

## 太陽熱을 利用한 穀物乾燥에 關한 研究

### Review on the Use of Solar Energy for Grain Drying

琴 東 燮\* · 高 學 均\*\* · 崔 在 甲\*\*  
Kum, Dong Hyeug · Koh, Hak Kyun · Choi, Jae Kap.

#### Summary

A diminishing supply of petroleum fuels and increased competition for petroleum products has made the conservation of energy in grain drying an important cost and management factor. Research on solar grain drying is directed toward utilization of a renewable energy source as an alternative to petroleum fuels for drying. There are many technical and economic problems in accepting and adopting solar energy as a new energy source for grain drying.

The purposes of this study are to assess the state of the art of solar grain drying and to find out the problems by reviewing literatures available. The results obtained may be summarized as follows;

1. It may be considered that the weather conditions in October of Korea was satisfactory for the forced natural air and solar heated air drying.
2. Solar energy is considered more applicable to low-temperature, in-storage drying systems than to high-temperature, high-speed drying systems. In-storage drying systems require low levels of heat input over extended period, and tolerate intermittent or variable levels of heat input. The costs of collector systems to provide low temperature are considerably cheaper than for high-temperature systems.
3. Tubular type collector made of polyvinyle film seems to be the most practical at this stage of developement and black-painted bare-plate collectors mounted on the outside of a typical, round, low-temperature drying bin can supply an appreciable amount of the energy efficiently needed for low-temperature grain drying at a lower cost.
4. All of the grains in solar drying tests was successfully dried up to safe storage moisture levels without significant spoilage. Drying rates with solar systems were faster than natural air drying systems, and usually a little slower than similar low-temperature electric drying systems.
5. Final grain moisture levels were lower in solar tests than in natural air tests, and generally higher than in tests with continuous heated air.
6. Savings of energy by use of solar collectors ranged from 23% to 55%, compared

---

\*江原大農大

\*\*서울大農大

to the natural and electric heated air drying systems. However, total drying cost effectiveness was not significant. Therefore, it is desirable that solar grain drying systems which could be suitable for multiple heating purposes on farms should be developed.

7. Supplemental heat with solar radiation did little to reduce air flow requirements but reduced drying time and increased the probability of successful drying during drying period.

### 1. 緒言

1973年性の石油危機以來 農作業에서의 化石燃料의 節約 및 代替方案이 主要한 研究課題로 登場하게 되었다.<sup>1)</sup> 특히 播種, 耕耘, 移秧, 防除, 收

穫 等の 全體農作業工程中에서 乾燥過程에 所要되는 에너지가 가장 큰 比重을 차지함으로서<sup>10)</sup> 穀物 乾燥에 所要되는 에너지의 節約 및 代替方案이 가장 重要時 되고 있다. 例컨데 水稻作에서 所要되는 燃料의 量은 Table 1에서와 같이 乾燥에서 무려

Table 1. Energy Requirement of Corn<sup>10)</sup> and rice<sup>30)</sup> Production Operations

Operations	Estimated Fuel Consumption	
	Diesel Fuel for Corn (gal/acre)	Diesel Fuel for Rice (l/ha)
Tillage	3.34 (16.4%)	13.2(8.8%), 20—30PS Tractor
Planting	0.77 (3.8%)	14.1*(9.4%), 4row Transplanter
Cultivating	1.54 (7.5%)	—
Disease and Insect Control	—	8.5(5.1%), Power Sprayer
Harvesting	0.88 (4.3%)	28.3(18.9%) 4.3m width Combine.
Oying (high temperature)	13.9*(68.0)	85.9(57.3%) Circulation Type Dryer
Total	20.43 (100.0)	150.0 (100.0)

\* LP gas and gasoline expressed as fuel oil equivalent.

Assumed 100 bushel/acre of corn and 7,057kg/ha of rice at 26.5% and 24% moisture, respectively dried 14% moisture.

57.3%이며, 옥수수 生産의 경우 乾燥에서 68%에 이르고 있으므로, 全農作業工程 中 乾燥工程이 가장 에너지 集約的인 工程이 되고 있다.

이와같은 乾燥過程에서의 에너지 所要量에 비추어 볼 때 穀物乾燥工程에 所要되는 에너지의 節約 및 代替方案의 講究가 가장 效果的인, 에너지 節約的인 營農으로 볼 수 있다.

穀物の 乾燥方法은 高速 高溫度에서 이루어지는 高溫熱風乾燥와 穀物을 貯藏하는 동안 常溫通風을 利用 하거나 補助熱源을 利用하여 常溫보다 약간 높은 溫度의 空氣를 利用하는 低溫乾燥方法이 一般的으로 採擇되고 있다. 熱風乾燥에 利用되는 燃料은 90~95%<sup>11)</sup>가 石油, 天然가스 等の 化石燃料이며 低溫乾燥에서는 自然의 空氣를 送風하거나 補助熱로 電熱을 利用한다.

새로운 에너지라는 概念은 적어도 다음과 같은 3가지 具備條件을 滿足 시켜야 한다. 即

① 現在の 에너지 需要에 比하여 量的으로 豊富할 것

② 環境汚染을 誘發 시키지 않을 것

③ 今後的 技術開發로써 經濟的일 것

이와같은 具備條件을 充足시킬 수 있는 새로운 에너지 資源은 地熱에너지, 水力에너지, 風力에너지, 核融合에너지, 太陽에너지 등을 들 수 있다.

地球로 쏟아져 오고 있는 太陽에너지는 173×10<sup>9</sup> GW로서 年間 17.6×10<sup>20</sup>Kcal나 된다.<sup>10)</sup> 그러나 이러한 莫大한 에너지를 地球가 받고 있지만, 이것은 太陽全體의 에너지에 比하면 지극히 작은 一部에 지나지 않으며 太陽全體의 에너지는 地球가 받는 에너지의 約 22億倍에 해당된다. 그렇지만 地球에 쏟아지고 있는 太陽에너지 173×10<sup>9</sup>GW 만도 1970年度의 基準으로 全世界의 에너지 需要量의 무려 3萬倍에 해당되는 것이다. 이와같이 太陽에너지는 量的으로 無限하며, 또한 다른 化石燃料과 같이 公

害의 염려가 전혀 없는 깨끗한 에너지로서 장차 새로운 에너지源으로서의 重要한 要素를 갖추고 있다 할 것이다. 그러나, 이 太陽에너지가 새로운 에너지源으로서 使用되기 위하여서는 克服 되어야 할 몇 가지 重要한 問題가 있다. 卽,

- ① 太陽에너지는 그의 密度가 낮다.
- ② 太陽에너지는 氣象 및 地理의 條件 等に 敏感하며 不安定한 에너지 이다.

太陽에너지는 地球로 오는 동안 大氣에 依한 吸收散亂 等に 依하여 그의 強度는 매우 弱화 된다. 地球表面에 到達되는 太陽에서지는 大略,  $1KW/m^2$ <sup>13)</sup> 程度로서 比較的 低密度의 에너지인 것이다. 또한 太陽에너지는 밤에는 얻을 수 없으며 기차, 구름, 비, 位置, 角度, 季節에 따라 모두 그의 값이 달라지는 不安定한 要素를 지니고 있다.

에너지節約 및 穀質向上的 側面에서 低溫乾燥, 特히 太陽熱을 補助熱源으로 使用한 低溫乾燥 方法에 대한 合理性이 認定되고 있으나 아직은 穀物乾燥의 에너지源으로 低密度의 不安定한 太陽에너지를 收容 採擇하기에는 많은 技術的인 問題點이 있다.

