

農產物 乾燥用 曲面 集光式 太陽 熱 利用 裝置에 관한 연구

第 2 報 : 알루미늄—아크릴 필름 太陽熱 利用 장치를 사용한
農產物 乾燥에 관한 연구

全 在 根 · 陸 激 均
서울 大學校, 農科 大學, 食品 工學科
(1979년 8월 4일 수리)

Studies on the Focusing Solar Agricultural Crop Dryer

II. Aluminum-laminated Acryl Film Cylindrical Focusing Solar Food Dryer

Jae Kun Chun and Chul Kyoon Mok

Department of Food Technology, College of Agriculture, Seoul National University

(Received August 4, 1979)

Abstract

A cylindrical focusing solar food dryer made with aluminum-laminated acryl film was demonstrated for the dehydration of agricultural product and its performance was analyzed with respect to the solar energy utilization and its scale-up technology.

With one square meter reflector and a 74 cm copper pipe absorber, the heat exchange efficiency between air stream and absorber was 1.39%. The installation of circular segment-baffle increased 33% of the efficiency. In dehydration of radish-cut with this drier, 58% of fuel consumption was saved. The relationship between reflector area and heat energy utilization was established for the scale-up purpose.

서 론

農產物 건조 방법으로 天日 乾燥가 널리 이용되고 있으나 所要되는 乾燥 期間이 길어져 品質의 變敗를 일으키게 되며 이로 因한 農產物의 損失量이 막대하다⁽¹⁾. 乾燥 期間의 단축을 위해서는 火力 乾燥 方法의 導入이 不可避하며 現在 火力 乾燥 方法을 이용한 農產物의 건조가 널리 행하여지고 있다. 그러나 건조에 必要되는 에너지 價格 上昇과 연료로 부터의 異臭物의 汚染을 피할 수 없는 이유 등으로 인하여 太陽 熱을 이용한 熱風 乾燥 方式의 開發이 絶실히 要求되고 있

다. 太陽 熱 利用 農產物 乾燥 方式에 관한 研究는 全 世界的으로 광범위하게 수행되고 있으며⁽²⁻⁵⁾ 일부 성 공적으로 실용화 되고 있으나 共通적으로 문제가 되고 있는 것은 乾燥를 수행코 저 하는 地域의 기상 조건과 經濟性이라고 볼 수 있다⁽⁶⁾. 특히 熱風 乾燥 方式은 多量의 加熱 空氣를 送入 하여야 하고 이를 農產物에 接觸 시켜야 하는데 이때 熱風의 壓力 損失이 크므로 이를 극복할 수 있는 流速을 가져야 한다. 이는 곧 高溫의 熱源에서 空氣를 多量 加熱하는 手段이 必要함을 뜻한다. 따라서 高溫을 얻을 수 있는 曲面式 太陽 熱 集光 裝置를 製作하되 低廉한 價格으로 쉽게 구입할 수 있는 알루미늄—아크릴 필름을 소재로 사용하였다. 이러한

曲面式 太陽 熱 利用 乾燥 시설을 실제 농산물 건조에 활용키 위하여 一連의 시험을 행한 結果를 報告하는 바이다.

實驗 方法

實驗 장치

본 연구에서 使用한 太陽 熱 利用 農産物 乾燥 裝置는 前報⁽⁷⁾와 같은 알루미늄-아크릴 필름 曲面 集光式 太陽 熱 利用 裝置에 Fig. 1과 같이 送風機, 乾燥室, 補助 電熱源 및 溫度 調節 장치를 부착하여 使用하였다.

實驗 方法

가. Aluminum-acryl 曲面 集光 장치에 의한 空氣의 加熱

Fig. 1과 같은 장치에 의하여 集光된 太陽 光線을 吸光管에 手動으로 焦點을 맞추어 吸光管을 加熱 하였으며 加熱된 吸光管(동관 O.D. 28.6 mm, 두께 1 mm, 反

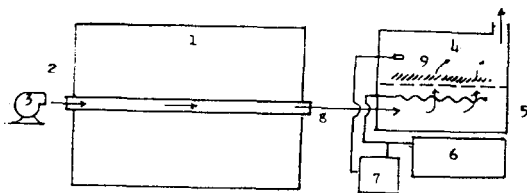


Fig. 1. Schematic view of the solar dryer

- 1. Collector
- 2. Absorber
- 3. Blower
- 4. Drying chamber
- 5. Aux. heater
- 6. Watt-hour meter
- 7. Temp. controller
- 8. Hot air
- 9. Agricultural product

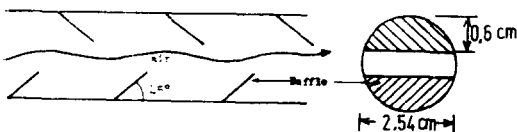


Fig. 2. Baffle arrangement in the absorber pipe

射板 反對 측은 2 mm 두께의 asbestos 판지로 保温한) 에 空氣를 送入 하였다. 이때 吸光管 表面 및 空氣의 溫度는 thermocouple(Cu-constantan) 및 알코올 온도계를 사용하여 측정 하였으며 thermocouple을 使用할 경우는 mV-recorder(Shimadzu U-125 MU)에 연결하여 記錄하였다.

