

太陽熱을 利用한 農産物乾燥에 關한 研究(I)*

—벼의 乾燥에 對하여—

Drying of Crops with Solar Heated Air

—Drying of Rough Rice—

李 文 男** · 琴 東 赫** · 柳 能 桓**
Lee, Moon Nam · Kuem, Dong Hyeuk · Ryu, Neung Hwan

Summary

Drying grain with conventional artificial drying methods requires great quantities of petroleum fuels. Depletion of fossil fuel increases the need of the utilization of solar energy as an alternative to petroleum fuels for drying grain, an energy intensive agricultural operation.

Many techniques for the utilization of solar energy in grain drying have been developed, however, there are many problems in adopting solar energy as an energy sources for drying grain. Furthermore, very little research has been done on solar grain drying in Korea.

This study was conducted to evaluate the availability of solar energy for drying of rough rice in Chuncheon, Suweon, and Jinju areas based on 5-year meteorological data, and to analyze experimentally the performance of a solar air collector for drying grain, and to find the effects of solar heated air compared to unheated air on the rate of drying and energy consumption required for drying of rough rice.

The results of this study may be summarized as follows:

1. Monthly average daily total radiatiation on a horizontal surface in October was 260.6 ly/day for Chuncheon, 240.3 ly/day for Suweon, and 253.4 ly/day for Jinju area, respectively.
2. The ratio of monthly average daily diffuse radiation to daily total radiation on a horizontal surface was approximately 0.41 for Chuncheon, 0.45 for Suweon, and 0.44 for Jinju area, respectively.
3. Although the statistical distribution curves of daily total radiation for the three

*본 연구는 문교부 재정 지원에 의한 것임

**江原大學校 農科大學 農工學科

locations were not identical, the differences among them were not large and may be neglected for many practical purposes.

4. It was estimated that the optimum tilting angle of the collector in October was approximately 46 degrees for Chuncheon and Suweon and 45 degrees for Jinju.

5. The ratio of the total radiation on a optimum tilting plane to that on a horizontal plane was estimated to be 1.36 for Chuncheon, 1.31 for Suweon, and 1.27 for Jiuju, respectively.

6. The collection efficiency of the solar air collector ranged from 47.8 to 51.5 percent at the air flow rates of 251.1-372.96 m³/hr. High efficiency remained nearly constant during the best sunshine hours, 10 a.m. to 2 p.m. and decreased during other hours. More energy was collected as the air flow rate increased.

7. The average temperature rise in the drying air from the solar collector for the test period varied from 6.5°C to 21.8°C above the ambient air temperature.

8. Solar-dried rough rice averaged 13.7 percent moisture (w.b.) after 130 hours of drying with the air flow rate of 1.64 ccm/m³, and rough rice dried with natural air averaged 15.1 percent moisture (w.b.) after 325 hours of drying with the same air flow rate.

9. Energy saving of 2.4 kwh per m³ percentage point of moisture removed was obtained from solar heated air drying. The solar bin used 53.3 percent less energy per percentage point of moisture removed than the natural air bin.

1. 緒 言

1973년의 石油波動을契機로 地球上의 石油埋藏量의 限界性이 더욱 認識되었고 石炭資源도 可用性이 오래 持續되지는 못할 것으로 알려져 化石燃料의 節約 및 代替方安의 하나로 太陽에너지에 관한 研究가 活氣를 띠게 되었다.

太陽에너지는 環境汚染을 誘發하지 않으며, 無限한 量이지만, 그의 密度가 낮고 氣象 및 地理의 條件 등에 敏感한 不安定한 에너지이기 때문에 利用上의 어려운 點은 많으나 效果的인 集熱 및 貯藏法의 開發로 그 問題點을 解決할 수 있을 것으로 期待된다.

農業에서 太陽에너지는 灌溉用 펌프의 動力, 畜舍 또는 기타 農場施設의 暖房 등 여러分野에서 그 利用이 可能하지만, 무엇보다도 農産物의 乾燥에 利用하는 것이 가장 바람직한 것으로 評價되고 있다¹⁾. 그 이유로는 첫째 農産物 乾燥은 低水準의 熱投入으로 可能할 뿐만아니라, 變動의인 熱投入이 허용되므로 比較的 效率이 높은 저렴한 集熱器의 開

發이 可能하며, 둘째 被乾燥物 自體가 蓄熱의 媒體 역할을 할 수 있으며, 셋째 全農作業工程中 乾燥工程이 가장 에너지 集約的인 工程이 되고 있으므로, 에너지 節約效果를 가장 크게 期待할 수 있기 때문이다.

穀物의 乾燥方法에는 高溫高速乾燥 시스템(High-temperature, high-speed drying system)과 低溫貯藏乾燥 시스템(Low-temperature, in-storage drying system)으로 나눌 수 있는데, 에너지 節約 및 太陽에너지의 利用面에서 볼때 後者が 보다 더 有利한 것으로 評價되고 있다¹⁰⁾. 前者는 一般적으로 高溫의 熱風이 要求되므로 集熱器의 製作費用이 過大하여 아직까지는 經濟的 受當性이 稀薄한 것으로 分析되고 있으며, 反面에 後者の 경우는 常溫의 空氣를 通風하거나, 이를 약간 加熱하여 利用하기 때문에 集熱器의 製作費用을 줄일 수 있으며, 또한 定溫이 必要하지 않으므로 變動이 심한 太陽ener지를 利用하기에 便利한 것으로 看做되고 있다.

그러나 아직까지 穀物乾燥의 에너지 源으로 低密度의 不安定한 太陽ener지를 收容採擇하기에는 많은 技術的인 問題點이 있으며, 특히 우리나라의 경

우 이에 대한 研究가 아직 거의 이루어지지 않고 있는 實情이다.

本研究의 目的은

① 太陽에너지를 利用한 穀物乾燥와 關聯된 氣象條件을 分析하여 太陽에너지의 利用可能性을 評價하며.

② 太陽에너지 및 自然通風을 利用한 벼의 乾燥實驗을 遂行하여 에너지 節約效果 및 乾燥特性을 比較分析하는 데 있었다.

Nomenclature

A =Area of absorbing plate (m^2)
 C_a =Specific heat of dry air (0.241 kcal/kg- $^{\circ}C$)
 C_w =Specific heat of water vapor (0.448kcal/kg- $^{\circ}C$)
 H =Daily total radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 \bar{H} =Monthly average daily total radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 H_b =Daily direct radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 \bar{H}_b =Monthly average daily direct radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 H_d =Daily diffuse radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 \bar{H}_d =Monthly average daily diffuse radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 H_e =Daily total extraterrestrial radiation on a horizontal surface (Ly/day)
 H_t =Daily total radiation on a tilted surface (Ly/day)
 I_d =Hourly diffuse radiation on a horizontal surface (Ly/hr)
 I_h =Hourly total radiation on a horizontal surface (Ly/hr)
 $K_d = \frac{H_d}{H_o}$
 $\bar{K}_d = \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}_o}$
 $K_T = \frac{H}{H_o}$
 $\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o}$
 L =Latitude (degrees)

