

農產物 乾燥用 曲面集光式 太陽熱 利用 裝置에 관한 研究

第 1 報. 알루미늄-아크릴 필름을 利用한 太陽熱 集熱裝置의 熱利用 效率

全 在 根 · 睦 澈 均 · 金 顯 旭

서울대학교 農科大學

(1978년 12월 15일 수리)

Studies on the Focusing Solar Agricultural Crop Dryer

Part 1. Heat Efficiency of Aluminum-laminated Acryl Film Solar Heater

Jae-Kun Chun, Chul-Kyoon Mok and Hyun-Uk Kim

College of Agriculture, Seoul National University, Suwon

(Received December 15, 1978)

Abstract

A cylindrical solar energy focusing collector was constructed using aluminum-laminated film plastered on the acrylic plate and examined its performances under the Korean local weather conditions. The reflector surface of this collector evidenced the reflectivity of 66.1%, which was satisfactory value that could be applicable to the solar collector for its low price and availability.

Collector efficiency measured at the heat exchanger fluid in absorber-copper pipe black colored was 73% and the resulting natural convection of the heat transfer media (water) was recorded up to 2.82 cm/sec. The overall efficiency of the solar heater in operation was 28.6% and it was correlated with the solar energy input and the temperature elevation difference gained.

1. 序 論

最近 새로운 에너지 資源의 개발이 전세계적으로 要請됨에 따라 太陽熱을 利用하는 方法에 관한 연구가 多方面에서 活潑히 進行되고 있다.^(1~5) 食品加工分野에서는 오래전부터 天日乾燥方法이 널리 사용되고 있음은 주지의 사실이나 여기에서 언급되는 太陽熱利用方法이란 太陽의 輻射熱을 最大限으로 吸收利用하는 一連의 方法을 意味한다. 이러한 太陽熱利用장치로는 板箱式(flat-plate type)과 集光式(concentration type) 및 太陽電池式(solar cell type)으로 大別할 수 있는데 이중 板箱式이 製作 및 操作上的 간편한 利點 때문에

널리 연구 利用되고 있다.^(6~15)

한편 集光式 太陽熱利用장치는 製作 및 操作이 용이하지 않으나 高溫을 얻을 수 있는 利點이 있어서 多量의 送風을 要하는 農產物의 乾燥의 경우 成功的으로 活用되고 있다.^(14~16)

어떤 方式을 擇하든지 太陽熱利用장치에서 問題가 되고 있는 것은 太陽熱을 吸收하고 이를 有用한 熱로 바꾸는 熱交換裝置의 製作이 要求되며, 여기에는 막대한 製作費가 所要되어 經濟性이 弱하다는 것이다.^(17,18) 따라서 太陽熱의 成功的인 利用은 低廉한 素材를 使用한 裝置의 開發이 必要하다. 따라서 本研究은 低廉한 값으로 國內에서 쉽게 購入할 수 있는 알루미늄 아크릴 필름으로 쉽게 製作할 수 있는 曲面集光式 太

陽熱利用裝置를 製作하고 이를 農産物乾燥에 活用하는데 必要한 基礎資料를 얻는데 目的을 두고있다. 農産物의 乾燥는 多量의 乾燥空氣를 要求하며 空氣를 熱交換媒體로 使用하여야 한다. 그러나 이에 앞서 本裝置의 正確한 可得熱量의 算出이 必要하므로 물을 熱交換媒體로 使用하고 이를 地域的 氣象條件과 결부시켜 曲面式 太陽熱利用 裝置의 熱利用效率에 관한 일련의 實驗을 수행하였다.

2. 實驗方法

(1) 太陽熱 集熱裝置

本實驗에서 使用한 太陽熱集熱 裝置는 cylinder型的의 反射板과 反射光의 초점부위에 吸光管을 設置한 그림 1.2.와 같은 장치를 製作 使用하였다.

反射板은 市中에서 쉽게 구입할 수 있는 白色아크릴 판(두께 1 mm)에 알루미늄-아크릴 필름을 접착제로 접착시켜 만들었으며 可用反射面積은 1 m²이었다. 吸光管은 銅管(두께 1.6 mm 외경 28.6 mm, 길이 74 cm)에 carbon black를 塗色하였고 이 銅管의 半面은 필요에 따라 asbestose (두께 1 mm) 板紙로 保温하였다. 이렇게 만들어진 集光板은 동서남북과 上下로 움직일 수 있도록 받침대위에 설치 使用하였다.