나. 集光板의 反射 面積 및 吸光管의 baffle 설치에 따른 太陽 熱 利用 效率의 測定

Fig. 1의 曲面 反射板을 세로 4등분하고 반사 면적의 1/4, 2/4, 3/4, 4/4을 使用할 때의 熱 交換 效率를 測定 하였다. 한편 吸光管內에 Fig. 2와 같은 半圓型의 baffle(1 mm厚, 銅板)을 附着하되 baffle의 數에 따른 熱 交換 效果를 測定하였다.

다. 農産物의 乾燥 試驗

Fig. 1과 같은 太陽 熱 利用 裝置에 의하여 加溫된 熱風을 乾燥室에 一定한 流速으로 送入하고 乾燥 室內의 溫度는 補助 電熱源을 사용하여 70°C로 유지되도록 하였다. 다음 乾燥 試料인 무우(4 m×4 mm로 細切한 것) 100 g를 乾燥室에 넣어 乾燥 하였다.

라. 日射 熱量의 測定

日射量은 水平面의 總 輻射 熱量을 Robitsch pyrhelograph(Isuzu)를 사용하여 측정 하였다.

結果 및 考察

空氣의 送入이 없는 상태에서 吸光部에서의 熱 收支

吸光管에 空氣의 送入이 없는 상태에서 吸光管의 溫度 上昇을 測定한 結果 다음 Table 1과 같이 20°C에서 140°C까지 上昇시켰다. 이는 集光板이 받은 日射量을 기준으로 할 때 9.96%의 熱 利用 效率를 나타낸 것이다 한편 吸光管의 溫度는 日射量의 變化에 Fig. 3과 같이 即刻으로 變化 하였으며 吸光管의 加溫이 定常 狀態에

Table 1. Energy balance at the absorber

Date and Time	Solar Energy received (Kcal)	Absorber wt. (g)	Cp of copper (cal/g°C)	Temp. elevation (°C)	Heat gained (Kcal)	Efficiency (%)
Nov. 9, 1977 10:50~11:10	109.22	894.4	0.1014	120	10.88	9.96

Table 2. Energy balance at the absorber during the air flowing

Date and time	Radiation energy received (Kcal)	Amt. of air (g)	Temp. elevation (°C)	Cp of air (cal/g°C)	Heat gained (Kcal)	Efficiency (%)
Oct. 14, 1977 11:00~11:20	176.66	325.2	31.4	0.24	2.45	1.39

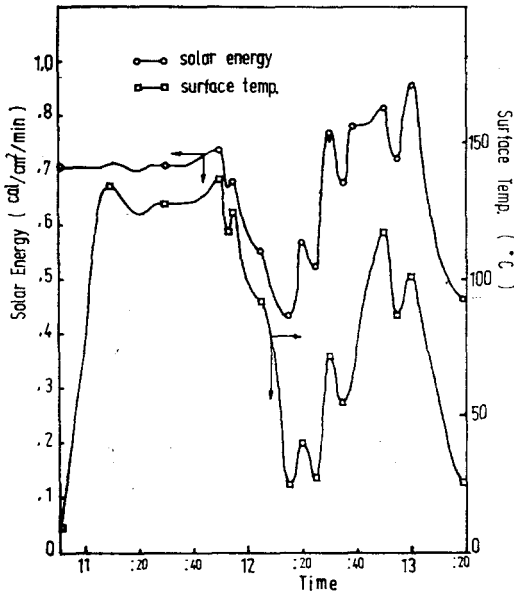


Fig. 3. Relationship between solar energy and surface temperature of the absorber

도달하는데는 20분이 所要되었다.