P_a =Barometric pressure (1.0332 kg/cm 2 , abs)
 P_s =Saturated vapor pressure (kg/cm 2 , abs)
 P_v =Vapor pressure of the air (kg/cm 2 , abs)
 Q =Collection energy (kcal/hr)
 R =Orientation factor for daily total radiation (dimensionless)
 R_b =Orientation factor for daily direct radiation (dimensionless)
 RH =Relative humidity (%)
 R_i =Gas constant of dry air (29.27kg-m/kg- $^{\circ}K$)
 R_{Ib} =Orientation factor for hourly direct radiation (dimensionless)
 R_{IT} =Orientation factor for hourly total radiation (dimensionless)
 S =Percentage possible sunshine (decimal)
 t_a =Ambient air temperature ($^{\circ}C$)
 T_a =Ambient air temperature ($^{\circ}K$)
 t_o =Temperature at outlet of collector ($^{\circ}C$)
 V =Air flow rate (m^3/hr)
 W =Humidity ratio
 β =Tilted angle (degrees)
 ρ =Ground reflectance (dimensionless)
 θ_h =Incidence angle on a horizontal surface (degrees)
 θ_t =Incidence angle on a tilted surface (degrees)
 ω =Hour angle (degrees or radian)
 ω_s =Hour angle from sunrise to solar noon

2. 文獻概要

太陽熱을 穀物乾燥에 利用할려는 研究가 Davis ' Zachariah, Lipper (1957)¹²⁾에 의하여 처음 시도된 이후, Buelow와 Boyd (1957)⁸⁾, Buelow (1958)⁷⁾, Lipper과 Davis (1959, 1960, 1961)^{12, 13, 14)}, Bates (1962)⁹⁾, Löf (1962)¹⁷⁾, Sobel과 Buelow (1963)²⁴⁾, Robertson과 Morey (1963)¹⁸⁾, Phillips (1965)¹⁰⁾, Bailey와 Williamson (1966)¹¹⁾, Peterson (1973)²⁰⁾ 등에 의하여 研究되어 왔다. 그러나 研究가 本格化된 것은 1973년의 石油 危機 以來 1974年度 부터 이었으며¹⁹⁾, 이러한 研究들은 大部分 低溫乾燥에 太陽熱을 利用하는 것, 卽, 常溫通風乾燥의 補助熱源으로 太陽熱을 利用하는 것이었다. 現在까지 遂行된 太陽熱을 利用한 穀物乾燥에 관한 研究

는 다음 세 分野로 나눌 수 있다.

① 補助熱이 없는 常溫通風乾燥 및 電熱을 補助熱源으로한 低溫乾燥와 比較試驗.

② 穀物乾燥用 空氣加熱을 위한 標準의인 低廉한 低溫 太陽熱 集熱器의 開發試驗.

③ simulation model에 의한 太陽熱利用乾燥의 地域別 作物別 潛在力 分析.

1960年 Robertson과 Morey는 黑色 플라스틱 필름을 地表에 깔고 그위에 支持物을 設置하여 加熱空氣가 通過될 수 있는 空間을 약간 두고 透明 플라스틱 필름을 덮은 集熱器를 製作하여 수수의 乾燥를 한 結果, 常溫 通風に 비하여 乾燥期間이 短縮 되었다고 報告 하였다. 1974~1975 美國의 北中部에서 콩, 수수 및 옥수수에 대한 太陽熱을 利用한 低溫貯藏 乾燥實驗에서 모든 乾燥穀物의 質的損傷없이 安全貯藏水分含量까지 乾燥되었으며 乾燥速度는 常溫通風乾燥에 比해서는 빨랐으나 電熱을 補助熱源으로 하여 大氣溫度보다 4~5.5°C 정도 높은 공기를 24時間 계속 通風乾燥한 低溫乾燥보다는 느리게 나타났으며, 이러한 乾燥速度는 穀質에 損傷을 주지 않은 範圍라고 報告되고 있다¹⁰⁾. 一般적으로 太陽熱을 利用한 乾燥가 乾燥速度에 있어서 常溫通風乾燥에 比하여 빠르며 電熱을 利用한 低溫乾燥 보다는 느린 것으로 報告되고 있다.

最終水分含量은 一般적으로 太陽熱을 利用한 乾燥가 常溫通風の 경우 보다는 낮게 나타났으나 電熱을 補助熱源으로 계속 乾燥한 低溫乾燥 보다는 높게 나타났다. 28m²의 Inflated tublar type 集熱器를 利用한 옥수수의 乾燥의 경우^{20), 21)} 2.7~3.0m²/min-ton의 送風으로 20日間 乾燥後, 最終水分含量이 太陽熱乾燥에서는 13.2%, 常溫通風乾燥에서는 14.4%로 나타났다. 集熱器의 크기 2.8m²/ton, 風量 2.2m³/min-ton으로 最初 水分含量 24%의 옥수수를 24日間 乾燥한 後 水分이 16%로 되었으며, 電熱을 利用하여 送風空氣의 溫度를 5.6°C 상승시켜 건조한 경우는, 16日 乾燥後 14.6%로 나타났다.

一般적으로 熱利用率에 있어서는 太陽熱을 利用한 乾燥가 常溫通風乾燥보다 약간 높거나 거의 같은 것으로 報告되고 있다^{4), 14)}. 熱利用率은 14~46%로 變化가 甚하며 乾燥에 利用된 全熱量의 약 20%~34%가 太陽熱集熱器에서, 약 66~80%가 空氣와 送風器에서 充當된다고 報告 되었다.

에너지 節約面에서는 수수의 乾燥의 경우 常溫通風乾燥에 比하여 23~52%의 에너지가 節約되었으

며, 옥수수 乾燥에서는 26~55%의 에너지가 節約된 것으로 發表되었다. 그러나 太陽熱의 費用効果는 아직까지 뚜렷하게 나타나지 않고있다.

Computer simulation¹⁶⁾에 의하면 低溫으로 貯藏 乾燥할 境遇, 太陽熱乾燥에서는 929m²의 集熱器를 利用할 경우 21ton의 穀物乾燥費用이 \$9.04/ton, 프로판가스에 의한 乾燥는 \$5.74/ton, (太陽乾燥의 63.5%)電力에 의한 乾燥는 \$9.46/ton (太陽熱乾燥의 104.6%)이 所要될 것으로 報告되어 비용 절감 효과가 뚜렷하지 못하다. 따라서 集熱施設의 利用率을 提高시켜 穀物乾燥 費用을 줄이려는 意圖에서 太陽熱集熱 System을 穀物乾燥뿐만 아니라 空間暖房, 물의 加熱, 기타 農產物 乾燥등 多目的으로 利用하여야 한다고 보고되고 있다¹⁰⁾. 또한 集熱器로 利用될 수 있는 穀物의 상태 및 日射條件을 포함한 氣象條件이 乾燥에 所要될 熱量 및 送風量에 미치는 效果를 판단하기 위하여, 最終水分含量 15%, Dry matter loss 0.5%를 기준으로 하고, 送風機로부터 1.1°C, 太陽熱로부터 1.7°C의 平均的인 空氣溫度 上升效果가 있는 것으로 보고 分析한 結果에 의하면, 低溫通風乾燥에 가장 큰 影響을 주는 因子는 風量이며 集熱器로부터의 補助熱은 風量減少에는 거의 影響을 주지 못하는 것으로 보고 되고 있다. 그러나 相對濕도가 높은 地域에서는 太陽熱에 依한 風量 減少 效果가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 太陽熱을 利用한 乾燥는 乾燥期間을 短縮시켜 주며, 乾燥의 成功確率을 增大시켜 주는 것으로 發表되어 있다.