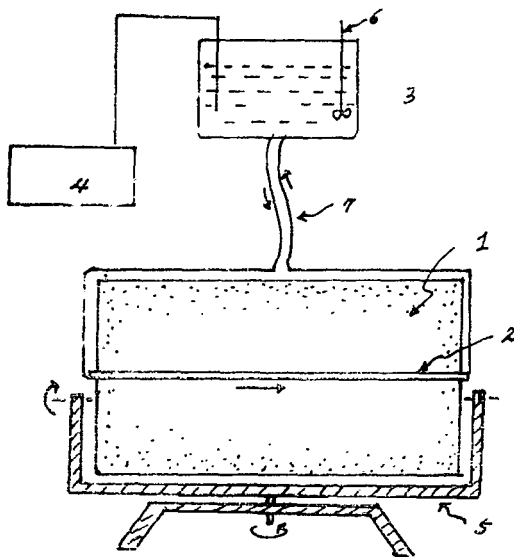


Fig. 1. Experimental solar heater apparatus
 1. cylindrical parabolic collector 2. absorber
 3. water reservoir 4. temperature recorder
 5. supporting structure 6. agitater
 7. connecting flexible hose

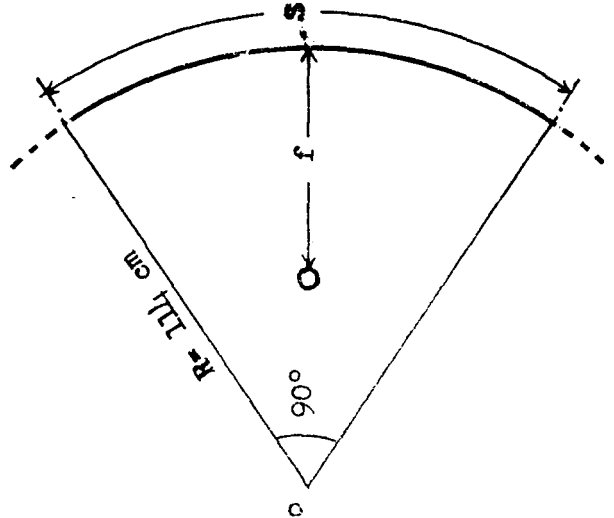


Fig. 2. Geometric figures of solar energy collector. R; radius of circle, S; length of arc, f; length of focus (=R/2) o; center of circle

(2) 反射板의 反射度 測定

알루미늄 아크릴필름을 접착시켜 만든 반사판의 反射度를 測定키 위하여 dowble beam spectrophotometer (shimadzu UV-200)를 개조한 반사도 측정기에서 500, 600, 700 800 nm의 파장에서 反射光을 측정하고 이들의 百分率의 平均値를 反射度로 하였다.

(3) 日射量의 測定

日射量은 水平面의 總輻射量기준으로 Robitsch pyrheliograph (Isuzu)를 사용하여 측정하였다.

(4) 溫度의 測定

太陽集熱장치 各部位의 溫度는 copper-constantan thermocouple (0.6 mm dia.)를 장치하여 이를 mv-recorder에 연결하여 측정 및 기록하였다.

(5) 流速의 測定

吸光管内를 흐르는 물의 自然對流현상으로 생기는 流速은 吸光管의 한쪽 入口에 염료를 注射器로 注入하고 出口까지 염료가 流出되는 時間을 측정 算出하였다.

(6) 太陽熱集光裝置의 太陽熱利用效率의 測定

一定時間內에 反射板에 투입되는 入射日射量에 對한 저장탱크(그림 1)에 있는 물이 加溫되어 얻은 熱量의 百分率을 算出 測定하였다.

Table 1. Monthly average hour of sunshine and radiation in Suwon, Korea

	Month											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Duration of sunshine (hr)	191.2	132.6	199.2	195.7	243.8	182.5	156.4	78.0	213.1	167.9	158.3	137.3
Day time length (hr)	386.2	312.9	369.6	393.5	438.0	439.6	446.5	419.4	371.9	337.0	304.6	287.8
Sunshine (%)	62.4	42.4	53.9	49.7	55.7	41.5	35.0	18.6	57.3	49.0	52.0	46.0
Radiation(cal/cm ² day)	165.7	181.3	287.0	338.8	293.5	249.3	249.6	232.3	311.2	234.2	212	181.1

* Latitude 36 N, culmination angle 30.6-77.5 N

3. 結果 및 考察

본 研究에서 제작使用된 太陽熱利用 方式은 反射板에서 反射集光된 太陽輻射에너지를 吸光管에 吸收시키고 흡광관 内部로 流體를 통과케하고 여기서 交換된 열에너지를 利用하는 것이다. 즉太陽光線→反射板에서의 集光→吸光管에 吸熱→熱交換→利用 과 같은 3단계를 거치게 되므로 이들 各단계에서의 효율이 全體의 熱利用 效率를 左右하게 된다. 따라서 이들 各단계별로 分析하여 본 結果는 다음과 같다.