따라서 本 論文에서는 文獻을 中心으로 이제까지 行하여진 太陽熱을 이용한 穀物乾燥에 대한 綜合的인 考察을 하는데 目的이 있으며 그 具體的인 內容은 다음과 같다.

- ① 穀物乾燥와 關聯된 太陽熱의 利用性에 대한 考察
- ② 太陽熱 集熱器의 形態 및 效率에 대한 考察
- ③ 太陽熱을 이용한 穀物乾燥試驗에 대한 考察

## 2. 太陽에너지를 利用한 穀物乾燥와 關聯된 韓國의 氣象條件

太陽에너지는 高溫, 高速乾燥시스템 (high-temperature, high-speed drying system) 보다는 低溫의 貯藏乾燥시스템 (Low-temperature, in-storage drying system)에 보다 더 利用妥當性이 있는 것으로 平價되고 있다.<sup>11) 24)</sup> 前者는 Wheat, Soybean과 같이 含有水分이 相對的으로 적은 穀物에 대해서는 그 妥當性이 認定 되고 있으나<sup>11)</sup>, 一般的으로 높은 溫度의 熱風( $49^{\circ}\sim 82^{\circ}C$ )이 要求 되므로 集熱器의 製作費用이 過大하며 熱損失이 많아 熱效率이 떨어지며, 값비싼 斷熱材를 使用하지 않는 한 넓은 面積의 集熱器가 必要하게 되어 아직까지는 經濟的

妥當性이 없는 것으로 分析되고 있다.<sup>11)</sup> 反面에 後者의 境遇는 乾燥期間이 길 뿐만 아니라, 低水準의 熱投入으로 乾燥가 可能하며, 또한 間歇的, 變動的 熱投入이 許用되므로, 時間的, 時期的으로 變動하는 太陽энер지를 利用 하기에 便利한 것으로 看做되고 있다.<sup>24)</sup> 따라서 太陽에너지를 利用한 穀物乾燥에 關한 研究는 主로 常溫通風乾燥의 補助熱源으로 太陽熱을 利用하는데 集中 되고 있으므로 太陽熱을 利用한 低溫, 貯藏乾燥의 可能性은 常溫通風乾燥를 위한 被乾燥物의 收穫時期의 氣象條件과 日射條件에 따라서 決定된다.

우리 나라의 10月の 平均氣溫 및 相對濕度는 Table 2에서와 같이  $13.0\sim 16.8^{\circ}C$ ,  $64\sim 76\%$ 의 범위이며 14個地域 平均  $49^{\circ}C$   $69.4\%$ 에 대한 敍의 平衡含水率은 Henderson<sup>14)</sup>의 平衡含水率曲線式을 利用하여 算定하면 약 15%로 높은 乾燥潛在力을 갖는 것으로 判斷할 수 있다. 그러나 이와같이 平均的인 氣象條件으로는 높은 乾燥潛在力이 있는 것으로 보이지만, 乾燥潛在力이 있는 날이 繼續的으로 發生할

Table. 2. Mean Air Temperature and Relative Humidity in October.

	Mean Air Temperature ( $^{\circ}C$ )	Relative Humidity (%)
Gangnung	14.4	66
Seoul	13.4	68
Inchon	14.2	69
Ullung-do	15.0	67
Chungpyong	13.0	70
Pohang	15.2	69
Taegu	14.2	69
Jeonju	1.39	76
Ulsan	14.8	73
Gwangju	14.0	76
Busan	16.6	64
Mokpo	16.1	70
Yosu	16.6	64
Jeju	16.8	70
Average	14.9	69.4

\*Data are from "Climatic Table of Climatological Standard Normals" for the years 1931 through 1960. Published by The Central Meteorological Office, Republic of Korea.

것으로 斷定 할 수는 없다. 왜냐하면 日氣不順으로 因하여 通風乾燥不可能日이 나타날 수 있기 때문이

다. 常溫通風乾燥를 위한 臨界大氣狀態에 影響을 주는 因子를 相對濕度로 보고 臨界相對濕度를 75%로 設定하여 水原地域에 대하여 Kim<sup>18)</sup>의 分析結果를 보면 1日 適正乾燥時間은 9時間程度이며 이러한 期間內의 平均氣溫은 13~17.4°C, 平均相對濕度는 66%로 補助熱없이 常溫通風으로 비를 14.2%(w.b)까지 乾燥시킬 수 있는 높은 乾燥 潛在力이 있는 것으로 報告하였으며, 또한 相對濕도가 75%以下로 繼續되는 時間이 1日中 3時間未滿 즉 乾燥可能時間이 1日中 3時間未滿인 날을 乾燥不可能日로 看做하여 乾燥不可能日數를 分析한 結果, 10月上旬은 1日 中旬은 2日 下旬은 1日, 따라서 10月中 3日만이 乾燥不可能日인 것으로 報告하였다. 따라서 우리나라 中部地方의 氣象條件은 常溫通風乾燥의 可能性이 높은 것으로 評價할 수 있다.<sup>18)</sup>

太陽熱에 關係되는 氣象條件은 氣溫, 風速과 風向, 雲量, 日照時間 日照率, 日射量 및 太陽의 高度 등이다.<sup>7) 10) 20)</sup> 氣溫은 日射量 뿐만 아니라 地域의 環境에 크게 影響을 받기 때문에 太陽輻射熱과는 直接의 關係는 없으나, 太陽熱 利用裝置에서의 熱傳達과 密接한 關係가 있다.

太陽熱의 利用의 見地에서 日照時間 日照率, 맑은 날의 日數는 매우 重要하다. 雲量 및 日照時間과 日射量과는 直線的인 關係가 있으며<sup>12) 13)</sup> 또한 1日 總日射量에 대한 맑은 날의 日射量의 比는 日照率과 直線的인 關係가 있는 것으로 報告되고 있다.<sup>14)</sup> 따라서 日照時間과 日照率에서 日射量을 推定할 수 있으며, 또한 日照率 및 맑은 날의 日數에 의하여 그 地域의 特定期間 동안의 太陽熱利用可能性을 判斷할 수 있다.

Table 3. Weather Data Pertaining to Utilization of Solar Radiation in October

	Duration of Bright Sunshine	Percentage Mean of Possible Cloudy		Number of Clear Days	Number of Cloudy Days	Number of Sunless Days	Number of Days with Percentage of Possible Sunshine	
		Sunshine	Amount				<20%	≥80%
Gangnung	216.7	63	4.3	12	7	3	5	14
Seoul	231.2	67	4.1	11	6	4	3	15
Inchon	243.9	70	4.1	12	5	2	3	17
Ullung-do	188.2	54	5.8	5	10	4	6	10
Chupungyong	227.3	65	4.6	10	8	2	5	16
Pohang	197.1	58	4.5	10	7	5	7	12
Daegu	221.1	64	4.6	10	8	3	5	14
Jeonju	218.9	63	4.6	10	7	3	5	14
Ulsan	209.7	60	4.8	10	8	3	6	13
Gwangju	223.3	64	4.5	10	7	2	5	14
Busan	218.0	62	4.6	10	8	3	6	14
Mokpo	217.9	63	4.6	10	7	2	6	14
Yosu	223.8	65	4.0	13	7	4	6	16
Jeju	197.5	56	5.9	5	12	3	7	11

Data are from "Climatic Table of Climatological Standard Normals" for the years 1931 through 1960, Published by The Central Meteorological Office, Republic of Korea.

