

平面式 太陽熱集熱器를 利用한 穀物 乾燥改善에 關한 研究

A Study on the Performance of Flat-plate Solar Air Collector and its Application to Grain Drying

閔 泳 鳳*·崔 圭 洪**
Min, Yeong Bong. Choi, Kyu Hong.

Summary

The use of petroleum fuels in grain drying causes problems of high cost and management. To solve these problems, it is required to study on solar energy as an alternative to petroleum fuels for grain drying.

The purposes of this study were to find out the optimum receiving area and air flow rate of a flat-plate solar air collector for grain drying and to assess its effects on grain drying with a small grain bin. The results of this study are summarized as follows:

1. The calculated optimum tilt angles of the collector in the summer and autumn drying seasons were 20 and 50 degrees, respectively, in suwon area.
2. The outlet temperature of the collector was 36°C on the daily average with the maximum of 43°C at 12:00 o'clock. Solar radiation on the collector surface was 1.04 ly (1 langley=1 cal/cm²) per minute on the daily average and 1.30 ly per minute on the maximum at 11:00 am. The thermal efficiency of the collector was 62.4 percent on the daily average, and the air flow-rate per unit receiving area was 1.03 m³/min/m².
3. The air flow-rate per unit receiving area for the maximum thermal efficiency (71%) was about 1.2 m³/min/m².
4. The calculated optimum receiving area and the air flow-rate per unit cubic volume of paddy in autumn drying season was 2 m² and 2m³/min, respectively.
5. Not significant difference in the collector efficiency was appeared between the rotating and fixed type of solar collector.
6. For drying of wheat with 0.6 meter of the depth in the bin, approximately 9 hours were required to reduce the moisture content from 21.6% to 13% with air f-

*大同工業株式會社

**建國大學校 農科大學

low rate of 5 m³/min an initial moisture per cubic meter of wheat and with air temperature of 52°C.

7. In the drying test of rough rice with a turning operation in a grain bin approximately 21 hours were required to reduce the moisture from 21% to 14.5% with air low rate of 2 m³/min per cubic meter of rice and the air temperature of 43.5°C.

8. Over-drying at the bottom and less-drying at the top of the grain mass was resulted from the high-temperature of drying air which was obtained from the flat-plate solar collector in this test. An appropriate operation should be prepared for the uniform moisture content of the grain in the bin.

1. 緒 論

太陽에너지源은 18세기末부터 熱機關의 熱源으로 利用되어졌고 오늘날에 와서는 建物の 冷暖房, 溫水供給 및 産業分野의 에너지源으로 利用되어지고 있으며 化石에너지源에 比해 地球의 어느곳에서나 無限히 存在하여 1973年 油類波動以後에는 에너지 危機의 克服策으로 研究에 拍車를 加하고 있다.

太陽에너지源을 熱機關이나 産業分野에 利用할때에는 一般의으로 높은 熱을 要하기 때문에 集熱裝置의 製作費가 많으나 農産物乾燥와 暖房等과 같은 낮은 溫度로 利用될 때는 集熱器製作에 特別한 技術을 要하지 않아 經濟的으로 集熱器를 製作할 수 있으므로 그 利用이 날로 增加하고 있다.

또한 1972年度부터 國內에 普及되기 始作한 Combine은 穀物の 刈取와 脫穀을 同時에 遂行하므로서 生脫穀에 依한 穀物の 高水分含量은 穀物乾燥機의 普及을 要했고 그와同時 乾燥熱源으로서 石油나 電氣等이 使用되고 있는 實情이다. 이들 熱源의 利用은 專門의인 知識을 要하고 高價이므로 穀物乾燥熱源으로 太陽熱의 利用이 要望되고 있다.

우리나라의 日照率은 年平均 55%이며 秋穀乾燥時期인 10月에는 平均 62%로서 日本의 年平均 日照率 46%에 比해 秋穀乾燥에는 比較的 좋은 條件이라 할 수 있다.

農産物乾燥에 利用되는 集熱器는 平面式集熱器가 大部分 利用되어지고 있으며 요즘에는 이를 改善한 tubular型도 使用되고 있다.

平面式集熱器는 美國等地에서는 이미 商品化되어 그 理論的인 分析에 關해서도 많은 研究가 遂行되어왔고 國內에서도 그 基礎的 研究를 시작하였다.

그러나 現在까지 穀物乾燥에 太陽에너지의 利用은 아직까지 基礎的 研究에 不遇하다.

따라서 本研究는 水原地方에서의 穀物乾燥時의 基礎實驗을 通하여 每單位體積當 各 乾減率에 對하여 適正集熱器面積과 送風量等을 決定하고 常溫通風乾燥貯藏兼用 農家用 Grain Bin에 熱乾燥效果를 調査하기 爲해 Bin內의 穀物積載容量에 알맞은 平面式集熱器를 製作하여 Grain Bin에 附着 穀物乾燥實驗을 遂行하여 穀物乾燥에 있어서 平面式集熱器의 利用效果를 究明하고 또한 穀物乾燥用 平面式集熱器 製作의 合理的 方案을 提示하는데 그 目的이 있었다.

2. 研究史

太陽熱集熱器는 太陽熱을 에너지源으로 利用하는데 있어서 가장 重要한 部分으로서 이것의 性能如何는 곧 시스템 全體의 性能을 左右하는 것이다.

集熱器의 主要機能은 地球에 到達하는 太陽輻射熱을 可能한 많이 吸收하고 外氣로의 熱損失을 막고 받은 熱을 傳熱媒體에 傳達하여 有用하게 使用할 수 있는데 있다.

太陽熱利用은 最初로 프랑스의 Mouchat (1860)¹⁾가 熱機關의 熱源으로 利用할 目的으로 集熱裝置를 考案하였다고 한다.

平面式集熱器에 對한 體系的 研究는 Hottel 및 Wortz (1942)²⁾에 의하여 이루어졌다. 이들은 平面式集熱器에 있어서 基本的 熱傳達 理論과 計算式의 誘導, 透明덮개板에서의 透過損失計算方法, 熱損失計算方法, 集熱效率計算式算을 밝힌바 있다.

集熱器의 透明덮개板으로는 유리가 많이 使用되고 있는데 이것은 透過損失이 거의 없기 때문이다. Edlin (1958)³⁾은 플라스틱필름의 透過性에 對하여 觀察하였는데 短波長의 太陽光線에 對하여는 높은 透過性이 있으나 長波長에서는 얼마간 떨어진다고 報告하였다. Daniels (1964)^{4), 5), 6), 7)} 등은 유리나 프라스텍은 傳導輻射損失을 減少시키며 2.5μ 이하와

赤外線만 通過시키고 入射角 30~40° 以下에서는 透過率이 떨어지지 않는다고 하였다.

Daniels (1964)는³⁰⁾ 太陽輻射線의 0.3~3.0 μ 의 短波長과 3.0~30 μ 의 長波長은 分離되어 있으며 化學的 表面處理를 한 選擇性表面(selective surface)은 얇은 膜으로서 짧은 輻射線은 잘透過한다고 하였다.