空氣 送入下에서 吸光管 空氣間의 熱 交換

太陽 熱에 依하여 加熱된 吸光管에 19.9°C의 空氣를 16.26 g/min의 速度로 送入하였을 때 入口와 出口의 空氣의 온도차가 51.3°C를 記錄하였다. 이때의 熱 利用 效率은 Table 2에서와 같이 1.39%이었다. 이를 Table 1의 結果와 比較하여 보면 太陽 熱이 吸光部에 吸收되는 過程보다 吸收된 吸光管의 熱量을 空氣로 熱 交換시키는 效率이 훨씬 떨어지는 것으로 吸光部에서의 效果의 인 熱 交換 方法이 강구되어야 함을 뜻하게 된다.

Baffle 設置에 따른 吸光管의 熱 交換 效果

吸光管內에 空氣 흐름의 亂流 現象을 유발시켜 熱 交換 效果를 높이기 위하여 Fig. 2와 같은 baffle을 설치하여 그 效果를 試驗한 結果 Table 3과 같다. 即 baffle을 설치하지 않은 경우의 熱 交換 效率이 1.32%였던 것이 baffle을 7枚 설치할 경우 1.34%, 17枚 설치할 경우 1.39%로 增加 하였다. 이와같은 傾向은 17枚의 baffle을 설치한 경우와 baffle이 없는 경우를 比較하여 보면

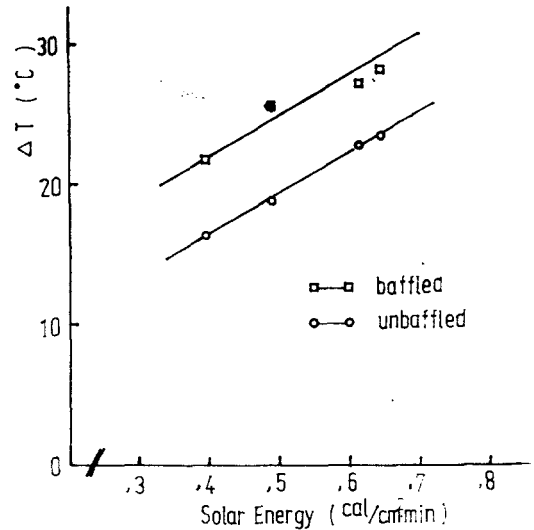


Fig. 4. Baffle effects on the temperature elevation of the absorber at various solar energies

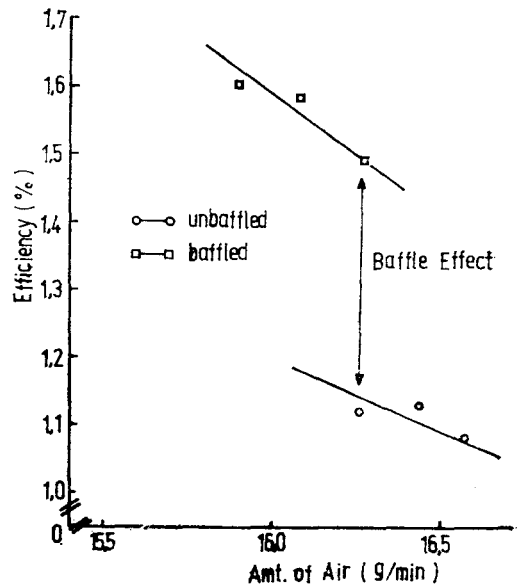


Fig. 5. Baffle effect on the heat utilization efficiency at various air flow rates

Table 3. Baffle effects on the heat utilization

Number of baffles	Date and time	Solar energy received (Kcal)	Amt. of air (Kg)	Temp. elevation (°C)	Heat energy gained (Kcal)	Efficiency (%)
0	Oct. 17 11:00-13:00	1048.95	1.99	29.0	13.85	1.32
9	Oct. 28 11:00-13:00	803.20	1.97	22.8	10.78	1.34
17	Oct. 14 11:00-13:00	1059.94	1.95	31.4	14.70	1.39

Table 4. Baffle effects on the heat exchange in the absorber

Date and time	Solar energy		Amt. of air (g/min)	Temp. elevation (°C)	Heat gained (cal)	Efficiency (%)
	cal/cm ² /min	cal/cm ² /min				
Oct. 18, 14:35	1.071	10699.29	16.26	30.8	120.19*	1.12
14:40	1.033	10321.67	16.44	29.6	116.79*	1.13
14:43	1.021	10195.79	16.56	27.8	110.49*	1.08
14:58	0.951	9503.49	15.90	39.8	151.88	1.60
15:00	0.945	9440.55	16.08	38.6	148.97	1.58
15:04	0.939	9377.61	16.26	35.8	139.71	1.49

* Date from un baffled absorber

Table 4와 Fig. 4 및 5에서 보는 바와 같이 여러가지 日射 條件과 空氣의 送入量에서도 뚜렷한 熱 交換 增大 效果를 나타내었다. 따라서 曲面 集光式 太陽 熱 利用 裝置에서 吸光管에 baffle을 設置하는 것이 熱 利用 效率를 높이는 데 重要하며 約 33 %의 效率 增大을 얻을 수 있다.