우리 나라 穀物乾燥期間인 10月の 日照時間을 보면 Table 3에서와 같이 1日 平均 6.4~7.9時間으로 分布되어 있으며, 日照率은 56~70%, 平均 62.4%로 1年을 通하여 가장 높은 값을 나타내고 있다. 맑은 날(雲量 2.5未滿)의 日數는 울릉도 제주도를 제외하면 10~13日로 分布되어 있다. 日照가 전혀 없는 不照日數는 2~5日 程度이며 또한 맑은 날의 日射量의 87%以上<sup>19)</sup>을 받을 수 있는 日照率 80%以上

인 日數는 울릉도, 제주도를 제외하면 12~17日, 맑은 날의 50%以下<sup>20)</sup>의 日射量을 받을 수 있는 日照率 20%未滿인 일수는 4~7日 程度로 分布되어 있다. 이와 같은 條件은 年間을 通하여 10月이 日照率 및 맑은 날의 日數가 가장 높은 값을 나타내는 反面, 흐린 날의 日數 및 不照日數는 가장 적으므로 1年中 太陽熱利用上 가장 좋은 달임을 表示해주고 있다.

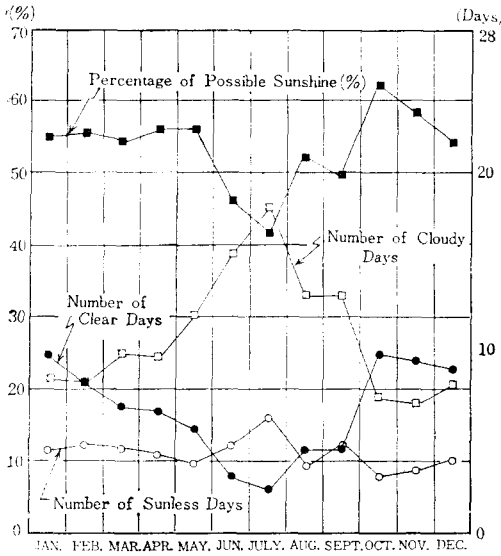


Fig. 1. Variations of Climate Conditions in Korea

### 3. 平面式 太陽熱 集熱器의 熱傳 解析

#### 가. 大氣圈밖의 水平面 日射量

地球의 大氣圈밖에 入射하는 日射強度는 다음式으로 表示한다.

$$I_0 = r I_{sc} \cos \theta \quad (1)$$

여기서  $I_0$  = 大氣圈밖의 水平面 日射強度 ( $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ )

$I_{sc}$  = 太陽常數 ( $1.940 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ )

$r$  = 地球와 太陽間의 實際距離에 대한 平均距離의 比의 自乘으로서 最小 7月の 0.967에서 부터 最大 1月の 1.034까지 變하는 값이다.

$\theta$  = 入射角 즉, 入射線과 水平面의 法線과 이루는 角

入射角  $\theta$ 는 다음式으로 計算된다.

$$\cos \theta = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $L$  = 緯度

$\delta$  = solar declination

$$\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right] \dots \dots \dots (3)$$

$n$  = the day of the year.

$\omega$  = hour angle.

大氣圈밖의 日總水平面日射量,  $H_0$ 는 다음 式으로 計算한다.

$$\begin{aligned} H_0 &= \int_{-\omega_s}^{\omega_s} I_0 d\left(\frac{24}{2\pi} \omega\right) = \frac{24}{\pi} r I_{sc} (\cos L \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin L \sin \delta) \\ &= \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[ \left\{ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right\} \right. \\ &\quad \left. \left\{ \cos L \cdot \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin L \cdot \sin \delta \right\} \right] \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

$\omega_s$ 는 日出時의 hour angle이며

$\cos \omega_s = -\tan L \cdot \tan \delta \dots \dots (5)$ 의 關係가 있다.

#### 나. 地球表面에서의 日射量

地球表面에서의 太陽輻射의 強度는 大氣에 의한 吸收散亂등으로 많이 弱化된다. 太陽熱을 地上에서 利用하는데 있어서 地表面에서 얻을 수 있는 太陽 에너지의 密度를 正確하게 把握하는 일은 매우 重要한 것이다. 空氣中에는 太陽輻射線을 吸收散亂하는 많은 物質들이 있다. 이 中에서 特히 重要한 吸收物質들을 列擧하면  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  등을 들 수 있으며, 散亂物質은 空氣分子, 水蒸氣, 먼지 등이 있다. 이들 氣體中에서 特히 큰 吸收作用을 하는 것은 大氣中의  $H_2O$ 와  $O_3$ 이다. 짧은 波長의 紫外線區域에서는 주로  $O_3$ 가 吸收作用을 하며, 特히  $0.29 \mu\text{m}$  以下의 짧은 波長의 太陽輻射線은 거의 完全히 吸收된다. 赤外線區域에서는  $H_2O$ 가 많은 吸收帶를 가지고 있으며, 特히  $2.5 \mu\text{m}$  以上의 長波長은 거의 모두  $H_2O$ 와  $CO_2$ 에 의하여 吸收된다. 따라서 地上에서 받을 수 있는 에너지는 波長  $0.29 \sim 2.5 \mu\text{m}$  範圍의 太陽輻射線이 된다. 한편 太陽輻射線이 地上에 이르는 동안 空氣分子, 水蒸氣 먼지 등에 의하여 散亂됨으로써 直達日射強度가 弱化된다.

Moon<sup>28)</sup>은 이러한 散亂效果가 大氣壓, Air Mass, 먼지의 密度, 水蒸氣의 量에 따라서 決定된다고 하였으며, 推定式을 誘導한 바 있다.

大氣에서 散亂된 日射量의 一部는 地上으로 되돌아 오게된다. 이를 Diffuse Radiation이라한다. 따라서 地上에서 받을 수 있는 太陽에너지는 直達日射(Beam Radiation)와 Diffuse Radiation으로 區分할 수 있다. 地上에서 받을 수 있는 太陽輻射強度는 Moon<sup>28)</sup>에 의하여 理論적으로 推定되어 그 合理性이 認定되고 있으나, 特定地域의 特定한 時間의 日射量을 正確히 豫測할 수는 없다. 따라서 利用 가능한 日射量의 推定은 長期間의 氣象資料에 의한 統計的인 方法이 利用되고 있다. Kimball<sup>4)</sup> (1919)은 月平均 日射量과 雲量 및 日照日數사이에는 거의

線直의 關係가 있는 것으로 報告하였으며, Angström<sup>2)</sup> (1924)이 처음으로 다음과 같은 數學的인 關係式을 誘導하였다.

$$H_{av} = H_0' [a + (1-a)s] \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $H_{av}$  = 日總日射量

$H_0'$  = 맑은날의 日射量

$a$  = 常數,  $s$  = 日照率

Fritz<sup>4)</sup> (1951)도 (6)式과 비슷한 關係式을 發表하였다. Haurwitz<sup>3)</sup>는  $H_0'$ 를 맑은날의 日射量에 局限하지 않고, 90%以上의 日照率을 나타내는 날의 日射量으로 規定하여 (6)式과 비슷한 關係式을 發表하였다. (6)式은 要求되는 期間동안의 最大日照時間을 根據로 日照率을 算定함으로써 測定計器上의 問題點을 包含하고 있으며, 또한 맑은날의 定義에 어려운 點이 있어,  $H_0'$ 의 算出에 模糊한 點이 있다. 그래서 Prescott, Page, Löf<sup>4)</sup> 등은 大氣窓밖의 日射量과 (5)式에 의한 낮길이에 根據하여 (7)式과 같은 關係를 發表하였다.

$$H_{av} = H_0 (a + bs) \dots\dots\dots (7)$$

여기서  $H_0$  = 大氣窓밖의 日射量 ((4)式으로 算出) 또한 Rensinck과 Sandoval,<sup>4)</sup> Shaw,<sup>4)</sup> Harris<sup>12)</sup> 등은 日射量과 日照時數 間에 반드시 直線的인 關係가 있는 것은 아니며, 日照時間이 적을 때는 曲線關係를 나타낸다고 報告한 바 있다. 한편 Liv와 Jordan<sup>13)</sup>은 大氣窓밖의 日射量이 地上에 導達하는 比率을 氣象資料를 根據로 美國과 캐나다의 거의 全域에 대하여 算出한 바 있으며, 이 값은 最小 0.3에서 最大 0.75까지 分布하지만 大部分 0.4~0.6 範圍에 있다고 發表하였다.