Abbot (1957)⁴⁴⁾는 日射量을 豫測하는 實驗을 하여 豫想되는 日射量을 求하는데 도움을 주었으며, Becker와 Boyd (1957)⁴³⁾는 季節, 緯度, 太陽高度, 集熱器方向, 흐림程度 等に 對하여 集熱性能의 變化關係를 研究하였다.

Souka (1969)²³⁾와 Hottel (1942)⁴⁵⁾은 方向에 관한 理論的計算式을 誘導하였으며 太陽熱集熱器의 適正 傾斜角은 方向係數의 값이 가장 큰 값을 取하는 것이 效率的이라고 하였다. 이와 비슷한 方法으로 任意斜面의 日射量을 求하는 理論的인 式들을 Yellott (1974)¹⁴⁾, 小澤 (1962)³⁰⁾등이 誘導하여 水平面 日射量을 斜面量으로 換算하여 利用하게 하였다.

Chancellor (1965)³⁴⁾는 벼의 自然乾燥에 對하여 調查하였으며 Laward (1966)³²⁾는 菜蔬類의 乾燥目的으로 Solar-cabinet dryer를 考案하여 實驗하였고, James (1966)³⁹⁾는 太陽熱로 Yam을 乾燥한 研究報告가 있었으며 Darnel (1974)²²⁾은 太陽熱을 農業에 利用하는 問題를 報告한바 있다.

3. 實驗裝置 및 方法

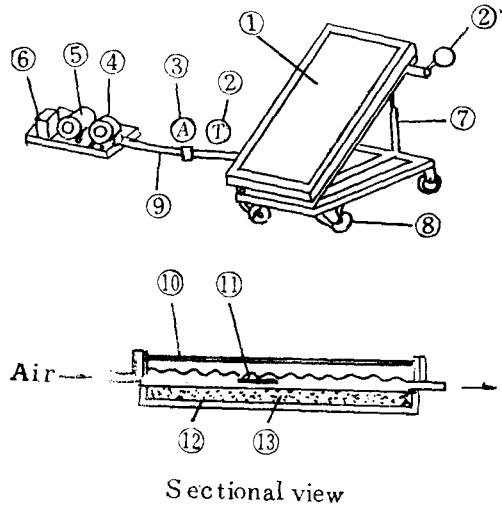
1. 實驗裝置

1) 模型集熱器實驗

本實驗에 利用된 重要裝置는 模型平面式集熱器, 日射計, 風速計, 水銀溫度計, 乾濕球溫度計, 送風機, 모터, 回轉速度計 等이다.

集熱器는 地上 20cm에 設置하고 傾斜角을 調節할 수 있도록 集熱器支持臺를 2개의 파이프로하여 볼트로서 締結하고 바닥 frame에는 고무車輪을 달아 集熱器方向을 調節하도록 하였고 送風機는 直線型 날개의 遠心送風機이며 이것을 容量 0.75KW의 Tachometer가 붙은 三相無段變速形모터에 V벨트로 連結시켜 內徑 35.7mm의 樹脂管을 通해 集熱器內에 強制送風시켰다. 集熱器內部와 入口, 出口에 溫度計를 設置하였고 日射計는 地面에서 20cm높이로 集熱器 옆에 設置하였다. 이 基礎實驗裝置는 Fig. 1. 과 같고 模型平面式集熱器의 主要諸元과 材

料는 Table. 1. 과 같다.



- ① Flat-plate solar collector
- ② Thermometer
- ③ Anemometer
- ④ Blower
- ⑤ Motor
- ⑥ Tachometer
- ⑦ Tist Adjuster
- ⑧ Roller
- ⑨ Air hose
- ⑩ Transmitting cover
- ⑪ Receiving plate
- ⑫ Insulation
- ⑬ Collector case

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus and details of model collector.

Table 1. Specifications of model collector and its material

Items	Dimension and remarks	
Size (L×W×H, m)	1.8×0.9×0.13	
Receiving area(m ²)	1.36	
Thickness of receiving plate (mm)	0.312	
Treatment of receiving surface	non-glossiness black-painted	
Thickness of transmitting cover (mm)	3	
Thickness of insulation (mm)	50	
Thickness of case board (mm)	15	
Material	Receiving plate	corrugated galvanized iron
	Transmitting cover	plate-glass of colorlessness
	Insulation	polystyrene foam
	Collector case	lauan, veneer board
	Frame	angle iron, steel pipe

2) Grain Bin用 集熱器實驗

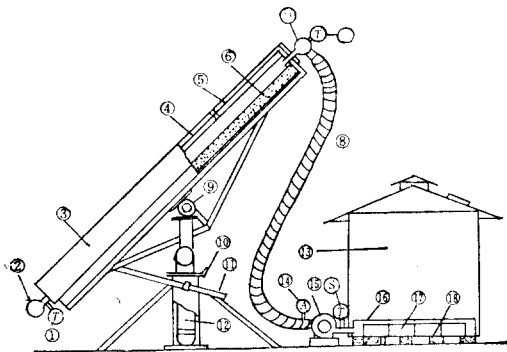
模型集熱器實驗을 基礎로하여 製作된 Grain bin 用集熱器의 裝置와 材料는 模型集熱器와 같고 諸元과 構造는 Table. 2, Fig. 2.와 같다.

Table 2. Specification of the Flat-plate solar collector for Grain Bin

Items	Dimension
Size (L×W×H, m)	4×3×0.21
Receiving area (m ²)	11.5

3) 乾燥實驗

本實驗에 使用된 乾燥機는 農家用 Grain bin이 며 裝置와 諸元은 Fig. 2 및 Table 3과 같다.



- ① Thermometer ② Inlet tube ③ Solar collector ④ Glass ⑤ Receiving plate ⑥ Insulation ⑦ Outlet tube ⑧ Air hose ⑨ Bearing ⑩ Orientation indicator ⑪ Tilting control lever ⑫ Sliding supporter ⑬ Grain bin ⑭ Anemometer ⑮ Blower ⑯ Main duct ⑰ Lateral duct ⑱ Concrete block

Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus and details of in-bin drying test using flat-plate solar collector.

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 되어있다. 使用된 送風機는 單相 0.75KW의 모터, 12inch Forward-blade centrifugal fan이 結合된 것으로 3,400rpm일때 17.3m³/min의 風量을 낼 수 있다. 그밖에 測定器具로서 水銀溫度計, 乾濕球溫度計, 風速計, 日射計, 米麥水分計 등이 使用되어 졌다.

Table 3. Structure of grain bin used for in-bin drying experiments.

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

2. 實驗方法

1) 模型集熱器實驗

(1) 本實驗은 秋穀乾燥時期에 맞추어 1976年 9月 ~10월에 水原에서 實施하였다.

(2) 本實驗에서의 集熱器傾斜角은 水平面에 對하여 50°로하고 受熱面을 正午에 太陽熱流速에 垂直이 되도록 固定設置하였다.