3. 太陽에너지의 利用性 分析

太陽에너지의 利用性과 關聯된 氣象條件으로는 日射量, 日照時間 및 日照率, 氣溫, 風速과 風向, 太陽의 高度 등을 들 수 있다. 日射量, 日照時間 및 日照率은 太陽輻射熱과 直接的인 關係가 있으며, 氣溫, 風速 및 風向 등은 太陽에너지 利用裝置에서 熱傳達과 密接한 關係가 있다.

우리나라의 秋穀收穫期인 10月の 太陽에너지의 利用性을 判斷하기 위하여 中部地方인 春川(N 37° 52'), 水原(N 37° 16')과 南部地方인 晉州(N 35° 11') 地方의 氣象資料를 擇하였다. 各地域 共히 五個年間(춘천 1972~1976, 수원 1973~1977, 晉州 1973~1977)의 日別 日射量, 日照時間, 氣溫의 當해 地方의 測候所의 觀測值를 分析에 利用하였다.

가. 水平面 日射量 分析

地表上에서의 日射量은 直達日射量(Direct radiation)과 散亂日射量(Diffuse radiation)으로 나눌 수 있으며, 太陽熱 集熱器의 性能解析을 爲해서는 이들 두량을 모두 實測하여야 한다. 그러나 氣象觀測所에서 얻을 수 있는 資料는 대부분 總日射이므로 이들을 推定하지 않으면 안된다. 뿐만아니라 日射量은 季節 및 時刻에 따라 그 變化가 甚하므로 어느 特定時刻의 變化의 程度보다는 集熱施設의 利用期間 동안의 長期的인 變化傾向을 分析하여야 한다.

大氣圈밖에 照射된 太陽에너지는 大氣를 通過할 때 大氣中の 구름, 오존, 먼지 등에 依하여 吸收散亂되며, 이 중에서 구름에 依한 影響이 가장 크다. 즉, 雲量의 程度에 따라 大氣의 透過率이 變하게 되며, 散亂日射量이 變하게 된다. Liu와 Jordan¹⁵⁾은 大氣의 透過率과 散亂日射量과의 關係를 統計的인 方法으로 推定한 바 있다.

大氣의 透過率에 依하여 大氣의 條件 즉 雲量의 程度를 判斷할 수 있으며, 散亂日射量도 推定할 수

있다. Liu와 Jordan¹⁵⁾은 特定日의 K_T 의 값이 0.75에 가까우면 거의 구름이 없음을 뜻하며, 산란일사량은 大氣圈밖의 日射量의 약 12%, $K_T=0.4$ 이면 부분적으로 구름이 存在하는 날이며, 散亂日射量은 맑은날보다 2倍以上 增加하여 大氣圈밖의 日射量의 거의 25%에 達하는 것으로 報告하였으며, 月平均의 으로 보면 \bar{K}_T 의 값은 最小 0.3에서 最大 0.75까지 分布하지만 大部分 0.3—0.6範圍에 있으며, \bar{K}_d 의 값은 最小 0.125에서 最大 0.188의 範圍에 分布하는 것으로 發表하였다.

또한 \bar{K}_T 의 값이 0.75에 가까우면, 거의 매일 맑은 날이 連續되는 것으로 看做할 수 있으며, 따라서 K_d 및 K_T 의 값도 거의 매일 一定한 값을 갖게 되며, \bar{K}_T 의 값이 0.3 以下이면 거의 매일 大氣의 條件이 不良한 것으로 判斷할 수 있다고 報告하였다. 또한 그는 \bar{K}_T 의 값에 따라서 K_T 의 分布狀態가 一定한 樣相을 나타낸다는 事實을 統計的인 方法에 依하여 推定한 바 있다. 따라서, \bar{K}_T 값에 依하여 直達 및 散亂日射量, 日射量 分布狀態 등 日射條件이 判斷될 수 있다.

調査地域의 大氣圈밖의 水平面 日射量, 地表上에

Table 3-1. Measured daily total radiation and other data calculated by Liu and Jordans' method for October.

Location	L	H_0	H		\bar{K}_T	\bar{K}_d	\bar{H}_d/F	\bar{H}_d	\bar{H}_s	t_a
			Mean	S.D.						
Chuncheon	37° 52' N	575.7	260.6	99.7	0.453	0.186	0.411	107.0	153.6	13.5
Suweon	37° 16' N	582.9	240.3	101.5	0.412	0.184	0.447	107.3	133.0	14.8
Jinju	35° 11' N	607.6	253.4	98.7	0.417	0.184	0.441	111.8	141.6	16.4

서의 水平面 日射量, 大氣의 透過率 및 Liu와 Jordan¹⁵⁾의 方法에 依하여 推定한 直達 및 散亂日射量의 10月平均値는 Table (3-1)과 같다.

Table (3-1)에서와 같이 地表上의 水平面 日總日射量은 春川이 260.6 Ly/day로 가장 많으며, 晉州 253.4 Ly/day, 水原 240.3 Ly/day의 順이며, 이中 散亂日射量이 各各 41.1%, 44.1%, 44.7%로 나타났다. 또한 大氣의 透過率도 春川이 0.453, 晉州 0.417, 水原 0.412의 順序로 나타남으로써 3地域中 春川地域의 日射條件이 약간 좋은 것으로 判斷할 수 있다.

Fig. (3-1)은 調査地域의 水平面 日射量의 累積度數分布 그래프이다. Fig. (3-1)에서와 같이 日射量의 分布 樣相도 큰 差異는 없으나, 역시 3地域中

春川地域의 條件이 약간 좋은 것으로 判斷된다. 예컨대 水平面 日射量이 100 Ly/day以上인 確率은 春川이 93.5%, 晉州가 92.3%, 水原이 89.1%이다. 즉 10月中 春川은 29日, 晉州는 29日, 水原은 28日間 100 Ly/day以上의 日射量을 받을 수 있으며, 300 Ly/day以上을 받을 수 있는 日數는 春川 13日, 晉州 12日, 水原 10日이 된다.

나. 日照時間 및 日照率 分析

地表上에서의 日射量은 구름에 依한 影響이 크기 때문에 日射量은 日照率에 따라서 거의 直線的인 變化를 하는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾

Table (3-2)는 調査地域의 日照率을 나타낸 것으로 10月平均日照率은 春川地域이 50.6%, 水原 50.7%

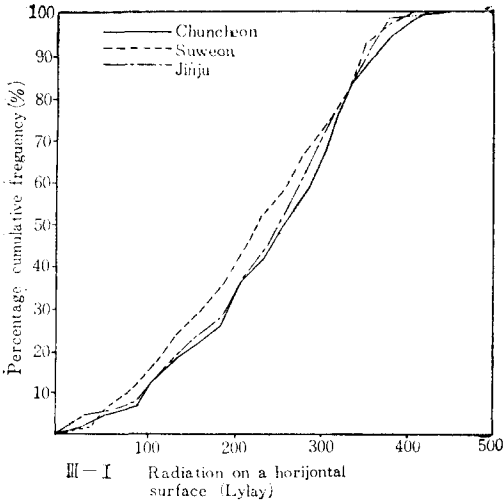


Fig. 3-1. Percentage cumulative frequency curve of daily total radiation for October based on 5-years weather data at 3 locations.

%, 晉州 54.5%이다. 즉 10月平均 日照時間이 春川 5.6 hr/day, 水原 5.6 hr/day, 晉州 6.1 hr/day로 나타났다. 日照가 20%, 즉 日照時間이 2.2時間以下가 되는 日數는 春川이 5.6日, 水原 7.4日, 晉州 5.8日로 나타났으며, 日照率이 80% (日照時間 約 9時間)以上인 日數는 各各 5.2日, 6.4日, 8.8日로 나타났다.