**다. 傾斜面에 入射하는 日射量**

傾斜面이 받을 수 있는 日射量은 Direct Radiation, Diffuse Radiation, 地面으로부터 反射되는 Radiation이 있다. 水平面으로부터  $S^\circ$  傾斜된 照射面이 받을 수 있는 日射量은 (8)式으로 表示된다<sup>14)</sup>

$$H_T = (H - H_S)R_D + H_S R_S + H R_f \dots\dots\dots (8)$$

여기서  $H_T$  = 傾斜面 日射量

$H$  = 水平面 日射量

$H_S$  = 水平面 Diffuse Radiation

$R_D$  = 水平面 直達日射量에 대한 傾斜面에 서의 直達日射量의 比

$$R_D = \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_s} = \frac{\cos(L-S)\cos\delta\cos\omega + \sin(L-S)\sin\delta}{\cos L\cos\delta\cos\omega + \sin L\sin\delta} \dots\dots\dots (9)$$

$R_S$  = 水平面 Diffuse Radiation에 대한 傾斜面 Diffuse Radiation의 比  $(= \frac{1+\cos S}{2})$

$R_f$  = 水平面 日射量에 대한 地表에서의 反射되는 輻射量의 比

$$R_f = \frac{(1-\cos S)\rho}{2}, \quad \rho = \text{反射率(눈이 덮여 있지 않을 때 0.2, 눈이 덮여 있을 때 0.7) 또한}$$

$$r = \frac{H_T}{H} = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H} \cdot \frac{1+\cos S}{2} + \frac{(1-\cos S)\rho}{2} \dots\dots\dots (10)$$

라고 하면

$$H_T = RH \dots\dots\dots (11)$$

로 表示된다.

**라. 集熱器의 性能分析**

平面式 集熱器는 透明덮개 밑에 輻射熱을 吸收하는 集熱板과 熱損失을 줄이기 위하여 集熱板側面 밑 下面에 附着한 斷熱材로 構成되어 있으며, 吸收된 熱을 利用하기 위하여 空氣나 물(혹은 다른 流體)을 循環시키도록 되어 있다. 集熱板의 單位面積當의 有用한 集熱率  $q_u$ 는 集熱板이 吸收한 太陽輻射熱  $q_a$ 와 外部로 的 損失熱量  $q_L$ 의 差에 의하여 決定된다.

集熱板에 吸收되는 에너지에 影響을 미치는 要因은 다음과 같다.<sup>15)</sup>

- ① 集熱板에 照射되는 太陽輻射熱強度,  $H_T$
  - ② 集熱板의 太陽輻射熱吸收率  $\alpha$
  - ③ 透明덮개板의 透過率,  $T$
  - ④ 透明덮개板위의 먼지로 인한 損失,
  - ⑤ 集熱器의 側壁 및 덮개 支持物에 의한 集熱板에 生기는 그늘에 의한 損失
- 損失熱量  $q_L$ 에 影響을 미치는 要因은 다음과 같다.

- ① 集熱板의 平均溫度,  $t_c$
- ② 集熱板의 發射率
- ③ 周圍의 條件 即, 空氣의 溫度  $t_a$ , 有効 Sky Temperature,  $t_s$ , 風速,  $V$
- ④ 透明덮개板의 數 (간격은 크게 影響을 주지 않으며, 普通 3/4인치로 한다).
- ⑤ 透明덮개板의 材料, 特別히 長波의 透過能
- ⑥ 集熱板의 側面 및 下面의 斷熱程度 集熱板의 平均溫度에 미치는 要因은 다음과 같다.
- ① 熱傳達流體의 種類 및 流量
- ② 流體의 集熱器 流入時의 溫度,  $t_i$
- ③ 流體와 集熱板사이의 熱傳達係數

④ 流體移送用 튜브와 集熱板사이의 接着劑의 熱傳達率

⑤ 集熱板의 材料, 그 두께, 流體移送用 튜브 사이 의 간격에 따라 決定되는 集熱板의 핀(fin) 効率, 가, 透明덮개板을 통한 太陽輻射熱의 移動

1) 透明덮개板의 透過率 및 透過後 集熱板에의 吸收率

透明덮개板에 照射된 太陽輻射熱 가운데 一部는 透明덮개板을 透過하며, 一部는 吸收되고, 一部는 反射된다. 透明덮개板의 이러한 光學的性質에 미치는 因子는 反射損失과 關聯된 refractive index 및 入射角, 吸收損失과 關聯된 extinction coefficient 및 透過距離 등을 들 수 있다. 單板유리나 plastic film 등의 透明덮개板을 太陽輻射熱이 透過하는 率은 다음 式으로 表示된다.<sup>22) 10)</sup>

$$T = e^{-\kappa L} \frac{(1-r)}{(1+r)} \dots \dots \dots (12)$$

여기서, T=透過率(transmittance)

K=消滅係數(extinction coefficient 良質 유리는 0.12, 不良質 유리는 0.8)

r=表面反射率(Surface reflectivity)

$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')} + \frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')} \right], \quad i \text{ 및 } i' \text{는 各各 入射角 및 反射角}$$

n枚의 덮개板의 경우 透過率은 다음 式으로 表示된다.

$$T_{1,2,\dots,n} = e^{-(\kappa_1 L_1 + \kappa_2 L_2 + \dots + \kappa_n L_n)} \left[ \frac{(1-r)}{1+(2n-1)r} \right] \dots \dots \dots (13)$$

Whillier<sup>22)</sup>는 材質 두께, 削減係數 등이 다른 여러 장의 덮개板의 境遇 0.5% 以內의 精度를 保證할 수 있는 (14)式과 같은 透過率算定實驗式을 發表하였다.

$$\left. \begin{aligned} \text{(덮개板 2장)} : T_{12} &= (1.006) T_1 T_2 \\ \text{(덮개板 3장)} : T_{123} &= (1.018) T_1 T_2 T_3 \\ \text{(덮개板 4장)} : T_{1234} &= (1.035) T_1 T_2 T_3 T_4 \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

여기서 T<sub>1</sub> T<sub>2</sub> T<sub>3</sub> T<sub>4</sub>는 (12)式에 의하여 算出된 個個의 덮개板의 透過率이다.