(3) 1日中 (9時부터 16時까지) 集熱器로 부터의 上昇溫度와 集熱器效率變化를 求하기 위해 乾濕球溫度計로부터 大氣狀態를 調査하고 送風量을 1.4 m³/min로 一定하게 했을때 集熱器入口와 出口의 溫度를 時間別로 測定하였다.

(4) 最大效率를 갖는 送風量을 求하기 위해 送風量을 5段階로 나누어서 1日의 大氣溫度(入口溫度)와 集熱器出口溫度를 平均하여 하루中の 平均集熱器效率를 求하였다.

(5) 1日의 平均濕球溫度, 乾球溫度, 送風量과 上昇溫度關係 및 Carrier chart等을 利用하여 必要集熱面積을 計算하였다.

(6) 로빋치日射計로부터 測定된 水平面 日射量은 Yellot,¹⁴⁾ 小澤¹⁵⁾等的 斜面日射量을 求하는 式으로부터 集熱器受熱面의 日射量을 求하고 이로부터 集熱器效率를 求하였으며 太陽光線에 垂直한 面에 對한 傾斜面의 直達日射量을 求하는 一般式은 다음과 같다.

$$I_{d\theta} = I_{dn} \cos \theta \dots \dots \dots ①$$

여기서

$I_{d\theta}$ = Direct solar irradiation on a surface with an incident angle θ , (ly/min)

I_{dn} = Direct normal irradiation, (ly/min)

θ = Solar incident angle on tilted surface

太陽光線에 垂直한 面에 對한 水平面日射量은 入射角이 (90-B)가 되므로

$$I_{dh} = I_{dn} \sin B \dots \dots \dots ②$$

여기서

B =Solar altitude on horizontal surface
 I_{dh} =Direct solar irradiation on horizontal surface, (ly/min)

①, ②式으로부터 水平面日射量에 對한 集熱器受熱面의 日射量은 다음과 같다.

$$I_{d\theta} = I_{dh} \frac{\cos\theta}{\sin B} \dots\dots\dots ③$$

本實驗에서 日射量測定은 로빗치日射計를 使用하였으므로 散光輻射 및 地表面反射輻射量도 함께 測定되어 受熱面日射量을 ③式에 의하여 計算하였다.

θ 는 集熱器의 方向, 季節, 時間에 따라서 變하며 그 關係式은 다음과 같다.

$$\cos\theta = \cos B \cdot \cos A \cdot \sin T + \sin B \cdot \cos T \dots\dots\dots ④$$

여기서

A =Receiving surface-solar azimuth
 T =Tilt angle of receiving surface on horizontal surface

B 는 季節과 時間에 따라 變하며 다음과 같은 式으로 나타내진다.

$$\sin B = \cos L \cdot \cos D \cdot \cos H + \sin L \cdot \sin D \dots\dots\dots ⑤$$

여기서

L =Local latitude
 D =Solar declination of day
 H =Solar hour angle

또 A 의 값은 다음式으로부터 計算된다.

$$\sin A = \frac{\cos D \sin h}{\cos B} \dots\dots\dots ⑥$$

集熱器의 適正傾斜角은 受熱量이 가장 많은 受熱面이 正午에 太陽熱流速에 垂直으로 될때이므로 ⑤式에서 $H=0$ 로하면 다음과 같이 變形된다.

$$B = 90 - (L - D) \dots\dots\dots ⑦$$

여기서 $B=90-T$ 이므로 集熱器適正傾斜角은 正南固定일때 다음과 같이 된다.

$$T = L - D \dots\dots\dots ⑧$$

秋穀乾燥時期인 10月 21日을 基準하면 水原地方의 L 과 D 는 37.3° , -10.7° 이므로 集熱器適正傾斜角은 48° 가 된다.

集熱器初率은 다음式에 의하여 計算하였다.

$$\eta = \frac{r \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta T}{10 I_{d\theta}} \times 100 \dots\dots\dots ⑨$$

여기서

η =Collector efficiency (%)
 r =Specific gravity of air (kg/m^3)
 Q =Air flow rate per unit receiving area ($\text{m}^3/\text{min}-\text{m}^2$)

ρ =Specific heat of air ($\text{cal}/\text{g}-^\circ\text{C}$)
 ΔT =Air temperature rise ($^\circ\text{C}$)

2) Grain Bin用 集熱器實驗

(1) 本實驗은 1977年 7月과 10月에 實施하였다.

(2) 集熱性能實驗은 模型集熱器實驗에 準하여 實施하였다.

3) 乾燥實驗

(1) 乾燥實驗증에 供試料은 6月中旬에 收穫된 밀과 10月初旬에 自脫型 Combine으로 收穫한 벼(品種:진홍)이었다.

(2) 밀乾燥實驗은 1977年 7月, 벼乾燥實驗은 10월에 實施하였다.

(3) 乾燥期間中 送風量은 밀, 벼 各各 1m^3 當 $5\text{m}^3/\text{min}$, $2\text{m}^3/\text{min}$ 로 維持하였으며 1日 乾燥時間은 太陽輻射熱이 有效한 10時부터 16時까지 平均 6時間씩 乾燥하였다.

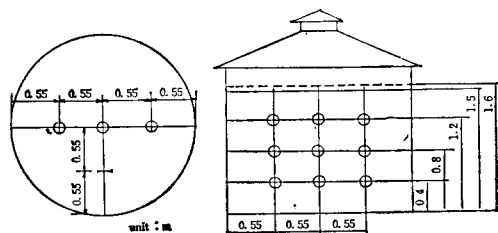
(4) 乾燥期間中 穀物의 溫度와 水分含量의 測定位置는 Fig. 3과 같고 各點에서 水銀溫度計와 米麥水分計에 依하여 3反覆 測定하여 平均值로 表示하였다.

(5) 集熱器傾斜는 밀乾燥時 20° , 벼乾燥時 50° 로 하여 正南方向으로 固定시켰다.

(6) 日射量은 水平面日射量을 測定하여 ③式에 의하여 受熱面日射量으로 換算하였다.

(7) 大氣溫度 및 相對濕度는 Bin近處에 設置된 百葉箱에서 時間別로 測定하였다.

(8) 벼乾燥期間중 穀物의 反轉은 Bin內의 穀物을 10cm 層으로 區分排出し켜 中間層인 80cm 높이를 中心으로 上下層을 完全反轉하였다.



Note: ○: Thermometer position and sampling position for moisture content determination

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

4. 結果 및 考察

1. 模型集熱器實驗

本實驗場所의 緯度는 37.3°N, 太陽赤緯는 7月 26日, 10月 21日을 基準하면 各各+20.5°와 -10.7°이므로 ⑧式으로부터 夏穀과 秋穀乾燥時期的 適正集熱器傾斜角은 各各 16.8°와 48°이나 本實驗에서는 20°, 50°로 하였다.

