for Hermetic Storage of Rice, *A.I.T. Research Report*, No. 12, 1970.
50. Smith, W.D.; Some Problems in the Storage of the Southern Rice Crop, *Jour. of A.S.A.E.*, 1931.
51. Sorenson, J.W. Jr. and M.P. Davenport; Drying and Storing Flaxseed in Tasas, *Jour. of A.S.A.*

- E., p. 379—381, Jul., 1951.
52. Sorenson, J.W. Jr. and L.E. Crane; *Drying Rough Rice in Storage*, Texas Agr. Experiment Station, Mar., 1960.
 53. Striniman, E.J.; *Grain Handling Methods in Relation to Combine Harvesting*, Trans. of A. S. A. E., p. 227—243, 1966.
 54. Teter, N.C. and C.M. Roare; *Molds Impose Limitation of Grain Drying*, Jour. of A.S.A.E., p. 24—27, Jan., 1958.
 55. Wang, J.K. and C.E. Gall; *Moisture Movement in Hygroscopic Materials (A Mathematical Analysis)*, Trans. of A.S.A.E., Vol. 4, No. 1, p. 33—36, 1961.
 56. Zachariah, G.L. and R.I. Lipper; *Weather Data as Pertaining to Crop Drying*, Trans. of A.S.A.E., Vol. 9, No. 2, p. 261—264, 1966.
 57. Zoeb, C. Gerald; *Instrumentation and Measurement Techniques for Determining Physical Properties of Farm Products*, Trans. of A.S.A.E., Vol. 10, No. 1, p. 100—109, 1967.
 58. 伴敏三; 人工乾燥における米の胴割れに關する實驗的研究, 日本農業機械化研究所 研究成績, No. 8, 1971, 10.
 59. —, 外 2人; 乾燥貯藏用機械に 關する研究, 日本農業機械化研究所 研究成績, p. 51, 1969.
 60. —, 外 2人; 循環式乾燥機の性能向上に 關する研究, 日本農業機械化研究所 研究成績, 1971.
 61. —, 外 3人; 乾燥調製用機械に 關する研究, 日本農業機械化研究所 研究成績, p. 1, 1971.
 62. 韓國科學技術研究所; *Rice Center의 基本設計*, 1972.
 63. 細川明, 本橋園司; 一粒の 粳の乾燥特性, 日本農業機械學會誌, Vol. 33, No. 1, p. 63, 1971.
 64. 池田 聰; 乾燥のはなし, 1970.
 65. 石橋貞人; 穀物の 冷却乾燥貯藏に 關する研究, 日本農業機械學會誌, Vol. 34, No. 3, p. 242, 1972.
 66. 中央觀象臺; 韓國氣象年表 (I) (1931~1960), 1968.
 67. 金津豊彦外 2人; 乾燥機(たて型)の 試驗研究に 關する研究, 日本農業機械化研究所 研究成績, 1969.
 68. 小泉武紀; 穀物の 大規模乾燥 及び 貯藏裝置に 關する資料, 日本農業機械學會誌 Vol. 26, No. 1, 2, 4, 1965.
 69. 金載勳; 農産食品加工, 1971.
 70. 金省三; 切干고구마 乾燥에 關한 研究, 1966.
 71. 李哲周; 米麥斗 其他 農産物의 乾燥特性 및 乾燥施設에 關한 研究, 科學技術處, 1970.
 72. —; 農産物(切干고구마) 乾燥特性 및 乾燥施設에 關한 試驗研究, 科學技術處, 1968.
 73. 森野一高 外 4人; 農業施設學, 朝倉書店, 1966.
 74. 中馬豊 外 2人; 穀類の乾燥に 關する基礎的試驗, 日本農業機械學會誌, Vol. 32, No. 4, 1969.
 75. 日本農業機械化研究所; 水田作の 機械化に 關する 試驗研究(大型乾燥裝置による 生粒の乾燥ムラについて) p. 349, 1968.
 76. —; 乾燥 貯藏 輸送 加工用 機械に 關する 研究 成績, p. 187, 1964.
 77. 農水産部; 農業機械化計劃, p. 36, 1972.
 78. 徐奇奉 外 3人; 米穀斗 調製形態別 倉庫別 貯藏에 關한 研究, 農工利用研究所 論文第一集, 1971.
 79. 東京大學 農業工學教室編; 農業機械實驗使覽, 1966.
 80. 山澤新吾 外 3人; 農産物の乾燥に 關する 基礎的 研究(I, II) 日本農業機械學會誌, Vol. 33, No. 2, 3, 1971.
 81. 山下律野; 粳の乾燥に 關する 研究(I)~衝擊粒の損傷と乾燥特性について~, 日本農業機械學會誌, Vol. 28, No. 3, p. 162, 1966.
 82. —; 大規模 乾燥調製 施設の研究(I)(II), 日本農業機械學會誌, Vol. 27, No. 4, 1966, Vol. 296 No. 4, 1967.