集熱板의 吸收率이 α일 때 太陽輻射熱이 透明덮개板을 通過하여 集熱板에 吸收되는 率 F<sub>c</sub>는 다음 式으로 表示된다.

$$F_c = \frac{T\alpha}{1-(1-\alpha)r_d} \dots \dots \dots (15)$$

여기서 r<sub>d</sub>=diffuse radiation의 反射率

Whillier<sup>22)</sup>는 (15)式을 (16)式과 같은 實驗式으로 表示하였다.

$$\left. \begin{aligned} \text{(덮개板 1장)} : F_c &= (1.008) T\alpha \\ \text{(덮개板 2장)} : F_c &= (1.012) T_1 T_2 \alpha \\ \text{(덮개板 3장)} : F_c &= (1.025) T_1 T_2 T_3 \alpha \\ \text{(덮개板 4장)} : F_c &= (1.05) T_1 T_2 T_3 T_4 \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots (16)$$

2) 有效透過率—吸收率 相乘積 Fe

太陽輻射熱이 透明덮개板을 通過할 때 透明덮개板에 吸收되는 一部分이 完全히 損失되는 것이 아니며, 이 吸收熱이 덮개板의 溫度를 약간, 上昇시켜 주므로써 集熱板으로 부터 外部로 的 熱損失率을 減少시켜주는 役割을 한다. Whillier<sup>22)</sup> Hottel<sup>16)</sup> 등은 이러한 吸收된 熱의 役割을 透明덮개板의 透過率의 增大로 看做하여 (17)式과 같은 有效透過率 吸收率 相乘積의 算出式을 發表하였다.

$$F_e = F_c + a_1(1-e^{-\kappa_1 L_1}) + a_2 F_1(1-e^{-\kappa_2 L_2}) + \dots (17)$$

여기서 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>는 常數로서 Table 4와 같으며 F<sub>c</sub> F<sub>e</sub>의 값은 Table 5와 같다.

3) 먼지와 그늘의 影響

Dietz<sup>10)</sup>는 0~50° 傾斜에 있어서 dirt factor, d는 5% 以上으로 報告하였으며 Hottel과 Woertz<sup>16)</sup>는 約

Table 4. Constants for use to calculate Fe.<sup>10)</sup>

Total Number		Black painted absorber	Selective absorber
Cover of Plates		ε=0.95*	ε=0.2*
1	a <sub>1</sub>	0.23	0.14
2	a <sub>1</sub>	0.17	0.10
	a <sub>2</sub>	0.63	0.44

ε=emissivity

1%로 發表하였다. 또한 Garg<sup>10)</sup>, 45° 傾斜에서 먼지에 의하여 平均 8%의 透過率이 減少된다고 報告하였다. 設計를 위해서 一般의 集熱板에 吸收되는 太陽에너지의 2%가 먼지에 의하여 減少되는 것으로 看做한다.<sup>10) 22)</sup> 即, dirt loss factor 1-d를 0.98로 取한다. 한편 덮개板 支持物의 그늘에 의한 Shading loss S는 3%로 看做하는 것이 一般의 이다.<sup>10) 22)</sup>

나. 集熱器에 吸收되는 純太陽에너지 q<sub>a</sub>는 式 (11)(17)에 의하여 (18)과 같이 表示된다.

$$q_a = HR(F_e)(1-d)(1-d) = 0.951HR(Fe) \dots (18)$$

다. 熱損失

集熱器에 吸收된 太陽에너지 q<sub>a</sub>는 集熱器의 덮개板, 側面 및 下面의 斷熱層을 통하여 損失된다.

斷熱層을 통한 熱損失係數는 다음(19)式으로 表示된다.

Table 5.  $F_c$  and  $F_e$  for glass-covered collectors <sup>o</sup>

Number of glass cover plates	Black painted $\epsilon=\alpha=0.95$						Selective Surface $\alpha=0.9 \epsilon=0.2$					
	K=0.8 per inch			K=0.2 per inch			K=0.8 per inch			K=0.2 per inch		
	$F_c$	$F_e$	$F_e/F_c$	$F_c$	$F_e$	$F_e/F_c$	$F_c$	$F_e$	$F_e/F_c$	$F_c$	$F_e$	$F_e/F_c$
1	0.795	0.817	1.028	0.856	0.862	1.007	0.753	0.766	1.018	0.811	0.815	1.004
2	0.663	0.729	1.099	0.768	0.786	1.024	0.628	0.672	1.070	0.728	0.740	1.017

(All glass 1/8" thick, same extinction coefficient  $k$  for system)

$$U_b = \frac{k}{L} \dots\dots\dots(19)$$

여기서  $k$  = 斷熱材의 熱傳導率

$L$  = 斷熱層의 두께

側面을 통한 熱損失은 露出된 側壁의 面積에 대한 集熱板의 面積의 比가 相對적으로 큰, 즉 작은 規模의 集熱器에 있어서는 主要한 熱損失 因子로 取扱되지만, 比較的 規模가 큰 裝設計된 集熱器에서는 正確한 豫測을 하지 않고, 一般적으로 熱損失 係數를 0.08 Btu/hr · ft<sup>2</sup> · F로 보고 다음 (20)式으로 算出한다.

$$q_c = 0.08 (DP) (t_c - t_a) \dots\dots\dots(20)$$

여기서,  $D$  = 集熱器박스의 길이

$P$  = 側壁의 둘레

$t_c$  = 集熱板의 平均溫度

$t_a$  = 周圍의 溫度

덮개板을 통한 熱損失  $q_t$ 는 對流 및 輻射에 의하여 發生하며 一般적으로

$$q_t = h\omega(T_c - T_a) + \sigma\epsilon_c(T_c^4 - T_a^4) \dots\dots\dots(21)$$

으로 表示되며, Hottel<sup>18)</sup>은 다음 (22)式과 같은 精密計算式을 發表하였다.

$$q_t = \frac{T_c - T_a}{\frac{n}{C\sqrt{\frac{T_c - T_a}{n+f}} + \frac{1}{h\omega}} + \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{2n+f-1}{\epsilon_c}}} \dots\dots\dots(22)$$

여기서  $T_c, T_a$ 는 集熱板 및 外氣의 絕對溫度이며,  $\epsilon_c$  및  $\epsilon_g$ 는 集熱板 및 덮개板의 發射率이며, 普通 黑 페인트板의  $\epsilon_c=0.95$ , 유리  $\epsilon_c=0.88$  플라스틱의  $\epsilon_c=0.63$ 의 값들이 使用된다.  $n$ 은 덮개板의 數이며,  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzman常數로  $0.1723 \times 10^{-8}$  Btu/hr ft<sup>2</sup> · R<sup>4</sup>이다.  $f$ 는 透明덮개板과 内部와의 熱抵抗이며 風速  $v$ 의 函數로서 다음 (23)式과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} f &= 0.76 \times 10^{-0.0814v} & v \leq 8.7 \\ f &= 0.36 \times 10^{-0.0202(v-8.7)} & 8.7 \leq v \leq 17.4 \\ f &= 0.24 \times 10^{-0.01182(v-17.4)} & 17.4 < v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(23)$$

$h_w$ 는 바람에 의한 熱傳達係數로서 다음 式으로 表示한다.

$$h_w = 1 + 0.3v \dots\dots\dots(23)$$

$C$ 는 集熱器의  $\beta$ 의 傾斜로 인한 對流補正係數로서 다음과 같이 表示된다.

$$C = 0.19 - 0.000778\beta \dots\dots\dots(24)$$

라. 集熱器로 부터 얻어지는 有效에너지,  $q_u$  集熱器로 부터의 全熱損失을  $q_L$ 이라하면

$$q_u = q_a - q_L \text{로 表示된다.}$$

또한,  $q_L = U_L(t_c - t_a)$ 로 되며,  $U_L$ 은 集熱器의 熱損失係數로서 式 (19) (20) (22)에 의해 計算된다.