그리고 送風量을 1.4m³/min로 一定하게하고 集熱器方向을 正午에 正南이 되도록 設置하였을때 1971年 9月 20일부터 10月까지 1日平均時間別 大氣狀態 및 日射量과 集熱器內의 溫度變化는 Table. 4.와 같다.

Table 4. Temperatures variation of the model collector and various atmospheric phenomena during a day

Time of day (hr)	R.Humidity (%)	Inlet temp. (°C)		outlet temp. (°C)	Rising temp. (°C)	Solar radiation (ly/min)
		dry bulb	wet bulb			
9:00	72	18.2	15.4	32.8	14.6	0.95
10:00	61	18.6	14.6	35.3	16.7	1.00
11:00	52	19.2	14.2	42.8	23.6	1.30
12:00	46	19.5	13.7	43.1	23.6	1.23
13:00	43	20.0	13.8	42.7	22.7	1.20
14:00	48	21.2	15.5	41.0	19.8	1.10
15:00	57	19.6	15.1	34.2	14.6	0.95
16:00	68	10.5	8.5	17.2	6.7	0.60
Average	55.8	18.4	13.9	36.14	17.8	1.04

Table. 4.와 같은 條件에서 벼를 乾燥時 自然狀態에서의 乾燥平衡含水率은 約 12%가 되어 自然通風乾燥可能性이 있으나 乾燥時間이 많이 걸릴것이豫想된다. 相對濕度는 13時에 最小가 되며 그前後로 갈수록 커진다. 集熱器出口溫度는 12時에 最大가 되며 平均上昇溫度는 17.8°C로서 夏穀乾燥時期的에는 더 높은 것으로豫想되며 秋穀乾燥時 相當한 乾燥效果가 期待된다. 日射量은 平均 1.04 ly/min이며 最大는 11時에 1.30 ly/min로 最大大氣溫, 最小相對濕度時間보다 2時間程度 빠르게 나타났다.

Table. 4.로부터 ⑧式에 依하여 集熱器效率를 求하면 Fig. 4.와 같다

Fig. 4.에서 나타난 바와 같이 集熱器效率는 9時以前과 15時以後에는 대단히 떨어진다. 最大集熱器

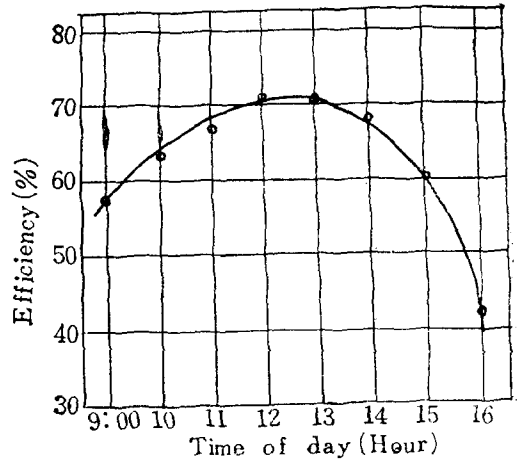


Fig. 4. Model collector efficiency calculated

效率는 最大日射量일때, 即 12時前後에 나타나며 平均集熱器效率는 62.4%로 높게 나타났다. 이 結果는 Bhardwaj^{1), 2), 3)} 등의 물, 空氣加熱集熱器의 境遇와 같은 傾向을 보이며 日射量의 多少 時間別入射角의 變化에 크게 影響받고 있다. 그리고 最大集熱器效率가 될때의 送風量을 適正送風量으로 決定하고, 送風量과 上昇溫度 및 集熱器效率의 關係는 Fig. 5.와 같다.

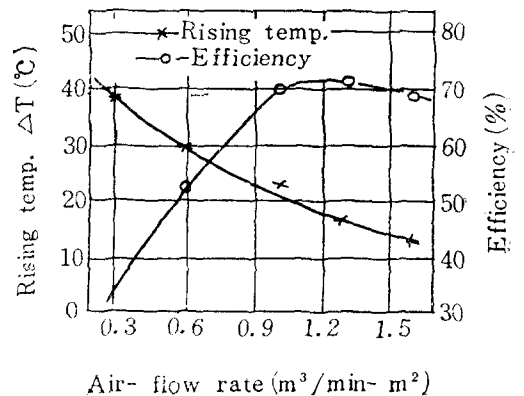


Fig. 5. Effects of air flow rate per collector unit receiving area which faces south tilted upward from horizontal 50° in the daytime from Sept. 20 to Oct., 1976.

Fig. 5.에서 受熱面의 單位面積當送風量이 增加하면 集熱器로부터의 排出空氣의 上昇溫度는 낮아지나, 集熱器效率는 점점 增加하여 受熱面의 單位面積當 送風量이 1.2m³/min-m²일때 最大 70%이며 그보다 送風量이 커지면 거의 一定하게 變化한다.

이와같은 결과는 Bhardwaji^{24,27)}나 한국원자력연구소¹¹⁾에서 實驗한 濕加熱集熱器와 비슷한 傾向을 보이고 있다.

벼單位體積當 必要集熱器受熱面積과 送風量과의 關係를 求하기 위하여 다음과 같은 方法을 使用하였다. 大氣의 乾球溫과 濕球溫은 Table. 4.로부터 18.4°C, 13.9°C로 定하고 벼의 單位體積當重量을 550kg/m³ (M.C. 22%)로하여 集熱器에서의 排出空氣의 上昇溫度를 各各 10, 15, 20, °C로 할때, 이 排出空氣가 初期水分含量 22%의 벼積載層을 通過하여 乾燥規定含水率 14%까지 乾燥시킬 경우 平均 80%의 飽和度로 排出된다고 假定하여 各 乾減率에 對한 벼單位體積當必要送風量을 Carrier Chart에서 求하고 Fig. 5.로부터 必要集熱器受熱面積을 求하였으며 그 結果는 Table. 5와 같다.

Table 5. Calculated optimum air flow rate and receiving area for paddy drying using Flat-plate solar collector during grain drying season (from Sept. 20 to Oct.)

ΔT (°C)	q (m ³ /m-in-m ²)	q_u (m ³ /min-m ³)		A_u (m ² /m ³)	
		0.5%/hr	1.0%/hr	0.5%/hr	1.0%/hr
10	1.36	1.19	2.38	0.87	1.75
15	1.15	1.07	2.14	0.93	1.86
20	1.00	0.95	1.9	0.96	1.91

ΔT =Rising temperature

q =Air flow rate per unit receiving area

q_u =Air flow rate per unit cubic volume of paddy for each drying rate

A_u =Receiving area per unit cubic volume of paddy for each drying rate

Table. 5.에서 보는바와 같이 乾燥溫度가 增加한다. 또 平均乾減率이 增加하면 送風量 및 受熱面積도 增加한다.