太陽 熱 利用 裝置를 利用한 農産物의 乾燥

曲面 集光式 太陽 熱 利用 裝置를 農産物 乾燥에 利用할 수 있는 可能性을 試驗키 위하여 試料인 무우를 乾燥室에 넣어 70°C에서 熱風 乾燥한 結果 Fig. 6과 같은 乾燥 曲線을 보였으며 이때 一定한 乾燥 溫度를 유지하기 위하여 補助 電熱源을 사용하였다. 따라서 이때 所要된 電力量을 太陽 熱의 使用없이 同一 條件下에서 行한 熱風 乾燥와 比較하여 보았으며 그 結果는 Table 5와 같았다. 即 電熱로만 乾燥 하였을 경우 608,571 cal가 소요된 것에 비하여 太陽 熱을 使用 하였을 경우는 257,143 cal의 電力만이 소요되어, 乾燥에 必要한 열량중 58 %가 太陽 熱로 充當할 수 있었다. 한편 太陽 日射量을 基準으로 한 農産物 乾燥 利用 效率는 17.8 %의 높은 값을 보여주고 있어서 本 曲面 集光式 太陽 熱 利用 장치의 材料나 구조의 간단성에 비하여 볼 때 充分히 農産物 乾燥에 利用이 可能하며, 乾燥 製品이 기타의 熱源을 사용할 때 보다 異臭物 등의 汚染이 없어 食品 乾燥에 적합하다고 사료된다.

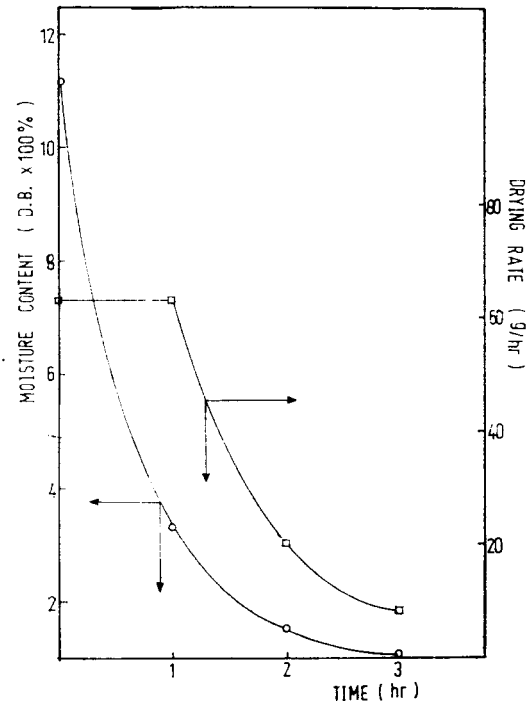


Fig. 6. Solar drying curve of radish-cut

Table 5. Comparison between the solar energy drying and the conventional hot air drying

Sample: radish 100 g, drying temp.: 70°C

Date	Drying type	Ambient temp. (°C)	Temp. elevation (°C)	Amt. of air (g)	Energy required for heating air(cal)	Energy consumed for drying (cal)	Electric power consumed (cal)
Oct. 19	Solar energy drying	20.6	49.4	3902.4	46266.85	2231,167	257,143
Oct. 20	Hot air drying	19.2	50.8	3902.4	47578.06	608,571	608,571

Electric energy saved : 351,418 cal Solar energy received : 1974,024 cal
Solar dryer efficiency : 17.8 %

Table 6. Reflecting area effects on the heat utilization

Amount of air=16.26 g/min

Date and time	Reflector area (cm)	Solar energy received (cal)	Temp. elevation (°C)	Heat energy gained (cal)	Efficiency (%)
Oct. 21, 13:45	2497.5	1725.29	12.3	47.99	2.78
14:00	4995.0	3404.29	17.8	69.46	2.04
14:15	7492.5	4853.42	22.8	88.97	1.83
14:30	9990.0	6041.85	24.3	94.83	1.57
Oct. 25, 13:00	62127.0	46750.6	78.0	304.38*	0.65