한편, 集熱器內 熱媒體와 外氣間의 熱傳達係數를  $U_o$ 로 表示하면, 그 比

$$\frac{U_o}{U_L} = F' \dots\dots(24) \text{를 Whiller}^{22)} \text{는 集熱器效率係數(Collector efficiency factor)로 定義하고 있다.}$$

$U_o$ 는 集熱器內를  $G$ 의 流量으로 흐르는 比熱  $C_p$ 의 流體의 流入溫度  $t_1$ 과 流出溫度  $t_2$ 를 안다면

$$\frac{t_2 - t_a}{t_1 - t_a} = \exp(-U_o/G \cdot C_p) \dots\dots\dots(25)$$

로 求할 수 있다.

또한 有效에너지와 實際로 流體가 받는 에너지와의 比를 集熱器 熱除去率  $F_R$ 이라 하면,

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} [1 - \exp(-F'U_L/GC_p)] \dots\dots\dots(25)$$

로 表示된다.

따라서

$$\begin{aligned} q_u &= F_R[q_a - U_L(t_1 - t_a)] \\ &= F_R[0.951HR(F_e) - U_L(t_1 - t_a)] \dots\dots\dots(26) \end{aligned}$$

로 表示된다.

또한 集熱器의 效率  $\eta$ 은

$$\eta = \frac{q_u}{HR} \dots\dots\dots(27)$$

로 表示된다.



#### 4. 穀物 乾燥에 利用되는 太陽熱 集熱器의 特性

##### 가. 空氣加熱 集熱器의 種類

前記 한 바와같이 穀物乾燥에 利用되는 集熱器는 空氣加熱 平面式 低溫 集熱器가 利用된다. 平面式 集熱器는 Fig. 2와 같이 Bare-plate collector,

covered-plate collector, covered, suspended-plate collector의 3種類가 있다.

덮개板은 보통 透明유리나 plastic film이 利用되며 集熱板으로는 黑色 페인팅을 한 알루미늄板, 합석板, 黑色의 plastic이 利用되며 나무 종이 等도 쓰인다. 이들 材料의 特性은 Table 6, Table 7과 같다.

Table 6. Some  $\alpha$  and  $\epsilon$  data for surfaces for solar energy application<sup>(10) (15)</sup>

Surface	Absorptance $\alpha$	Emittance $\epsilon$	Reference
Nickel Black on galvanized iron	0.89	0.12	Tabor etal. (1964)
Stainless steel, 16% Cr	0.75	0.1	Duffie
Aluminum treated with $KMnO_4$	0.80	0.35	Duffie
CuO on Ni	0.81	0.17	Kokoropoulos
Commercial flat black paints	0.93	0.93	Duffie
Platinum black	0.95	0.91	Duffie

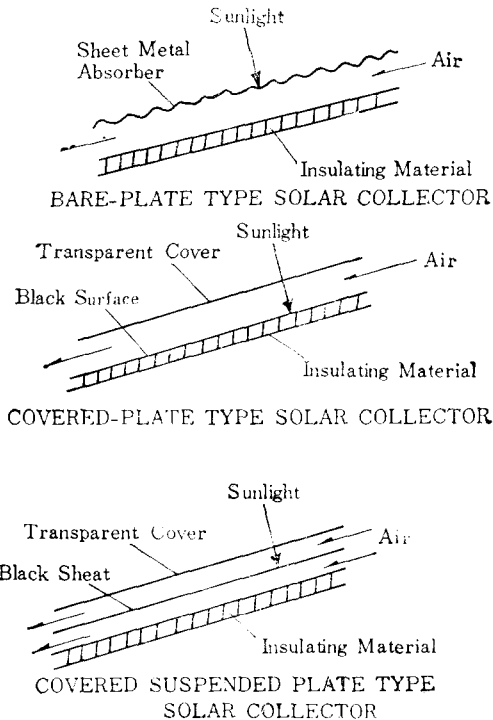


Fig. 2 Schematic of bare-plate, covered-plate and covered, suspended-plate solar collector for heating Air.

3種類의 集熱器 中에서 covered, suspended-plate collector가 가장 效率이 높지만 bare-plate collector도 低溫의 穀物乾燥에는 利用이 可能한 것으로

Table 7. Transmittance of solar energy through glass and plastic film at normal incidence angle<sup>(15)</sup>

	Transmittance
Teflon 100-X	0.97
Weatherable Mylar	0.85
Clear Polyethylene	0.92
Window Glass	0.93

報告되고 있다. 특히 covered, suspended-plate collector中에서도 덮개板과 集熱板 사이에 停滯 空氣層을 具備한 形式의 것이 120°F 以上の 溫度에서

Table 8. Efficiencies of heating air collectors.

Type	Efficiency
Bare Plate	40% (20°F temperature rise)
Covered-plate	70% (20°F temperature rise)
Covered, suspended plate	80% (20°F temperature rise)
Covered, suspended plate	45% (100°F temperature rise)
2-Cover, suspended plate	86% (20°F temperature rise)
2-Cover, suspended plate	75% (100°F temperature rise)

는 가장 效率이 좋으나 100°F 以下の 低溫에서는 오히려 덮개板과 集熱板 및 集熱板과 斷熱層 사이에 空氣를 通過시키는 形態가 더 바람직 한 것으로 發表 되었다.

Buelow와 Boyd,<sup>8)</sup> Close<sup>10)</sup>가 報告한 各種 集熱器의 效率은 Table 8과 같다.

### 나. 穀物乾燥에 利用 되는 集熱器의 種類 및 特性

低溫의 穀物乾燥에 利用되는 集熱器는 大部分 斷熱材를 使用하지 않은 plastic集熱器로서, 獨立的인 集熱器를 grain bin에 附着하거나 grain bin 또는 建物の 壁面, 建物の 지붕에 集熱施設을 具備 하는 形態를 取하고 있다. grain에 bin 附着하는 plastic 集熱器에는 inflated quonset type, triangular type, inflated tubular type, flat-plate type 등이 있다. quonset type은 黑色의 plastic absorber를 透明한 polyvinyle plastic film으로 덮은 다음 送風機로 바람을 불어 넣어 부풀게 한 型式이다. Ohio<sup>10)</sup>에서의 實驗結果에 의하면 東西 方向으로 設置하는 것이 南北 方向으로 設置하는 것보다 集熱器의 斷面에 대한 太陽의 入射角이 적으므로 더 높은 溫度上昇을 가져온다고 報告 하였다. triangular type은 地表에 黑色의 polyethylene film을 깔고 그위에 철사로 三角型의 틀을 만들어 透明 polyethylene 덮개板을 덮은 것으로 土壤에 太陽에너지가 貯藏되므로 日照가 없을 時에도 空氣加熱效果가 있으며 地表에 斷熱材를 使用한 같은 形態의 集熱器 보다 약 25%의 效率이 높은 것으로 報告 되고 있다.

tubular-type은 直徑이 약간 큰 透明 plastic tube 속에 black absorber tube를 挿入하고 送風機로 바람을 불어 넣어 부풀게 한 것이다. 이러한 型式의 集熱器는 固定 되어 있더라도 tracking collector의 特性을 가지고 있다. 南北으로 設置하면 日出時에서 日沒時까지 太陽光線에 對하여 거의 같은 s斷面을 維持 할수 있다. 그러나 秋分 以後에는 東西로 設置 하는 것이 더 많은 에너지를 받을 수 있다. 入射角이 40° 以下 이면 大部分의 에너지가 反射 되므로 利用 時期에 따라 設置 方向을 적절히 定해야 한다.