日照率과 日射量과의 關係는 여러가지 式으로 表現되어 왔으나 가장 一般的인 關係式은 Prescott⁵⁾, Page²⁾, Löf,²⁾ Harris¹¹⁾等에 依하여 다음과 같이 表示되었다.

$$H = H_0 (a + bs) \dots\dots\dots(3-1)$$

여기서, H = 水平面 日射量(Ly/day)

H_0 = 大氣圈밖의 總水平面 日射量(Ly/day)

a, b = 常數

S = 日照率(小數)

調査地域에 對한 (3-1)式의 常數 a, b 의 값은 表 (3-2)와 같으며, 3箇 地域 共히 高度의 有意性이

Table 3-2. Percentage possible sunshine hours and constants for use in equation (3-1) for October.

Location	Percentage possible sunshine hours		Percentage days with percentage possible sunshine hours		Constants		Coefficient of correlation
	Mean (%)	S.D. (%)	Less than 20%	More than 80%	a	b	
Chuncheon	50.6	3.2	18.1	16.8	0.172	0.555	0.9117**
Suweon	50.7	3.3	23.9	20.6	0.209	0.399	0.7032**
Jinju	54.5	3.5	18.7	28.4	0.169	0.456	0.8688**

있는 것으로 나타났으며, 常數 a, b 의 값은 Löf,²⁾ Harris¹¹⁾等에 依하여 算出된 값과 비슷하였다.

Table (3-2), Fig. (3-1)과 式(3-1)에 依하면 調査地域에서 日照率 20% 즉 158~168 Ly/day以上の 水平面 日射量을 받을 수 있는 日數는 23~25日로 判斷할 수 있다.

다. 傾斜面에서의 日射量

傾斜面에서의 日射量은 水平面 日射量에 對한 傾斜面 日射量의 比, 즉 方向係數(Orientation factor)에 依하여 算出한다. 方向係數는 直達日射量의 境遇와 散亂日射量 및 地表上에서의 反射에 依한 境遇의 값으로 나누어지며, 다음 式으로 表示된다.

$$R_{IT} = \left(1 - \frac{I_d}{I_h}\right) R_{Ib} + \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \left(\frac{I_d}{I_h}\right) + \frac{1}{2} (1 - \cos\beta) \rho \dots\dots\dots(3-2)$$

여기서, R_{Ib} 는 時間當 直達日射量에 對한 方向係

數로서 다음 式으로 表示된다.

$$R_{Ib} = \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_h} = \frac{\cos(L-\beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(L-\beta) \sin\delta \sin\omega}{\cos L \cos\delta \cos\omega + \sin L \sin\delta \sin\omega} \dots\dots\dots(3-3)$$

式 (3-2)의 둘째 및 셋째 項은 各各 散亂 및 地表에서의 反射에 依한 日射量에 對한 方向係數로서 集熱器의 傾斜角(β)만의 函數로서 傾斜面에서의 散亂 및 反射에 依한 日射量은 恒常 水平面에서의 값보다 적게된다. 따라서 傾斜面에서의 日射量은 주로 直達日射量의 方向係數에 影響을 받게된다.

適定傾斜角은 集熱器가 單位時間에 가장 많은 太陽에너지를 받을 수 있는 角으로서 이것은 季節과 時刻에 따라 變하므로 集熱器의 利用期間 동안 日射強度가 가장 큰 時刻에서의 方向係數(R_{Ib})를 가장 크게하는 값으로 決定할 수 있을 것이다. 즉 正午($\omega=0$)에 R_{Ib} 의 값이 最大가 되도록 傾斜角을 定하

던 될 것이다. 式 (3-3)에서 $\omega=0$ 이면,

$$R_{Ib} = \cos\beta + \tan(L-\delta)\sin\beta \dots\dots\dots (3-4)$$

로 된다.

式 (3-4)에서 R_{Ib} 의 最大値는 $\beta=L-\delta$ 일 때이다.

秋穀乾燥期인 10月の 適定傾斜角을 10月 16日 ($\delta=-8.5^\circ$)을 基準으로 算出하면, 春川 46° , 水原 46° , 晋州 44° 로 된다. 傾斜角 $1\sim 2^\circ$ 의 變化는 日射量에 거의 影響을 주지 못하므로 南韓全境에 걸쳐서 45° 로 取하더라도 좋은 것으로 判斷된다. 이와 같은 方法은 集熱器를 利用하는 期間동안 大氣條件의 變化가 甚하지 않은 10月の 境遇에는 매우 妥當한 方法으로 볼 수 있으나, 보다 長期的이고 日射條件의 變化가 甚한 季節의 境遇는 傾斜角에 따라서 直達日射量의 方向係數를 算出하여 決定하여야 할 것이다.

一般의 集熱器의 適定傾斜角은 그 地方의 緯度와 關聯되는 것으로 年平均의 最 많은 直達日射量을 받을 수 있는 傾斜角은 緯度의 約 90%의 角¹⁸⁾ 혹은 緯度와 같은 角¹⁹⁾ 등의 報告가 있으며, 冬節期에는 $L+10^\circ$, 夏節期에는 $L-10^\circ$ 등으로 發表된 바 있으나, 이는 모두 直達日射量에 根據하여 算出된 것이므로 散亂日射量은 考慮한다면 集熱器의 傾斜角의 影響은 顯著하게 달라질 수 있을 것이다.

緯度, 季節 및 時刻에 따라 大氣의 條件이 變하기 때문에 散亂日射量이 달라지게 된다. 따라서

R_b 의 값이 같은 地域이더라도 傾斜角이 總日射量에 미치는 效果는 서로 다르게 된다.

日總水平面 直達日射量에 對한 傾斜面에서의 直達日射量의 比는 다음 式으로 表示된다¹⁶⁾.

$$\omega_s \leq \omega_s' \text{ 일때,}$$

$$R_b = \frac{\cos(L-\beta) \sin\omega_s - \omega_s \cos\omega_s'}{\cos L \sin\omega_s - \omega_s \cos\omega_s} \dots\dots (3-5)$$

$$\omega_s \geq \omega_s' \text{ 일때,}$$

$$R_b = \frac{\cos(L-\beta) \sin\omega_s' - \omega_s' \cos\omega_s}{\cos L \sin\omega_s - \omega_s \cos\omega_s} \dots (3-6)$$

여기서, $\cos\omega_s' = -\tan(L-\beta)\tan\delta$ 이다.

Table (3-1)과 式 (3-2), (3-5), (3-6)에 依하여 算出된 몇 가지 傾斜角에서 R_b , R 및 H_t 의 값은 Table (3-3)과 같다.

Table (3-3)에서와 같이 集熱板의 傾斜角이 $\beta=L-\delta$ 일때의 日射量이 가장 많으며 春川地域은 水平面 日射量보다 35%, 水原 31%, 晋州 27%를 더 받을 수 있게 된다. $\beta=30^\circ$, $\beta=60^\circ$ 일때의 傾斜面 日射量도 水平面 日射量보다 24~28% 增加된 現狀을 나타내고 있어, $\beta=L-\delta$ 의 경우와 크게 差異가 없다. 따라서 傾斜角이 $30^\circ\sim 60^\circ$ 範圍에서는 어떠한 傾斜角을 取하더라도 傾斜面에 照射된 日射量은 큰 差異가 없을 것으로 判斷할 수 있다. 한편, 垂直面에서의 日射量은 水平面 日射量보다 8~16% 程度 더 많은 것으로 나타났다.