(1) 月別 日射量

본연구를 行한 水原地方의 年中月別 日射率, 日照時間, 日射量을 보면 表 1, 및 그림 3과 같이 3, 4, 5월과 9, 10, 11월이 日照率 및 日射量이 크다. 따라서 太陽熱 利用장치의 活用은 봄, 가을이 가장 効果的일

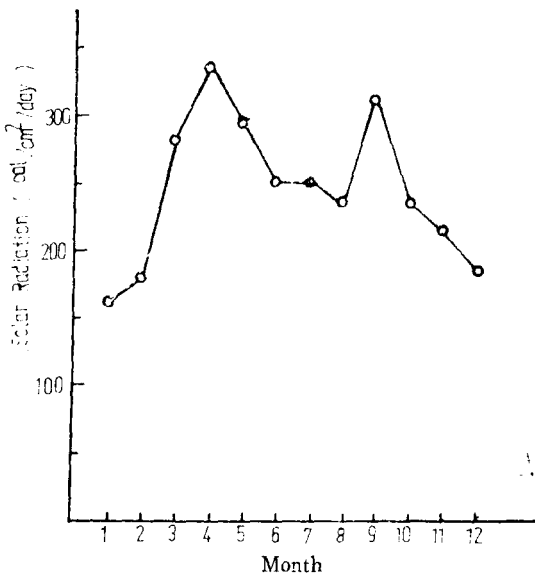


Fig. 3 Monthly average solar radiation

Table 2. Relative reflectivity of aluminized film

Wavelength (nm)	Relative reflectivity (%)
500	69.2
600	64.2
700	72.0
800	59.0
Average	66.1

것이며 특히 9, 10, 11월은 日射量이 200~300 cal/cm².day에 이르고 있어서 태양열을 농산물 건조에 이용할 수 있는 충분한 氣像조건을 갖추고 있음을 알수 있다.

(2) 曲面式 反射板의 集光能力

曲面式 太陽熱利用장치에 있어서 反射板에 入射된 日射熱量的 利用은 이 反射板의 反射能力과 集熱能力에 크게 左右되게된다. 지금 거울을 사용하는 代身에 알루미늄-아크릴 필름을 아크릴板에 接着시켜만든 反射板의 反射能力을 보기위하여 反射率을 측정한 結果, 各波長에 따라 다르나 平均 66.1%를 보여주고 있다. 이는 거울에 比하여 훨씬 낮은 값이기는 하지만 反射板素材의 低廉한 값에 比하여 볼때는 反射板으로 利用할 수 있는 充分한 가치가 있다고 생각된다.

勿論 보다 良質의 알루미늄-아크릴필름을 使用할 경우는 더 큰 實效를 얻을수 있을 것이다. 報告된 black aluminized Acryl film의 反射度가 0.86인 것에 比하면 國產 film의 反射度의 質은 훨씬 떨어지는 것이다. 한편 反射光線의 集光能力은 아크릴판에 필름을 접착시킬때 생기는 평활도의 감소현상으로 상당한 손실을 보게 되는데 接着技術을 向上함에 따라 改良될 수 있을 것으로 생각된다.

(3) 吸光管의 吸光能力

吸熱板은 反射板에서 集光된 輻射에너지를 熱에너지로 變化시켜 熱變換이 일어나는 部位로 carbon black⁽¹⁹⁾을 塗色하고 이에 물을 통과시켜 물탱크의 온도 상승을 測定하여 吸光管의 吸熱 및 熱交換能力을 算出

Table 3. Energy balance of the receiver

Date and time	Absorber length	Circulation* velocity	Reserving** time	Solar energy received	Heat energy gained	Efficiency
Sept. 21, 13 : 00	74cm	2.82 cm/sec	26.2 sec	2567.2 cal	1875 cal	73%