Grain bin에 集熱器를 附着한 實驗으로는 Peterson<sup>20)</sup>이 圓形의 grain bin 壁面 中 北向의 1/3을 除外 한 나머지 壁面에 集熱器를 設置하여 옥수수 乾燥 試驗을 한바 있으며, Bauman<sup>6)</sup>에 의하여 建物

의 지붕 壁面에 bare-plate collector를 設置하여 옥수수 乾燥 試驗을 한바 있다. 集熱器를 grain bin 이나 建物の 지붕, 壁面 等に 設置 할 때에 集熱板 밑에 斷熱材를 設置하지 않더라도 3.9~4.4°C의 溫度 上昇 效果를 얻을수 있으며, 集熱板으로는 알루미늄을 使用 하므로써 集熱板 뒷面을 통한 放射熱 損失을 줄일 수 있다. 또한 bare-plate collector가 低溫乾燥에 있어서 plastic covered collector 만큼 效果의이며 低廉한 費用으로 設置 할수 있는 利點이 있다. 集熱器의 透明 덮개板으로는 現 段階로서는 0.1~0.25mm 두께의 polyetelene이 가장 實用的이나 壽命이 짧은 缺點이 있으며 Mylar, Tedlar等도 쓰이고 있으나 價格이 비싸다. 低溫穀物乾燥에 쓰이는 集熱器의 크기는 乾燥 1 ton當 0.35~2.65m<sup>2</sup> 程度이며, bath-in-bin system에 太陽熱을 使用 하려면 1 ton當 14~18m<sup>2</sup>의 크기가 必要하게 된다.

集熱器로 부터의 空氣의 溫度 上昇은 주로, 集熱器의 크기 太陽輻射熱強度, 加熱될 空氣의 體積, 기타 效率에 미치는 因子의 影響을 받게 된다. 低溫의 貯藏 乾燥에 利用되는 集熱器에 의한 空氣의 溫度上昇幅은 맑은 날最高 2.8~16.7°까지 上昇하며 溫度上昇幅은 晝夜, 맑은날 흐린날을 平均하여 0.55~3.3°C範圍 이다.

穀物乾燥에 使用되는 低溫 集熱器의 集熱效率은 12—62% 範圍이다 62%의 效率을 나타낸 것은 작은 直徑의 tubular type이며, 가장 낮은 效率은 grain bin의 側壁面에 設置한 페인트를 칠하지 않은 bare-plate collector이었다.

### 5. 太陽熱을 利用한 穀物乾燥

太陽熱을 穀物乾燥에 利用하려는 研究가 Davis와 Zachariah, Lipper<sup>20)</sup>(1957), 에 의하여 처음 시도된 이후, Buelow 과 Boyd<sup>8)</sup> (1957), Buelow<sup>9)</sup> (1958), Lipper 과 Davis (1959, 1960, 1961)<sup>20, 21, 22)</sup>, Bates<sup>5)</sup> (1962), Löf<sup>23)</sup> (1962), Sobel과 Buelow<sup>20)</sup> (1963), Robertson 과 Mowrey<sup>25)</sup>(1963), Phillips<sup>26)</sup> (1965), Bailey 과 williamson<sup>3)</sup>(1966), Akyurt 2 (1965), Selcuk<sup>29)</sup>(1973) Peterson<sup>28)</sup> (1973), 等に 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 이었으며<sup>11)</sup>, 이러한 研究들은 大部分 低溫乾燥에 太陽熱을 利用하는 것, 即, 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

太陽熱을 이용한 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와의 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 數學的 simulation model에 의한 地域의作物別 太陽熱 利用乾燥의 潛在力 分析.

1960年 Robertson과 Morey는 黑色 Plastic을 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 plastic板을 덮은 集熱器를 製作하여 sorghum의 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<sup>28)</sup> 美國의 北中部에서 soybean, sorghum, shelled corn에 대한 太陽熱을 利用한 低溫貯藏乾燥試驗에서 모든 乾燥穀物이 別 다른 質的損傷없이 安全貯藏乾燥試驗에서 乾燥가 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 4°~5.5°C 정도 의 上昇溫度幅으로 24時間 계속 乾燥한 低溫乾燥 보다는 느리게 나타났으며 이러한 乾燥速度는 穀質에 損傷을 주지 않는 範圍라고 報告되고 있다. 一般的으로 太陽熱乾燥가 乾燥速度에 있어 常溫通風乾燥에 비하여는 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 一般的으로 太陽熱을 利用한 乾燥가 常溫通風보다 는 낮게 나타났으나 電熱을 補助熱源으로 계속 乾燥한 低溫乾燥 보다는 높게 나타났다. 28m<sup>3</sup>의 inflated tubular type 集熱器를 利用한 shelled-corn의 乾燥의 경우<sup>29)</sup> 2.7~3.0m<sup>3</sup>/min-ton의 送風으로 20日間의 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 2.8m<sup>3</sup>/ton, 風量 2.2m<sup>3</sup>/min-ton으로 最初 水分含量 24%의 shelled Corn을 24日間 乾燥한 後, 水分이 16%로 되었으며 5.6°C의 電熱을 供給한 境遇는 16日 乾燥後 14.6%로 나타났다.

一般的으로 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<sup>30)</sup> 31) 熱利用率은 14~46%로 變化가 심하며 乾燥에 利用된 全熱量의 약 2%~34%가 太陽熱集熱器에서, 약 66~80%가 空氣와 送風器에서 喪失된다고 보고 되었다.

에너지 節約面에서는 sorghum의 乾燥에서 23~

52%의 에너지 費用이 節約되었으며, corn乾燥에서는 26~55%의 電力에너지의 節約이 있는 것으로 發表되었다. 그러나 太陽熱의 費用效果는 아직까지 뚜렷하게 나타나지 않고 있다. computer simulation<sup>32)</sup>에 의하면 低溫으로 貯藏乾燥할 경우, 太陽熱乾燥에서는 929m<sup>3</sup>의 集熱器로 21 ton의 穀物의 乾燥 費用이 \$9.04/ton, 프로판가스에 의한 乾燥는 \$5.74/ton, (太陽熱乾燥의 63.5%) 電力에 의한 乾燥는 \$9.46/ton(太陽熱乾燥의 104.6%) 所要될 것으로 報告되었다. 따라서 集熱施設의 利用率을 提高시켜 穀物乾燥 비용을 줄이려는 意圖에서 太陽熱 集熱 system을 穀物乾燥뿐만 아니라 空間난방, 물의 加熱, 기타 農産物 乾燥등 多目的 利用에 관한 研究가 進行되고 있다.<sup>11)</sup> 또한 集熱器로 利用될 수 있는 green house內에서 穀物을 乾燥하는 方法과 air-inflated storage와 集熱器 및 乾燥器를 組合한 system에 대한 研究도 進行되고 있다.<sup>11)</sup>

低溫乾燥를 위한 simulation model은 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에 관한 것으로 最終水分含量 15%, dry matter loss 0.5%를 기준으로 하여 穀物의 條件에 따른 成功확율이 分析되고 있다. 送風機로부터 1.1°C, 太陽熱로부터 1.7°C의 平均的인 空氣溫度 上昇效果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감소에는 거의 影響을 주지 못하는 것으로 보고되고 있다. 그러나 相對濕度가 높은 地域에서는 太陽熱에 의한 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 단축시켜 주며, 乾燥의 成功確率을 증대시켜 주는 것으로 發表되고 있다.