Table 3-3. Monthly average daily total radiation on tilted surfaces for October.

Location	$\beta=30^\circ$			$\beta=60^\circ$			$\beta=90^\circ$			$\beta=L-\delta$		
	R_b	R	H_t	R_b	R	H_t	R_b	R	H_t	R_b	R	H_t
Chuncheon	1.5548	1.3126	342.09	1.6459	1.3277	346.03	1.4552	1.1626	303.00	1.6555	1.3533	352.70
Suweon	1.5365	1.2801	307.54	1.6185	1.2803	307.59	1.4296	1.1141	267.66	1.6298	1.3108	314.92
Jinju	1.4776	1.2508	316.90	1.5305	1.2363	313.23	1.3509	1.0757	272.54	1.5483	1.2730	322.53

4. 常溫通風 및 太陽에너지를 利用한 穀物乾燥

가. 實驗材料 및 方法

1. 供試材料

本 實驗은 江原道 春川市 江原大學校에서 實施되었으며 常溫通風 乾燥實驗 期間은 1978年 10月 14日부터 11月 3日이었고, 太陽에너지를 利用한 乾燥實驗은 1978年 10月 10日에 始作하여 10月 24日에 終了되었다. 各 實驗에 使用된 벼의 品種 및 栽培關係資料는 Table (4-1)과 같다.

本 實驗에 使用된 벼는 自脫型 콤바인으로 收穫한 것으로, 乾燥始作時의 水分含量은 水原 264號가 21.9%(w.b), 진흥이 24.8%(w.b)이었으며, 乾燥에 使用된 벼의 量 및 堆積 두께는 共히 3.04m³ 및 1.35m 이었다.

2. 乾燥裝置

常溫通風乾燥 및 太陽에너지를 利用한 乾燥에 使用된 穀物 bin은 共히 같은 構造로 하였다. 밑 면적 2.25m²(1.5×1.5m), 높이 1.8m의 正方形Bin으로, 두께 1.2cm의 合板으로 만들었다. 밑바닥에서 20cm

의 높이에 鐵網(눈의 크기 2.5mm×2.5mm)을 깔았으며, Bin의 높이에 따라 15cm 間隔으로 試料採取孔(直徑 3.2cm)을 設置하였다. 使用된 送風機는 12in, Forward-curved centrifugal fan으로 1734 rpm일때 42.6m³/min 風量을 낼 수 있는 것으로, 0.75kW의 單相 電動機를 連結하여 使用하였다.

Table 4-1. The agronomic and other data of the rice varieties used for drying test.

	Natural air drying	Solar heated-air drying
Variety	Jinheung	Suweon 264
Sowing	Apr. 25	Apr. 15
Transplanting	Jun. 17	Jun. 4
Harvesting	Oct. 11-Oct. 13	Oct. 8-Oct. 9
Drying period	Oct. 14-Nov. 3	Oct. 10-Oct. 24
Initial moisture content (% w.b.)	24.8	21.9
Quantity of paddy rice (m ³)	3.04	3.04
Grain depth (m)	1.35	1.35

常溫通風乾燥用 Bin은 屋內에 設置하였으며, 太陽에너지에 依한 乾燥用 Bin은 日射條件이 좋은 三層 屋上에 設置하였다.

乾燥實驗에 使用된 風量은 두 實驗 共히 每 1m³當 1.64m³/min이었다.

3. 太陽熱 集熱器의 構造

本 實驗에 使用된 集熱器는 그림 (4-1) (4-2)와

Table 4-2. Specification of the solar collector and its material

Type	Covered, suspended-plate	
Size (width×length, m)	0.79×9	
Net area of absorbing plate (m ²)	7.11	
Air space between absorbing plate and insulation (cm)	5	
Air space between cover and absorbing plate (cm)	5	
Tilted angle (degrees)	45°	
Materials	Cover	Polyethylene film with thickness of 0.1mm
	Absorbing plate	Black-painted corrugated galvanized iron plate (#24)
	Insulation	Syofoam with thickness of 5cm
	Air duct between collector and grain bin	bin PVC pipe insulated with strofoam of 5cm thickness
	Side walls of collector	Wood (lauan) with thickness of 3cm

같은 構造의 平面式 空氣加熱 集熱器였다. 集熱器의 덮개 板은 透明한 Polyethylen film (두께 0.1mm)를 使用하고, 集熱板은 24番 瓦葺 曲板에 검은 페인트를 칠하여 使用하였다. 斷熱材로는 5cm 두께의 Styrofoam을 使用하였으며 3cm 두께의 라왕으로 양 壁面을 만들었다. 덮개 板과 集熱板 사이에 5cm의 密閉空間을 設置하고, 集熱板과 斷熱層 사이에 5cm의 空氣通路를 設置하였다. 集熱板의

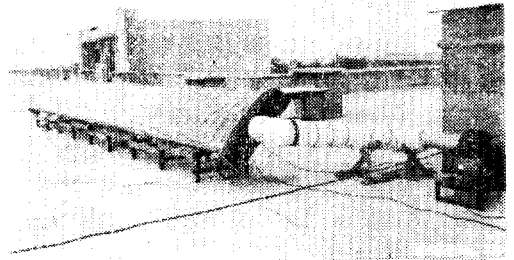


Fig. 4-1. View of the solar air collector

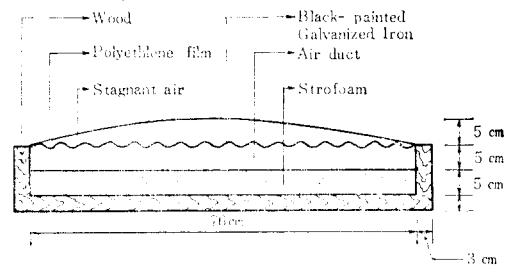


Fig. 4-2. Cross section of the collector.

크기는 폭 0.79m, 길이 9m로 集熱面積은 7.11m²였다. 集熱板의 傾斜角은 45°, 集熱器의 設置方向은 集熱板이 南쪽으로 向하게 하였다. 集熱器의 出口와 乾燥裝置 사이의 空氣通路는 直徑 15cm의 PVC管을 使用하였으며, 管 둘레를 5cm 두께의 Styrofoam으로 包고 石膏 프라스터를 塗하여 熱損失을 줄이도록 하였다. 集熱器의 空氣通路 入口와 出口 및 入口에서 부터 2m 間隔으로 溫度計를 設置하여 流通 空氣의 溫度를 測定할 수 있게 하였다.

4. 測定方法 및 器具

① 벼의 水分含量 : Grain bin의 鐵網에서부터 12cm, 60cm, 90cm, 120cm 높이의 各層에서 各層의 中央點 및 中央點에서 左右 50cm 點의 試料를 15g씩 세번 반복으로 1日 2回 採取하여 水分含量을 測定하였다. 벼의 水分含量은 Drying oven에 依한 110°C의 定溫乾燥法으로 測定하였으며, 精度 0.01%의 天秤을 使用하였다.

② 穀溫測定 : 試料 採取口로 水銀溫度計(精度 0.2°C)를 插入하여 1時間 間隔으로 낮 동안만 測定하였다.

③ 集熱器에서의 加熱空氣 溫度測定 : 集熱器의 入口에서 2m 間隔으로 集熱板과 斷熱層 사이의 空氣流通路에 水銀溫度計(精度 0.2°C)를 插入하여 空氣의 溫度를 낮 동안 1時間 間隔으로 測定하였다.