* circulating fluid: water

** holding time of water in pipe

Table 4. Energy balances of solar heater for water

Expt.	Date and time	Solar energy received (kcal)	Amt. of water (kg)	Temp. elevation (°C)	Heat energy gained (kcal)	Efficiency (%)	Fig. referred
1*	Sept. 15 13 : 10~15 : 50	1151.4	11.2	10.3	115.36	10.02	5
2	Sept. 16 11 : 42~12 : 45	611.69	12.5	9.6	129	19.6	5
3	Sept. 17 11 : 00~11 : 45	421.08	7.0	10.3	72.1	17.12	
4	Sept. 20 3 : 35~ 4 : 15	212.78	7.0	8.7	60.9	28.62	
5	Sept. 21 9 : 20~11 : 45	1240.16	7.0	20.4	142.8	11.51	4
6**	Sept. 22 9 : 15~11 : 45	1238.06	7.0	24.4	170.8	13.80	
7**	Sept. 22 12 : 00~13 : 00	566.23	7.0	18.0	126.0	22.25	

* Circulation length; 4.9 m and the rest are 3.7 m

** Insulated receiver

한 結果 表 3에서 보는 바와 같이 反射板에 入射된 入射輻射 에너지 2567.2 cal 즉 1875 cal를 即 73%를 물의 온도상승에 利用한 수 있었다. 한편 물의 加溫으로 2.82 cm/sec의 自然對流速度를 얻을 수 있어 물을 自然 循環이 可能하였다.

(4) 太陽熱利用裝置로서의 熱收支

集光部, 吸熱管, 물탱크등을 연결한 太陽利用裝置의 全體의 熱收支를 보면 表 4와 같이 氣像條件에 따라 差異가 있으나 10~28%의 太陽利用 效率을 보여주고 있다. 여기서 吸太管의 保溫有無, 장치에 使用된 연결 pipe의 길이에 따라 그 效率이 상당한 영향을 받았다. 즉, 吸熱管에서나 그 以後의 열관리가 중요함을 뜻하며 斷熱材로 吸熱部를 保溫할 경우 2%의 熱利用효율 상승 效果를 얻을 수 있었다. 한편, 太陽熱利用장치 效率은 日射量이 클수록, 集光時間이 길수록 온도상승은 커지나 熱利用效率이 감소된다. 即, 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 日射누계량이 클수록 효율은 감소함을 볼 수 있는데 反面 열손실량 역시 비례적으로 커지기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 吸熱部의 철저한 保溫과 熱交換能力을 증진시키는 방법이 본 太陽熱利用장치 效率을 증진시킬 수 있을 것이다.

위와 같은 알루미늄-아크릴 薄紙를 利用한 太陽熱利用裝置에 관한 실험결과 그 效率이 28.6%까지 얻을 수 있음은 素材의 저렴한 經濟性과 裝置의 간편점을 고려할때 充分한 利用가치가 있음을 알 수 있다.

본 太陽熱利用裝置를 實用化함에 있어서 scale up이 요구되는데 이에 관한 研究는 別途로 行하여 지고 있

다. 勿論 아크릴 film 자체의 기후조건에 對한 耐久性과 風力에 견딜수 있는 구조의 설계등이 뒤따라야 하는 문제가 없는 것이 아니다. 熱交換流體로 물을 使用하는 대신에 공기를 使用하여 가열 공기를 農産物의 乾燥에

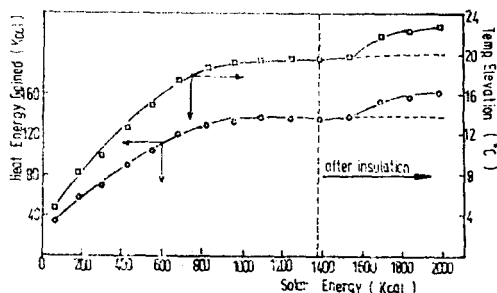


Fig. 4. Insulation effect of the receiver

□—□; Expt. 5, ○—○; Expt. 6. in table 4.