## 6. 結果 및 要約

1973年의 石油危機 이래 農作業工程中에서 가장 에너지 集約的인 工程인 穀物乾燥過程에서의 에너지 代替 및 節約方案의 하나로 太陽熱을 集熱하여 穀物乾燥에 利用할려는 研究가 활발히 進行되어 오고 있다. 그러나, 太陽에너지는 低密度이며, 氣象 및 地域的인 條件 등에 敏感한 不安定한 特性을 갖고 있어 이를 效果의으로 集熱하여 穀物乾燥의 熱源으로 受容採擇하기에는 많은 技術的인 問題點이 있다.

本研究의 目的은 文獻을 中心으로 現在까지 行하

여진 太陽熱을 利用한 穀物乾燥에 대한 綜合的인 考察을 하여 그 問題點을 찾는 데 있으며, 그 結果는 다음과 같다.

가. 우리 나라의 秋穀乾燥期間인 10月の 氣象條件은 常溫通風乾燥의 可能性이 높을 뿐만 아니라, 日照條件이 良好하여 太陽熱을 補助熱源으로한 低溫通風乾燥의 높은 可能性이 있는 것으로 判斷된다.

나. 現在까지는 高溫集熱이 요구되는 高溫高速乾燥에는 太陽熱利用의 妥當性이 인정되지 않고 있으며, 低水準의 熱投入 및 間歇的, 變動的인 熱投入이 허용될 뿐만 아니라 相對的으로 乾燥期間이 긴 低溫低速通風乾燥에서 보다 더 높은 妥當性이 인정되고 있다.

다. 穀物乾燥에 利用되는 集熱器 中에서 polyvinyle film으로 製作된 tubular type과 grain bin의 壁面에 설치한 plastic covered collector 및 Bare-plate collector가 가장 效果的이며 經濟的인 것으로 評價되고 있다.

라. 太陽熱을 利用한 低溫乾燥는 常溫通風乾燥에 比하여 一般的으로 乾燥期間이 짧으며, 最終水分含量은 낮게 나타나고 있으나, 電熱을 補助熱源으로한 低溫通風乾燥에 比해서는 乾燥期間이 길며 最終水分含量은 높게 나타나고 있다.

마. 太陽熱을 利用한 乾燥가 常溫通風 및 電熱을 利用한 乾燥에 比하여 23~53%의 에너지費用의 節減이 可能하지만, 아직까지 全乾燥費用 節減效果는 뚜렷하지 못하므로 多目的으로 利用할 수 있는 乾燥시스템의 開發이 바람직하다.

바. 一般的으로 太陽熱 集熱器로 부터의 補助熱은 低溫通風乾燥에 가장 큰 영향을 주는 風量의 減少에는 거의 영향을 주지 못하나 低溫通風乾燥의 成功率率를 增大시켜 준다.

### 參 考 文 獻

1. Akyurt, M. and M.K. Selcuk. 1973. A solar drier supplemented with auxiliary heating systems for continuous operation. Solar Energy 14(3) : 313—320
2. Angström, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quant. Jour. Roy. Meteor. Soc. 50 : 121—125.
3. Bailey, P.H. and W.F. Williamson. 1965. Some experiments on drying grain by solar radiation. J. Agr. Engin. Res. 10(3) : 191—196
4. Baker, D.G. and D.A. Hains. 1969. Solar radiation and sunshine duration relationships, North Central regional Research Publication, 195.
5. Bates. D.W. 1962. Dry your grain with solar heat. Hoard's Dairyman, 107 : 786.
6. 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. Am. Soc. Agr. Engin. st. Joseph, Mich.
7. Becker, C.F. and J.S. Boyd. 1957. Solar radiation availability on Surfaces in the United States as affected by season, orientation, latitude, altitude and Cloudiness, Solar Energy 1 : 14—21
8. Buelow, F. and James Boyd. 1957. Heating air by solar energy. Agricultural Engineering 38(1) : 28—30.
9. Buelow, F. H. 1958. Dry grain with solar heated air. Mich Agr. Expt. Sta. Quart. Bul. 4(2) : 421—429.
10. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1974. Solar, energy thermal processes. Wiley-Interscience New York
11. Foster, G.H. and R.M. Peart. 1976. Solar grain drying progress and potential USDA, Agricultural Research, Agriculture Information Bull. 401.
12. Harris, A.R. 1966. Solar radiation and distribution and its correlation with sunshine. M.S. Theses, Soil Sci. Dept., Univ of Minn.
13. Hamon, R.W., L.L. Weiss, and W.T. Wilson. 1954. Insolation as an empirical function of daily sunshine duration. Monthly Weather Rev. 82 : 141—46
14. Henderson, S.M. 1952. Basic concept of equilibrium moisture, Agricultural Engineering. pp. 29—30.
15. Hottel, H.C. and B.B. Woertz. 1942. The performance of flat plate solar-heat collectors, Transaction of the ASME. Vol. 64. pp. 91—104
16. Isaacs, G.W. 1973. An overview of energy

- consumption in corn production and marketing. Energy for Agriculture Conference at Purdue Univ.
17. Keener, H.M., G.E., Meyer, and W.L. Roller. 1975. Heated air by solar energy for grain drying. The Ohio Farmer, May Harvest Publ. Co., Cleveland.
18. Kim, S.R.. 1974. Study on the Small grain bin for the improvement of grain drying and storage. The Journal of KSAE. 16(1) : 39—67.
19. Kranzler, G.A., C. J. Bern, and G.L. Kline. 1975. Grain drying with supplemental solar heat. Paper 75—3001. Am. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich.
20. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1959. Solar energy for crop conditioning. Paper No. 59—902. Am. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich.
21. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1960. Drying crops with solar energy. Agricultural Research 8(11) : 14
22. Lipper, R.I. and C.P. Davis. 1961. Various uses possible for new solar heat collectors. Agricultural Research 10(5) : 14
23. Löf, George O.G. 1962. Solar energy for drying of Solid. Solar Energy 6(4) : 122—128
24. Meyer, G.E., H.M. Keener, and W.L. Roller. 1975. Solar heated air drying of soybean seed and shelled corn. PaperNO. 75—3002, Am. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich.
25. 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
26. Moon, P. 1940. Proposed standard solar radiation curves for engineering use. Journal of Franklin Institute, 230 : 583—617
27. Morrison, D.W. and G.C. Shove, 1975. Bare plate solar collector grain drying bin. Paper No. 75—3513. Am. Sol. Agr., Engin., St. Joseph, Mich.
28. Peterson, Willian. 1973. Solar electric crop dryer progress report. EMC 657, South Dakota Univ.
29. Peterson, W.H. and M.A. Hellickson. 1976. Solar-electric drying of corn in South Dakota, Transactions of the ASAE 19(2) : 349—353
30. Sobel. A.T. and F. Buelow. 1963. Galvanized steel roof construction for solar heating Agricultural Engineering 44(6) : 312—313
31. Threlkeld, J.L. and R.C. Jordan. 1957. Direct solar radiation available on clear days. Heating, Piping and Air Conditioning. 29(12) : 135—45
32. Whillier, A. 1967. Design factors influencing solar collector. Low Temperature Engineering Application of Solar Energy, Prepared by ASHRAE, pp. 27—40.

## 麥類栽培 機械化 作業演示會

農村振興廳 主管으로 1978年 6月 9日 農村振興廳 麥類研究所 試驗圃場에서 農水産部를 비롯한 有關機關 및 農業機械生産業界의 關係者 200餘名이 參席한 가운데 堆肥撒布機, 畦立로타리 播種機, 除草

劑撒布機, 踏壓機, 刈取結束機, 投入式脫穀機의 演示가 있었고 이들 機械의 性能 및 經濟性에 關한 檢討가 있었다.