集熱器의 性能 試驗을 爲해서 3日間은 10分 間隔으로 空氣의 溫度를 測定하였다.

④ 大氣의 溫度, 相對濕度 및 日射量 : 春川測候所의 測定值를 使用하였다.

⑤ 動力 消費量 測定 : 110V, 30A用 積算電力計(測定精度 0.01KWH)를 使用하였다.

⑥ 風量測定 : 精度 1m/sec의 Biram anemometer를 使用하였다.

나. 結果 및 考察

1. 集熱器의 性能 分析

集熱器의 效率는 集熱板에 照射된 太陽熱量과 空氣가 集量器 속을 지나면서 吸收한 熱量의 比로 定義되므로 다음 (4-1)式으로 表示할 수 있다.

$$\eta = \frac{Q}{HRA} \times 100 \dots \dots \dots (4-1)$$

여기서,

$$Q = \frac{V(P_a - P_v)}{R_i T_a} [C_a + C_w W(t_o - t_a)] \dots \dots (4-2)$$

$$P_v = RH \times P_s \dots \dots \dots (4-3)$$

$$W = 0.62198 \frac{P_v}{P_v - P_a} \dots \dots \dots (4-4)$$

本 實驗에서는 V=251.10m³/hr (11月 2日), 299.16m³/hr(10月 31日), 372.96m³/hr (11月 3日)의 3段階의 風量에 對하여 各各 性能實驗을 하였다.

Table (4-3)은 V=299.16m³/hr일때 10月 31日의

Table 4-3. Hourly collection efficiency and Other data for the air flow rate of 299.16m³/hr during Oct. 31.

Time	H	R	H×R	HRA (kcal/hr)	RH (%)	T _a (°K)	t _o -t _a (°C)	P _s ×10 ³	P _v ×10 ³	W×10 ³	Q(kcal/ m ³)	η(%)
8-9	4.5	1.394	6.3	446.0	97	279.0	2.3	9.53	9.24	5.6	210.0	47.1
9-10	12.8	1.342	17.2	1221.4	91	281.0	7.0	10.93	9.95	6.0	634.8	52.0
10-11	22.5	1.320	29.7	2111.7	77	283.6	12.4	13.03	10.03	6.1	1114.4	52.8
11-12	34.0	1.312	44.6	3171.6	62	287.0	18.6	16.29	10.10	6.1	1651.7	52.1
12-13	36.0	1.312	47.2	3358.2	60	288.4	19.7	17.84	10.70	6.5	1741.1	51.8
13-14	32.1	1.320	42.4	3012.7	47	289.9	17.7	19.63	9.23	5.6	1555.9	51.6
14-15	27.0	1.342	36.2	2576.2	49	290.1	14.8	19.88	9.74	5.9	1300.1	50.5
15-16	19.9	1.394	27.7	1972.4	49	289.2	10.4	18.77	9.20	5.6	916.6	46.5
16-17	5.1	1.592	8.1	577.3	57	288.0	2.7	17.39	9.91	6.0	239.0	41.4

效率分析 結果이며, Fig. (4-3)은 各 風量別 溫度上昇 정도를 나타낸 것이다. Fig. (4-4)는 風量別 熱效率의 變化傾向을 表示한 것이다.

日射量이 增加할수록 風量이 적을수록 溫度上昇幅은 크며, 12時 30分과 13時 30分 사이에서 最大 上昇을 나타내었다. 集熱器의 效率는 外氣溫이 낮

은 10時 前과 14時 以時에는 急激히 저하하며, 10時에서 14時 사이에는 거의 같은 값을 나타내었다. 또 한 集熱器의 效率는 V=251.1m³/hr일때 47.8%, V=299.16m³/hr일때 49.5%, V=372.96m³/hr일때 51.5%로써 風量이 增加할수록 溫度上昇幅은 저하하지만, 效率는 增加함을 알수있다. 이러한 現狀은

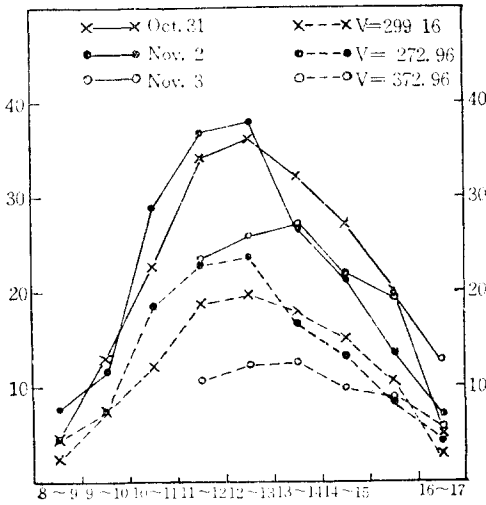


Fig. 4-3. Temperature rise variation during a day.

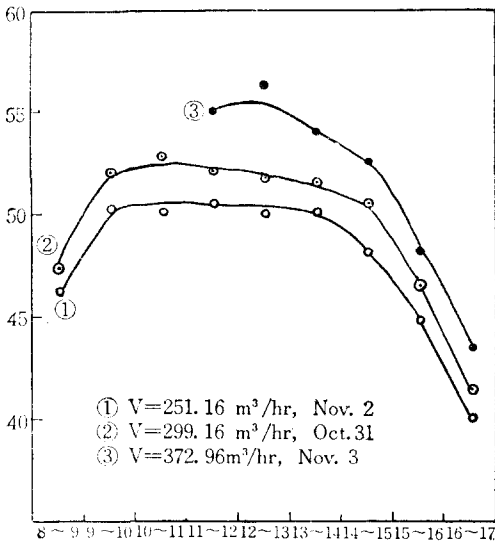


Fig. 4-4. Efficiency of solar collector at various air flow rate.

주로 集熱器 内の 溫度와 外氣溫度와의 差異에 依한 熱損失量에 起因한 것으로 外氣溫이 낮으면 熱損失이 增加하며, 風量이 낮으면 溫度上昇幅이 커지므로 集熱器内の 溫度와 外氣溫度와의 差異가 크기 때문인 것으로 解析할 수 있다.

2. 太陽熱에 依한 穀物乾燥期間中の 送風空氣의 溫度上昇

太陽에너지를 利用한 벼의 乾燥實驗 期間中 낮 동

안의 相對濕度 및 大氣溫度는 各各 63.4%, 14.6°C 로 같은 期間의 10年平均值인 65.2%, 13.8°C보다 乾燥潛在力이 높은 氣候條件 이었으며, 日射量의 平均值도 285.3Ly/day로 5年平均值인 260.6ly/day 보다 높은 값을 나타내었다.

Fig. (4-5)는 乾燥實驗 期間동안의 日射量, 送風空氣의 溫度上昇, 集熱에너지 및 集熱器의 效率을 나타낸 것이다.

乾燥實驗 期間의 集熱에 依한 送風空氣의 溫度上昇幅은 6.5°C~21.8°C의 範圍였으며, 送風空氣의 最高溫度의 平均值는 40.0°C, 最低溫度는 13.2°C, 平均 15.3°C로 送風空氣의 相對濕度を 63.4%에서

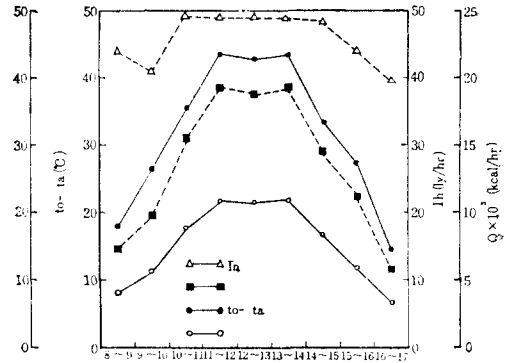


Fig. 4-5. Change of average hourly temperature rise, radiation, useful collection energy, and efficiency of collector for the drying test-period.