벼의 境遇 胴制率을 考慮할때 乾燥溫度와 乾減率은 各各 40°C 1%/hr로 制限하고 있으므로 Table. 4.로부터 秋穀乾燥時期的 平均大氣溫을 18.4°C로하면 上昇溫度는 21.6°C이고 Grain bin에서 벼를 乾燥할 境遇 容量이 6m³이므로 Table. 5.에 依하여 必要太陽熱受熱面積은 約 12m², 適定送風量은 約 12m³/min로 하는 것이 바람직하다. 一般의으로 벼 乾燥時 必要集熱器 受熱面積은 約 2m²/m³, 必要送風量은 約 2m³/min-m³ 程度로 하고 集熱器單位面

積當送風量을 1m³/min-m³ 程度로 하는 것이 타당하다고 판단되었다.

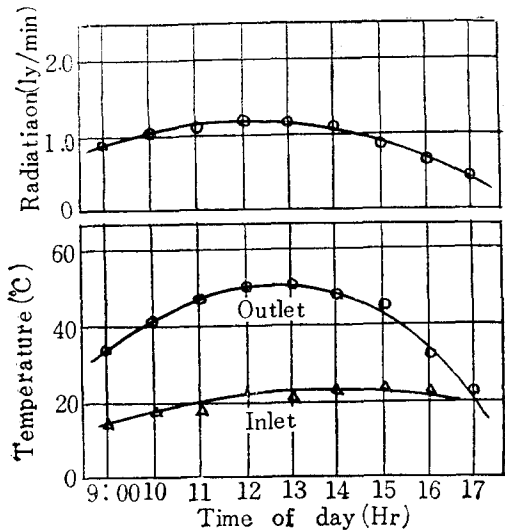


Fig. 6. Air temperatures variation and solar radiation on the receiving surface of the collector which faces south tilted upward from horizontal 50° air flow rate is 12 m³/min and averaged daily data from Oct. 1 to Oct. 10, 1977.

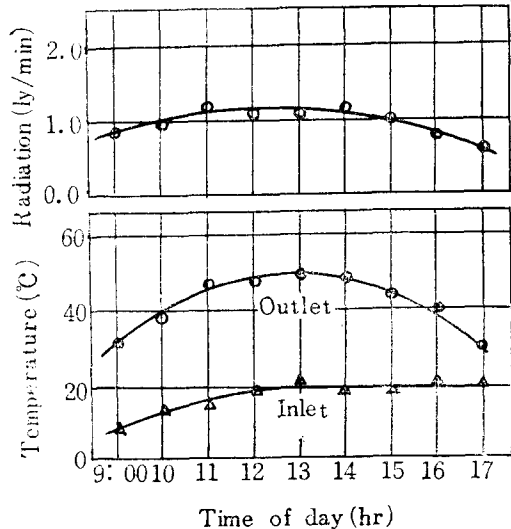


Fig. 7. Air temperatures variation and solar radiation on the receiving surface of the collector, solar incident angle on the receiving surface adjusted 0° to 10° every time, air flow rate was 12 m³/min, and averaged daily data from Oct. 1 to Oct. 10, 1977.

2. Grain Bin用 集熱器實驗

模型集熱器實驗을 基礎로하여 Grain Bin穀物乾燥用으로 製作된 集熱器에 對한 實驗을 實施하였으며 그 結果는 다음과 같다.

集熱器의 方向을 正南에 固定시킨 境遇와 每時太陽熱流速에 적응시킨 境遇의 溫度變化를 比較하기 위하여 1977年 10月에 測定한바 各各 Fig. 6, 7과 같다.

Fig. 6, 7에서 보는바와 같이 模型實驗의 Table. 4. 結果와 거의 同一하여 Fig. 6, 7의 日射量의 差異는 조금있으나 Fig. 6의 境遇가 Fig. 7의 境遇보다 10時以前과 14時以後에 集熱器 出口溫이 약간 低下되고 있다. 이것은 受熱面에서의 太陽熱入射角이 正午에는 同一하지만 그 以前과 以後에서는 점점 그 差가 커지기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 10時以後와 14時以前에는 두境遇가 비슷한 傾向을 보이고 있는데 이는 吸熱板을 斜設함으로써 入射角의 變化에 對한 實受熱面積變化를 적게하여 集熱性能을 크게하였고 入射角에 對한 유리板 透過率도 Edlin^{11), 41), 45)} 等の 報告와 같이 0~40° 사이에서는 거의 變化가 없는 때문인 것 같다.

위境遇에 있어서 集熱器의 效率를 計算한 結果는 Fig. 8과 같다.

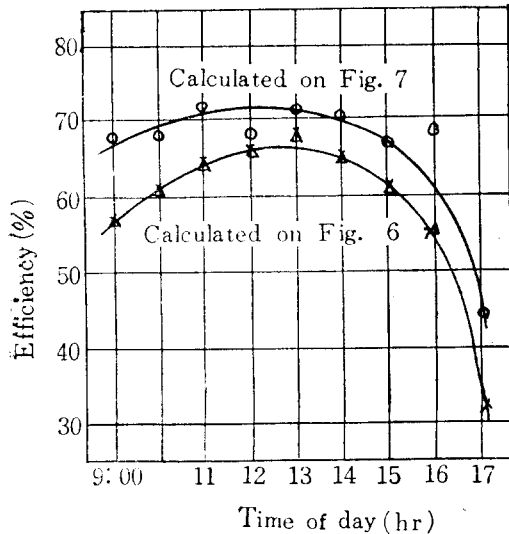


Fig. 8. Efficiencies variation of the collector.

Fig. 8에서 集熱器의 方向을 正南으로 固定한 것이나 每時太陽熱속의 어느 境遇에도 9時以前과 16時

以後에는 效率이 急激히 低下됨을 알 수 있다. 이 같은 結果는 模型集熱器實驗과 비슷하다. 正南方向 固定時의 平均上升溫度 및 集熱器效率는 各各 61.1°C, 58.9%이며 每時太陽熱속일 境遇의 24.3°C, 26.3%보다 약간 떨어지나 農産物의 乾燥時에는 施設費와 操作技術面에서 正南方向 固定型集熱器를 使用함이 좋을 것으로 思料된다.

送風量과 集熱器效率 및 集熱器內의 溫度變化 關係를 調查하기 위해 13時에 日射量이 1.22±0.015이고 大氣溫度가 約 33°C인 날의 送風量變化의 影響을 1977年 7月中에 調查한 結果는 Fig. 9.와 같다.

Fig. 9.에서 送風量이 14m³/min(受熱面單位面積當 1.22m³/min-m²)일때 最大效率 約 70%로 나타났 다. 이 結果는 模型集熱器와 같은 傾向을 보이고 있다.

夏穀乾燥時期에는 Fig. 9.에서 보는 바와같이 出口溫度가 60°C以上이 되므로 乾燥用으로 設計된 集熱器는 乾燥許容限度內의 最大送風量으로하여 送風空氣의 溫度가 하루중 1時間 以上 50°C를 넘지 않도록 集熱器의 傾斜를 調整하는 것이 좋을 것으로 思料된다.