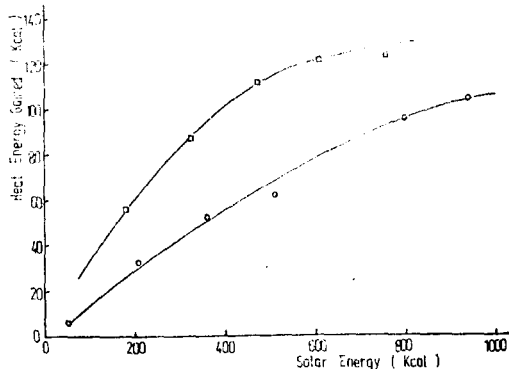


Fig. 5. Effects of connecting pipe length on heat utilization

□—□; pipe length 3.7 m ○—○; pipe length 4.9 m

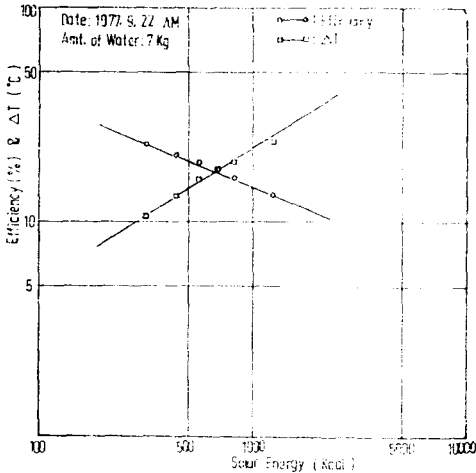


Fig. 6. Solar energy vs. ΔT and Eff.

利用하는 문제는 別途報告 하고자 한다.

4. 要 約

알루미늄-아크릴 필름을 사용한 曲面式 太陽熱利用裝置의 製作과 이의 韓國의 氣候條件下에서 效能을 試驗한 結果 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 反射集光板으로 使用한 알루미늄-아크릴 필름의 反射率은 66.1%이었으며 低廉한 價格에 比하여 불 때 反射板으로서 充分히 利用할 수 있었다.
2. 吸光部位 에서의 熱利用効率は 73%이었으며 2.82 cm/sec의 自然對流에 依한 流速을 얻을 수 있었다.
3. 太陽熱利用裝置를 물의 加溫에 使用할 경우 最高 28.6%의 熱利用効률을 얻을 수 있었다.
4. 太陽熱利用裝置에 의해 加溫된 水溫의 溫度差의 對數值와 太陽熱輻射에너지와의 關係는 線型的比例關係가 成立되었고 熱利用効率は 복사에너지량이 클수록 線형적 감소關係가 있었다.

參 考 文 獻

1. Löf, G. O. G.: *Solar Energy*, 6, 122 (1962).
2. Davis, C. P. and Lipper, R. I.: Solar energy for crop drying, in United Nations Conf. on New Source of Energy, E 35-S53, Rome (1961).

3. Buelow, F. H.: Drying crops with solar heated air, *ibid*, E35-S17
4. Pelletier, R. I.: *Agricultural Engineering*; 40, 142 (1959).
5. National Academy of Sciences: Energy for rural development, Washington, D.C. (1977).
6. Buelow, F. H.: Drying crops with solar heated air, in Proceedings of the U.N. Conferences on New Sources of Energy; UN document No. E/Conf 3516 N.Y. (1961).
7. Akyurt, M. and Selcuk, M. K.: *Solar Energy*, 14, 319 (1973)
8. Selcuk, M. K.: *COMPLES Bulletin*, (12) 91-101 (1967)
9. Selcuk, M. K., et al.: Development, theoretical analysis and performance evaluation of shelf type Solar Drier, paper presented at the Winter Annual Meeting of Am. Soc. of Mech. Eng.; 11-15 Detroit, Michigan. (1973)
10. Lawand, T.A.: *COMPLES Bulletin*, (9) 51-56 (1965)
11. _____: *Solar Energy*; 10 (4) 158 (1966)
12. _____: How to make a solar cabinet dryer for agricultural produce, leaflet L. 6. Ste. Anne de Bulleue, Quebec, Canada. (1966).
13. Ghosh, B. N.: A New glass-roof dryer for cocoa beans and other crops, in Proceedings of the International Congress. The sun in the Service of Mankind, 2-6 July UNESCO HOUSE, Paris. pp. 4-30; 1-17, Washington, D.C. (1973).
14. Read, W. R. W. et al.: *ibid*, V-28, 1-10 (1973),
15. Kapoor, S.G. and Agrawal, H.C.: *ibid*, V-29, 1 11. (1973).
16. Headley, O. S. C. and Springer, G. F. B.: *ibid*, V-26, 1-10. (1973).
17. Satcunanathan, Suppramaniam, *ibid*. V-27, 1-17. (1973).
18. Farrington D.: Direct Use of the Sun's Energy. p89 Ballantine Books. N.Y. (1964).
19. Duffie, T. A., and Beckman, W. A.: Solar energy, thermal processer. John Wiley & Sons. N.Y.