約 25%로 낮추는 結果로 나타나므로써 벼를 10% 以下로 乾燥할 수 있는 높은 潛在力을 갖게되어 不均一 및 過乾燥의 結果를 招來할 것으로 豫測할 수 있다. 集熱器의 效率은 平均 46.1%이었다.

3. 乾燥特性 및 에너지 節約效果

① 乾燥特性

乾燥實驗 期間동안에 日照時間이 가장 긴 날의 日照時間이 7時 부터 17時 30分까지로 最長 日照時間이 1日 10.5時間 이었다. 7時부터 8時까지는 日射量이 적고 濕도가 높아서 集熱器에 依한 送風空氣의 溫度上昇 效果가 뚜렷하지 못하였으며, 17時 30分 以後 20時 30分까지는 日照는 없으나 濕도가 대체로 75% 以下로 낮았다. 따라서, 集熱器에 부착한 送風機의 作動 始作時間을 8時로 하였으며 終

了時間은 팬퍼링의 效果를 爲하며 20時 30分으로 하였다. 또한 안개의 影響으로 相對濕度가 극히 높은 時間에는 作業을 中斷하였다. 送風機 總作動時間 130.4hr中 日照時間 즉 集熱된 太陽에너지를 乾燥에 直接 利用한 時間은 81.4時間 이었다.

Fig. (4-6)는 太陽에너지를 利用한 벼의 乾燥時 各 層別의 穀物水分含量 變化를 나타낸 것이다. 130時間 乾燥後 最終 水分含量은 平均 13.7%로 安全貯藏 水分含量까지 저하되었으나, 堆積層 60cm以下

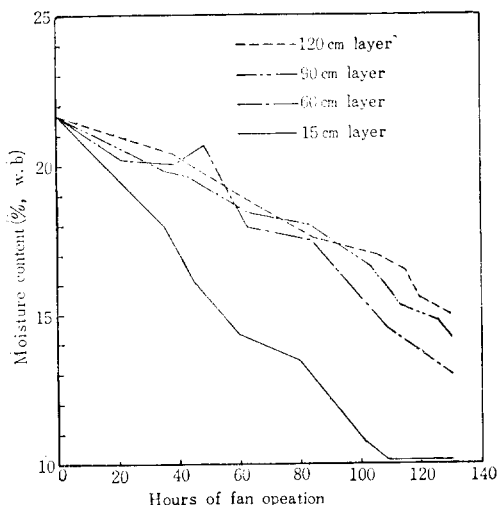


Fig. 4-6. Moisture content change of each layer of the rough rice dried with solar heated air.

層은 13%以下로 乾燥되었으며, 특히 15cm以下 層은 10%에 가깝게 乾燥되므로써, 上下層間의 不均一 乾燥는 물론 下部層에서의 極甚한 過乾燥 現象을 나타내고 있다. 이러한 現狀은 送風 空氣의 溫度가 높은데서 起因한 것으로 볼수 있으며, 風量을 增加시키거나 集熱量을 줄이는 方法을 模索하므로써 解決이 可能할 것으로 思料된다.

常溫通風乾燥의 境遇 벼의 最初의 水分含量이 24.8%로 極히 높았다.

벼의 貯藏中 Mold의 成長 最適 溫度는 26°~35°C이나 4.5°C以上에서 成長이 可能하며⁸⁾, 成長이 可能한 最小相對濕度는 80%로 報告되고 있다²⁹⁾. 相對濕度 80%일때, 10月の 平均氣溫인 13~15°C 範圍에서의 平衡含水率은 約 16%가 된다. 따라서 乾燥中에 벼의 變色 等の 米質의 저하를 막기 위하여 最上層의 水分含量이 16%로 될때까지, 즉 275時間은 連續 乾燥作業을 하였으며, 그 이후 50時間은

매일 9時 30分부터 20時 30分까지 間斷 건조작업을 실시하였다. 또한 220時間 乾燥後 上下層을 完全히 反轉하였다.

Fig. (4-7)은 常溫通風 乾燥時 各 層別의 벼의 水分含量 變化를 나타낸 것이다. 堆積層 60cm以下의 境遇 乾燥時間이 150時間(約 6日) 經過後 水分含量이 16%以下까지 이르렀으며, 그 以上の 堆積

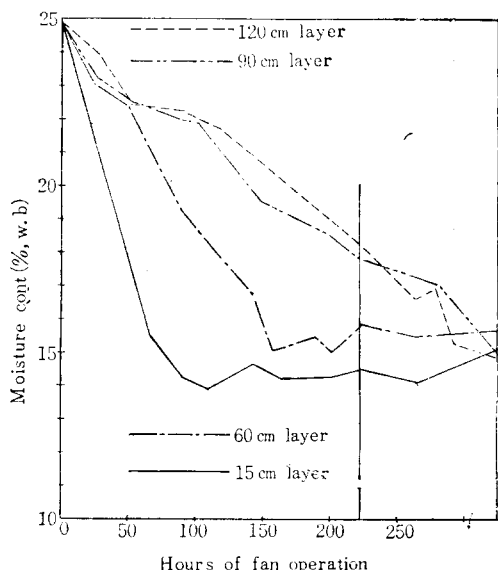


Fig. 4-7. Moisture content change of each layer of the rough rice dried with natural air.

層에서는 水分含量이 20% 程度로 높은 水分을 계속 維持하였다. 反轉時의 水分含量은 堆積層 120cm以下層은 約 15%, 그 以上層은 約 17%로 그 差異가 상당히 줄고있으며, 325時間 乾燥後 最終水分含量은 上下層間에 큰 差異 없이 14.7%~15.7%로 平均 15.1%였다. 따라서, 滿足할만한 結果를 나타낸 것으로 判斷할 수 있다

② 에너지 節約效果

Table (4-4)는 太陽에너지에 依한 乾燥와 常溫通風에 의한 乾燥의 結果중 重要한 몇가지를 比較한 表이다

太陽에너지에 依한 乾燥의 境遇, 乾燥期間은 15日로 130.4時間이 所要되었으며, 이중에서 太陽에너지를 利用한 時間은 81.4時間 이었다. 常溫通風 乾燥의 境遇, 乾燥期間은 21日로 325時間 이었다.

水分含量의 變化를 보면 太陽에너지에 依한 乾燥의 境遇 21.9%(w.b)에서 13.7%로 8.2% 減少되었

며, 常溫通風 乾燥의 境遇 24.8%(w.b)에서 15.1%로 9.7% 減少되었고, 消費된 電力은 各各 51.6KWH와 132KWH이었다. 따라서, 1m³의 벼의 水分을 1% 減少시키는데 所要된 電力은 太陽에너지에 依한 乾

燥의 境遇 2.1KWH/m³-point, 常溫通風 乾燥의 境遇 4.5KWH/m³-point로 前者가 後者에 比하여 53.3%의 電力의 節約 效果를 가져온 것으로 判斷된다.

Table 4-4. Comparison of selected data for solar heated air and natural air drying.