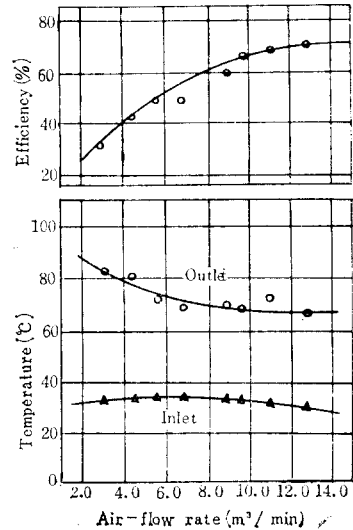


Fig. 9. Effects of air-flow rate in the collector, the receiving surface which faces south tilted upward from horizontal 26°C, tested at 11:00 in July 1977, when solar radiation was about 1.22 ly/min and ambient temperature was about 33°C.

日射量이 一定할때 送風量과 相對濕度의 變化는 Fig. 10.과 같다. 日射量이 1.22ly/min이고 集熱器

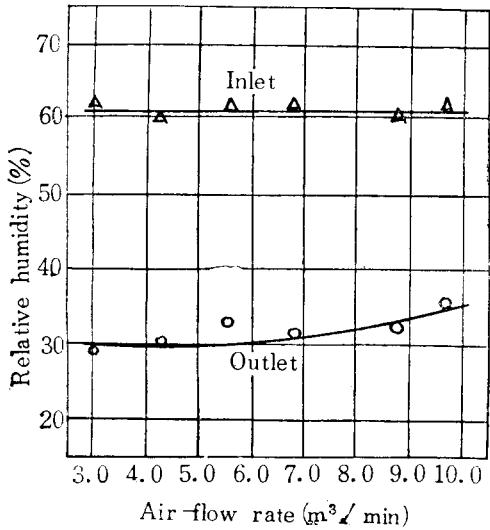


Fig. 10 Air relative humidities variation vs. air flow rate in the collector, the receiving surface which faces south tilted upward at 11:00 from Oct. 1 to Oct. 10, 1977 when solar radiation was about 1.12ly/min.

流入空氣의 相對濕도가 60% 附近일때 送風량이 增加할수록 集熱氣排出空氣의 相對濕도가 커지나 그 變化量은 送風량이 1 m³/min增加할때 約 1%程度이므로 本集熱器와 같은 平面式集熱器에서는 Table. 5에서 穀物乾燥量에 따른 適正集熱器面積과 送風量을 決定해도 좋을것으로 思料된다.

3. 乾燥實驗

模型集熱器 基礎實驗結果를 利用하여 Grain bin의 穀物乾燥에 適合한 集熱器를 製作하여 밀과 벼의 乾燥實驗을 한 結果는 다음과 같다.

1) 밀 乾燥實驗

Grain Bin內에 初期水分含量 21.6%의 밀을 60cm (約 1.2%)로 쌓고 太陽熱集熱器에서 排出되는 加熱空氣를 強制送風시켜 하루 平均 7時間(9시부터 16時까지) 連續乾燥實驗한 結果는 Fig. 11과 같다.

本實驗期間동안 平均日射量이 1.01ly/min, 平均相對濕度 65.4% 平均大氣溫이 22.8°C로서 比較的 氣象條件이 좋은 편이었고 集熱器를 通過하여 Grain bin에 穀物單位 體積當 5m³/min·m²으로 送風한 流入空氣의 溫度는 平均 52°C로서 높았다.

위와 같은 狀態에서 穀物溫度는 乾燥所要時間 4時間까지는 25cm, 50cm높이의 穀物層 共히 Grain bin 流入溫度보다 낮은 28°C 程度였으며 4時間以後에는 下層의 穀溫이 점차 上昇하고 上層穀溫은 8時間以後부터 上昇하기 始作하여 穀物水分 含量이 平均 10% 程度되는 12時間附近에서 上下層穀溫이 40°C로 上昇되었다. 이같은 結果는 金^{8,16,25)} 등의 報告와 같이 送風空氣의 溫度가 乾燥初期에는 穀物含有水分을 吸收하는데 所要 되다가 穀物水分含量 16% 程度부터는 穀物水分蒸發量이 적어지기 때문에 그때부터 穀溫을 上昇시킨 一般의인 乾燥特性과 같다.

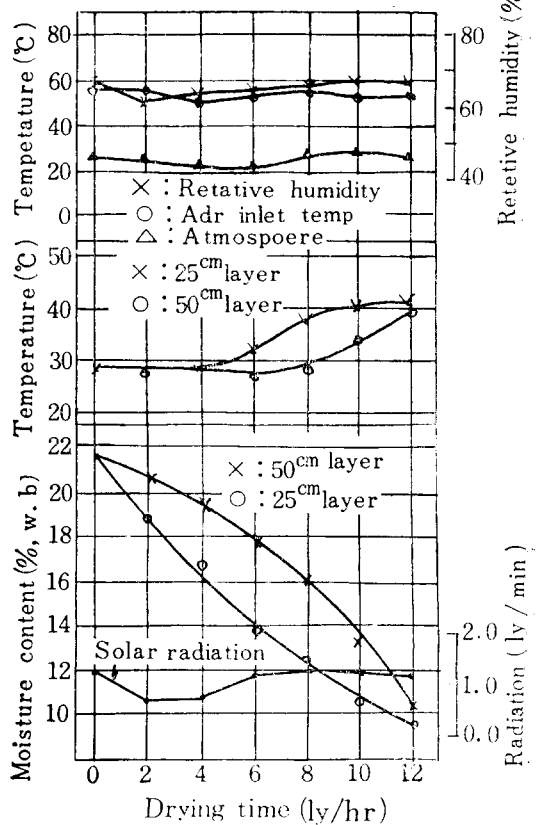


Fig. 11. Grain bin test of wheat drying using solar collector. (net grain depth was 60cm, air flow rate was 11.4m³/min) tested from July 5 to July 6, 1977.

穀物水分含量의 變化는 氣象條件에 敏感하지 않으며 乾燥初期에는 下層의 乾燥速度가 빠르고 12時間後에는 水分含量 10%程度로 거의 같았다. Hall²⁵⁾의 研究結果와 같이 밀의 安全貯藏에 必要한 水分含量을 13%程度로 할때 乾燥所要時間은 上層 15%,

下層 11.6%가 되며 太陽熱利用乾燥效果가 큰 것으로 思料된다.

2) 벼 乾燥實驗

本實驗에 使用된 Grain bin은 農家用 小型 Grain bin으로 벼를 常溫通風乾燥시킨 후에 그대로 貯藏할 目的으로 設計되었었다. 그러나 實際의 常溫通風乾燥에 있어서 Bin內에 벼를 1.6m높이로 쌓고 乾燥한 結果 100時間以上의 乾燥時間을 要했었고, 徐⁴⁾등의 研究報告와 같이 最終穀物水分含量도 限界

貯藏水分含量 14%보다 큰 16.7%이었다. 以上의 問題點들을 改善하기 爲해 太陽熱集熱器를 利用하여 加熱通風乾燥한 結果는 Fig. 12와 같다.