* Data from un baffled receiver

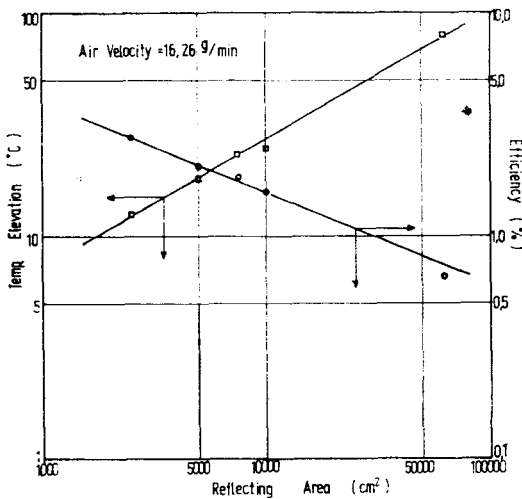


Fig. 7. The relationships among the reflection area, temperature elevation and the heat utilization efficiency

曲面集光式太陽熱農産物乾燥裝置의 몇가지問題點

本 研究에서 使用한 曲面集光部의 反射面積은 1m²에 不 過한 것을 使用하였다. 그러나 實際 多量의 農産物을 乾 燥하기 爲해서는 보다 넓은 面積의 反射板을 使用하 여야 한다. 따라서 scale-up의 問題가 개제되게 된다. 여기에는 反射板 面積에 따른 可得熱量의 關係, 큰 反 射板을 安全하게 保護할 수 있는 構造物의 堅固性, 焦 點 部位를 吸光管에 맞추는 초점 조절 裝置 製作의 정밀 도등의 問題를 해결 하여야 될 것이다. 우선 反射板 面積 에 따른 可得熱量의 關係를 본 결과 Table 6과 Fig. 7 에서 볼 수 있는바와 같이 空氣의 送 入 下에서 反 射 面 積 과 溫 度 上 昇 值는 對 數-對 數 座 標 上의 作 圖 中 直 線 的 比 例 關 係가 成 立 하였다. 即 反 射 面 積이 10m²을 使用 할 경 우 100°C로 加 熱 된 空 氣를 16.26g/min의 速 度로 送 入 수 있 음을 예 측 할 수 있 게 된 다. 그러나 熱 利 用

効率は 역시 對數-對數 座標에서 直線적으로 減少하게 되어 10 m²의 反射面을 쓰면 그 効率が 0.6 % 정도의 効率밖에 얻을 수 없게 된다. 이와같은 効率의 減少는 吸光部에서의 보다 効果의인 熱 交換 方式을 채택하면 改善될 수 있을 것으로 사료된다. 그밖의 問題점에 對 해서는 앞으로 많은 研究가 있어야 될 것이다.

要 約

알루미늄-아크릴 필름을 사용하여 製作한 曲面集光裝置에 依한 空氣의 加熱과 加熱된 空氣를 利用하여 農産物의 乾燥에 利用하는 實驗을 통하여 다음과 같은 結 과를 얻었다.

1. 空氣를 熱 交換 媒體로 하고 1 m²의 曲面集光式 反射板에 依하여 加熱된 吸光管에 送 入할때의 熱 交換 効率は 1.39 % 이었다.
2. 吸光管 内部에 baffle을 설치할 경 우 baffle의 數에 따라 熱 交 換 効 率이 增 加 하 였 으 며 74 cm의 吸 光 管 에 17 枚를 設 치 할 경 우 33 %의 効 率 增 大를 가 지 왔다.
3. 本 太陽 熱 利 用 裝 置에 依 하 여 加 熱 된 空 기 로 무 우 를 70°C에서 열 풍 乾 燥 하 였 을 경 우 건 조 에 必 要 한 열 량 중 58 %를 節 約 할 수 있 었 다.
4. 反 射 板을 scale-up할 경 우의 可 得 熱 量 및 熱 利 用 効 率과 的 關 係는 對 數-對 數 座 標 中 直 線 的 關 係를 보 였 다.

문 헌

1. 金 恭 煥, 全 在 根 : 한국 食 品 科 學 會 誌, 7(2), 69 (1975)
2. Akyurt, M. and Selcuk, M. K. : *Solar Energy*, 14 (3), 313 (1973)
3. Bailey, P. H. and Williamson, W. F. : *J. Agr. Engin. Res.*, 10 (3), 191 (1975)
4. Buelow, F. : *E/CONF 35/S/17, UN Conference on*

- New Sources of Energy, Rome* (1961)
5. Bauman, B. S., Finner, M. F. and Shove, G. C. :
Paper No 75-3514. *Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich.*, (1975)
6. Carnegie, E. J. and Niles, P. W. : Paper Presented
at *Proceedings of The Solar Industrial Process Heat Symposium*, CONF-770966, College Park, Maryland (1977)
7. 全在根, 陸激均, 金顯旭 : 한국 식품 과학 회지, 11 (1), 8 (1979)