Item	Solar heated air drying	Natural air drying
Variety of paddy rice	Suweon 264	Jinheung
Quantity of rough rice tested (m ³)	3.04	3.04
Drying period	Oct. 10-Oct. 24	Oct. 14-Nov. 3
Air flow rate (m ³ /min. m ²)	1.64	1.64
Grain depth (m)	1.35	1.35
Average initial moisture (%. w.b)	21.9	24.8
Average final moisture (%. w.b)	13.7	15.1
Moisture removed (%. w.b)	8.2	9.7
Hours of fan operation	130.4	325.0
Total energy consumed (KWH)	51.6	132.3
Energy consumed per cubic meter per one percent reduction in moisture (KWH/m ³ -point)	2.1	4.5
Relative energy consumption	46.7	100

5. 結論 및 要約

穀物乾燥期間인 10월에 있어서 穀物乾燥에 太陽에너지의 利用可能性을 判斷하기 爲하여 春川, 水原 및 晉州地域의 5個年間的 日射條件과 관련된 氣象資料를 分析하였다. 또한 空氣加熱 平面式 太陽熱集熱器의 性能을 分析하고, 常溫通風 및 太陽熱을 利用한 벼의 乾燥實驗을 수행하여 乾燥特性和 에너지 節約效果를 比較分析하였으며, 그 結果는 다음과 같다.

가. 10월의 平均水平面日射量은 春川, 水原, 晉州 地域이 各各 260.6ly/day, 240.3ly/day, 253.4ly/day이었으며, 大氣의 透過率은 各各 0.453, 0.412, 0.417이었다.

나. 春川, 水原, 晉州 地域의 10月 平均散亂日射量은 各各 水平面日射量의 41.1%, 44.7%, 44.1%로 추정되었다.

다. 水平面日射量의 確率分布는 3個 地域中에서 春川地域이 약간 유리하나 큰차이는 없었으며, 實用面에서는 그 차이를 無視하더라도 無妨할 것으로

思料된다.

라. 平面式太陽熱集熱器의 10월의 適定傾斜角은 春川 및 水原이 46°, 晉州 地域이 44°이었으며, 45° 傾斜面에서의 日射量이 3개 地域 共히 適定傾斜面에서의 日射量과 큰차이가 無었다. 따라서, 3개 地域 共히 45°의 傾斜角을 취하더라도 無妨할 것으로 思料된다.

마. 春川, 水原 및 晉州地域의 適定傾斜面에서 받을 수 있는 日射量은 各各 水平面日射量의 1.36배, 1.31배, 1.27배가 될 것으로 추정되었다.

바. 空氣加熱太陽熱集熱器의 熱效率는 風量의 增加와 더불어 增加하였으며, 風量 251.1m³/hr-372.96m³/hr의 범위에서 47.8-51.5%이었으며, 外氣溫度가 낮은 10時前과 14時以後에는 급격히 低下하고, 正午를 중심으로 4時間 동안은 거의 一定하게 높은 效率를 나타내었다.

사. 벼의 乾燥期間동안 太陽에너지에 의한 送風 空氣의 溫度上昇은 6.5-21.8°C로 過大한 溫度上昇 이었으며, 이로 인하여 不均一 및 過乾燥 現象을 유발하였다.

아. 太陽熱乾燥의 경우 風量 $1.64\text{cm}^3/\text{m}^3$ 으로 130時間 乾燥後의 穀의 水分含量은 13.7%(w.b.)이였으며, 常溫通風乾燥의 경우 같은 風量으로 325時間 乾燥後의 水分含量은 15.1%(w.b.)이였다.

자. 太陽熱乾燥의 경우 每 1m^3 을 水分含量 1%(w.b.)를 감소시키는데 2.1KWH의 電力이 所要되어, 常溫通風乾燥의 4.5KWH에 比하여 53.3%의 電力節約效果를 나타내었다.

參 考 文 獻

1. Bailey, P.H. and W.F. Williamson. 1965. Some experiments on drying grain by solar radiation. J. Agr. Engin. Res. 10(3) : 191—196
2. Baker, D.G. and Hains, D.A. 1969. Solar radiation and sunshine duration relationships. North central regional research publication 195.
3. Bates. D.W. 1962. Dry your grain with solar heat. Hoard's Dairyman, 107 : 786.
4. Bauman, B.S., M.F. Finner, and G.C. Shove. 1975. Low temperature grain drying with supplemental solar heat from an adjacent metal building. Paper No. 75—3514.
5. Black, J.N., C.W., Boynton, and J.W. Prescott. 1954. Solar radiation and duration of sunshine. Quart. Jour. Royal Meteor. Soc. 80 : 231—233.
6. Buelow, F. and James Boyd. 1957. Heating air by solar energy. Agricultural Engineering 38(1) : 28—30.
7. Buelow, F. 1958. Dry grain with solar heated air. Mich Agr. Expt. Sta. Quart. Bul 4(2) : 421—429.
8. Christensen, Clyde M. 1957. Deterioration of stored grains by fungi. The Botanical Review. Vol. 23, No. 2, 108—134.
9. Duffie, J.A. and W.A., Beckman. 1974. Solar energy thermal processes. Wiley-Interscience, New York.
10. Foster, G.H. and R.M. Peart. 1976. Solar grain drying progress and potential. USDA, Agricultural Research, Agriculture Information Bull. No. 401.
11. Harris, A.R. 1966. Solar radiation reception and distribution and its correlation with sunshine. M.S. theses, Univ. of Minn.
12. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1959. Solar energy for crop conditioning. Paper No. 59—902. Am. Soc. Agr. Engin. St. Joseph, Mich.
13. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1960. Drying crops with solar energy. Agricultural Research 8(11) : 14
14. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1961. Various uses possible for new solar heat collectors. Agricultural Research 10(5) : 14
15. Liu, B.Y.H. and R.C. Jordan. 1960. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. Solar energy, 4(3) : 1—19.
16. Liu, B.Y.H. and R.C. Jordan. 1962. A rational procedure for predicting the long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors. Solar energy, 7(2) : 53—74.
17. Löf, George O.G. 1962. Solar energy for drying of Solid. Solar Energy 6(4) : 122—128.
18. Morey, R.V., H.A. Cloud, and W.W. Nelson. 1975. Field evaluation of a solar energy grain drying system. Paper No. 75-3515. Am. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich.
19. Mörse, R.N. and J.T. Czarnecki. 1958. Flat plate solar absorbers: the effect on incident radiation of inclination and orientation. Report E.E.6 of engineering section, CSIRO.
20. Peterson, Willian. 1973. Solar electric crop dryer progress report. EMC 657, South Dakota Univ.
21. Peterson, W.H. 1973. Solar heat for drying shelled corn. Paper No. NC 73—302. ASAE.
22. Peterson, W.H. and M.A. Hellickson. 1976. Solar-electric drying of corn in South Dakota, Transactions of the ASAE 19(2) : 349—353.
23. Semeniuk, G., J.S. Anderson, and A.W. Alcock, 1954. Microflora in storage of cereal grains and their products. American Ass-

- ociation of Cereal Chemists. Monograph Series 2 : 77-151.
24. Sobel, A.T. and F. Buelow. 1963. Galvanized steel roof construction for solar heating. Agricultural Engineering, 44(6) : 312-313.



學 位 取 得

姓 名 : 柳 寬 熙

勤 務 處 : 서울大學校 農科大學 農工學科

取得學位名 : 工學博士

學位授與大學 : University of Illinois

學位取得年月日 : 1978年12月15日

學位論文 : Optimization of Row-crop Production on
Terraced Lands