Fig. 12.에서 大氣溫度는 平均20°C이었고 相對濕度는 平均 56.5% 程度이며, 日射量은 平均 0.99 ly/min로서 大氣의 乾燥潛在力은 큰 편이었다. 이때 Grain bin內로 投入되는 送風空氣의 溫度는 平均 43.5°C로서 乾燥適溫이었다.

初期含水率 21%의 벼(品種: 진흥)를 Bin內에 1.6 m높이로 (3.2%)積載하고 벼 單位體積當 2m³/min-m²으로 送風하였을때 各穀物層別溫度는 連續乾燥時間 9時間까지는 大氣溫度와 거의 같았고 9時間以後 1回反轉時間 15時間에서의 下層(40cm) 溫度는 37°C로 上昇하였으나 上層(150cm) 溫度는 大氣溫度와 거의 같았다.

1回反轉後의 穀物溫度는 上下層이 비슷하게 變化되었으며 乾燥完結時에는 平均 28°C程度로 되었다. 이는 穀物을 反轉함으로써 水分含量이 큰 層부터 Bin下層에 차례로 積載되었기 때문 일것 같다.

各 層別穀物水分含量의 變化는 下層일 境遇 薄層 乾燥效果가 나타나 乾燥速度가 빠르지만 上層에서는 下層으로부터 吸水된 濕空氣의 通過로 乾燥速度가 느리게 나타나며 反轉時에는 下層의 벼水分含量이 約 11%, 上層이 18.8% 程度로 水分含量의 差異가 7.8%로 그 隔差가甚했다. 이 水分含量隔差를 없애기 위하여 乾燥시작 15時間後에 上下層을 1回反轉한 結果 總乾燥時間 21時間後에는 水分含量이 平均 14.5%가 되었고 上下層 水分含量隔差는 上層 13.7%, 下層 15.6%로 約 2% 程度의 隔差를 나타내었다. 이같은 結果는 金^{8,10)}등이 Grain bin에 自然通風乾燥한, 結果보다 乾燥時間이 86時間이나 短縮되었다.

以上과 같은 結果로 부터 두꺼운 穀物乾燥에서는 穀物上下層의 反轉이 必要하며 各層別穀溫의 變化가 甚하지 않으므로 穀物反轉을 連續적으로 實施함으로써 乾燥效果를 높일 수 있을 것으로 思料되며 平面式太陽熱集熱器는 平面式乾燥機나 循環式乾燥機에 利用함이 바람직할 것으로 보여진다.

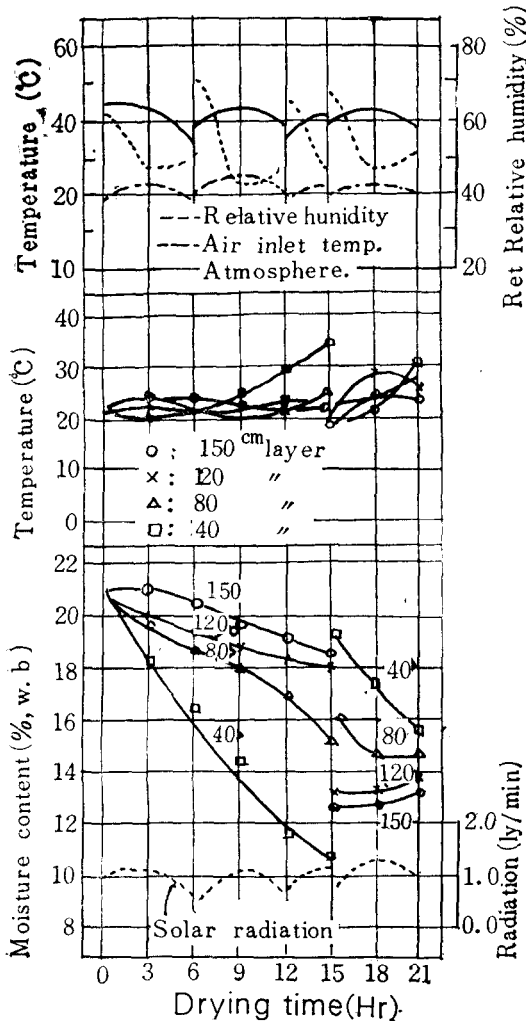


Fig. 12. Grain bin test of rough rice drying with a turning using solar collector. (net grain depth was 160cm, air flow rate was 12m³/min) tested from Oct. 12 to Oct. 15, 1977.

V. 摘 要

太陽에너지를 農産物乾燥에 利用하기 위해 平面式集熱器의 模型實驗과 Grain bin乾燥에 適合한 集熱器를 製作하여 穀物乾燥實驗을 한 結果를 綜合하

면 다음과 같다.

1. 우리나라 中部地方에 있어서 秋穀 및 夏穀 乾燥時期의 適正集熱器傾斜角은 各各 50°와 20°로 計算되었다.

2. 模型集熱器實驗을 1976年 9月 20일부터 10月 사이에 實施한 結果, 9~16時까지 受熱面의 單位面積當 1.03m³/min-m²으로 連續送風하였을때 平均集熱器出口溫度는 36.14°C이며 最大出口溫度는 12時에 43°C였고 受熱面日射量은 平均 1.04ly/min였으며 最大는 11時에 1.30ly/min였고 計算된 集熱器效率는 平均 62.4%이었다.

3. 集熱器效率는 受熱面의 單位體積當送風量이 1.2m³/min-m²일때 最大 71%로 나타났다.

4. 秋穀乾燥時期의 每單位體積當 必要集熱器面積은 約 2m²/m³, 必要送風量은 約 2m³/min-m³, 集熱器單位面積當 送風量은 約 1m³/min-m²으로 計算되었다.

5. 正午에 正南을 向하도록 集熱器를 水平面과 50° 傾斜로 固定한것과 受熱面을 每時 太陽熱流速에 垂直으로 한 境遇의 集熱器效率는 各各 58.9, 66.3%로 큰 差가 없으므로 農產物乾燥時는 施設費와 操作技術面에서 正南方向 固定型集熱器로 하는 것이 좋을 것으로 思料된다.

6. 初期水分含量 21.6%의 밀을 60cm (約 1.2%)로 Grain bin內에 積載하고 受熱面積 11.5m²의 太陽熱集熱器로 부터 平均 52°C의 熱風을 穀物單位體積當 5m³/min-m³으로 送風하였을때 穀物水分含量이 平均 13%가 될때까지는 9時間이 所要되었다.

7. 初期水分含量 21%의 벼를 1.6m³ (3.2%)로 Grain bin內에 積載하고 太陽熱集熱器로 부터 平均 43.5°C의 熱風을 每單位體積當 2m³/min-m³로 送風하였을때 連續乾燥 15時間後에 穀物上下層의 水分含量은 各各 11%, 18.8%로서 7.8%의 隔差가 있었고, 이때 穀物을 1回反轉한 結果 總乾燥時間 21時間에서 水分含量이 平均 14.5%로서 2%程度의 上下層 水分含量差가 있었다.

8. 平面式太陽熱集熱器는 高溫으로 集熱되므로 Grain bin과 같은 두꺼운 穀物乾燥에 있어서는 上下層 連續反轉이 必要하며 따라서 平面乾燥機나 循環式乾燥機에 利用함이 바람직할 것으로 본다.

參 考 文 獻

1. 張奎燮, 金滿秀. 1977. 平面式太陽熱集熱機의 性能에 關한 研究. 韓國農業機械學會誌. 2(2):

37-45.

2. Chang, H.S. 1977. An introduction of a greenhouse solar drying system. Lecture meetings on farm mechanization for small farmers. ASPAC/FFIC and ORD. 153~170.
3. Ban, Toshizo. 1977. Mechanical harvesting and drying of rice for small farms. Lecture meetings on farm mechanization for small farms ASPAC/FFIC and ORD. 79~105.
4. 徐相龍, 李昇揆, 金容煥. 1977. 穀物乾燥方法의 改善方案. 慶尙大學 論文集. 16(1): 165~172.
5. Foster George H. and Robert M. Peart. 1976. Solar grain drying. Agricultural Research Service, Washington, D.C. Agri. information Bulletin. No. 401.1~14.
6. 押田勇雄. 1975. 太陽熱エネルギー. 生産技術センター(東京). 39.
7. 崔在甲. 1975. 乾燥機 考案製作에 關한 研究. 韓國農工學會誌. 17(1): 51-58.
8. 김성래, 서상룡, 김홍윤. 1974. 소규모곡물건조 저장기에 관한 연구. 농공이용연구소 시험연구보고서. 171~193.
9. 李相祐, 鄭昌柱. 1974. 벼의 自然通風乾燥에 있어서 通風量이 乾燥에 미치는 影響에 關한 研究. 農工學會誌. 16(1).
10. 金聲來. 1974. 穀物乾燥貯藏法 改善을 위한 農家用 Grain Bin에 關한 研究. 農工學會誌. 16(1): 39-68.
11. 한국원자력연구소. 1974. 태양의 집 설치 및 실험에 관한 연구. 23-181.
12. 伊藤和彦. 1974. 生もみ乾燥の合理化に關する 研究. 日本農機誌. 35(4): 385-397.
13. Darnell Lundstrom. 1974. Solar energy for agricultural applications. NDRECA Workshop. 1-3.
14. Yellatt John I. 1974. Solar radiation and uses on earth. Energy Primer/solar. 4-24.
15. _____. 1973. 米穀乾燥機械化의 分析. 서울대학교 農科大學 附設 農業科學研究所 報告書. 19-49.
16. 細川明, 本橋園可. 1973. 1粒のもみの乾燥特性. 日本農機誌. 34(4): 372-378.
17. Huysmans, A.A.C. 1971. Postharvest Problems. Meeting of expert on the mechanization

- of rice production and processing. Food and Agri. Org. of the United Nat. Rome, Italy. 135-136.
18. 伴敏三. 1971. 人工乾燥における米の 胴割れに 關する 實驗的 研究. 農業機械化研究所 報告. 8.
 19. 李哲周. 1969. 벼의 乾燥特性 및 乾燥施設에 關한 試驗研究. 農工學會誌. 11(3)(4) : 17~23 28~34.
 20. 森野一高. 1969. 農業施設學. 6-27.
 21. RAD.S.K. and R.K.SURI. 1969. Optimazation of flat-plate solar collector area. Solar Energy. 12() : 531-535.
 22. Rantine, A.D. 1969. Combined convective and radiative heat losses from flate-plate solar-air heaters. Solar Energy. 12 : 517-523.
 23. Souka, A.F. and H.H. Safuat. 1969. Theoretical evaluation of the performance of a double Exposure flat-plate collector using a single reflector. Solar Energy. 12() : 347-352.
 24. 중앙관상대편. 1968. 한국기후표.
 25. 한성금, 한옥동, 차근도, 정두호. 1967. 太陽熱利用. 農村振興廳研究論文. 10(6) : 57-60.
 26. 小栗富士雄. 1967. 標準機械設計圖表便覽. 日本共立出版(株). 638~844.
 27. Bhardwaj, R.K. and B.K. Gupta. 1967. Performance of a flat-plate solar collector. Solar Engary 11(3, 4) : 160~162
 28. Khanna, M.L. 1967. Design data for solar heating of air. Solar Energy. 11(3, 4) : 142-144.
 29. Gupta, C.L. and H.P. G. rg. 1967. Performance studies on solar air heaters. Solar Energy, 11(1) : 25-31.
 30. James. St. 1966. The Drying of yams with solar Energy. Brace Research Institute, Technical Report. No. T. 27.
 31. Igbal, M. 1966. Free-convection effects inside tubes. Solar Energy, 10(4) : 207-211.
 32. Lawand, T.A. 1966. A solar-cabinet dryer. Solar Energy, 10(4) : 158-164.
 33. Igbal. M. 1966. Flat-plate solar collectors. The solar energy conferance. Boston Mass, 10(4) : 207-211.
 34. Chancellor, William J. 1965. An experiment on sun drying of padi. The Malaysian Agricultural Journal 45(1) : 65-75.
 35. 前澤昌武, 栗屋哲郎. 1964. 蒸發蒸溜 乾燥. 63-76.
 36. Farrington Daniels. 1964. Direct use of the sun's energy. Yale Univ. Press. 23-29, 51-87, 125-135, 208-222.
 37. Cobble, M.H. 1964. Heating a solid by solar radiation. Solar Energy, 8(2) : 63-68.
 38. Hall Carl, W. 1963. Processing eguipment for agricultural products. 159-185.
 39. 小澤行雄. 1962. 斜面の日射量について農業氣象. 18(1) : 39-41.
 40. Frank Kreith. 1959. Principles of heat transfer. Infomational textbook Co. 9-20, 217-226, 243-254
 41. Edlin, Frank E. 1958. Plastic glazing for solar Energy absorption collectors. Solar Energy, 2(2) : 3-5.
 42. Sihvonen, Y.T. and R.F. Makowskiall. 1958. A presentation of solar radiation data obtained by a Spectroheliometer. The Journal of Solar Energy Science and Engn. APASE. 2(1) : 21-25.
 43. Becker, Clarence F. and James S. Boyd. 1957. Solar radiation availability on surface in the United States as affected by season, orientation latitude altitude, and cloudness. The Journal of Solar Energy science and eng. AEASE1 (1) : 13-21.
 44. Abbot, C,G. 1957. Weather and solar variation. The Journal of Solar Energy Science and Engn. AFASE 1(1) : 3-5.
 45. Hottel, H.C. and B.B. Woertz. 1942. The Performance of fiat plate solar-heat collectors. TRANSACTION of the A.S.M.E. 91-104.