

## 簡易 太陽熱 集熱器의 類型別 分析 및 고추 乾燥에의 利用

崔扶堧 · 全在根

서울대학교農科大學 食品工學科

# Application Performances of the Simplified Solar Collectors and for the Drying of Red Pepper

Boo-Dol Choi and Jae-Kun Chun

Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Seoul National University, Suwon

### Abstract

Two different types of solar collector for farm dryer- the flatplate type and the modified tubular type- were constructed and analyzed on their performances. The transparent plastic film, black painted galvanized iron sheet and black vinyl film were used for the cover and absorber of the flat-plate types. The simplified tubular type was constructed with transparent films for the cover and black vinyl films for the absorber. Two elliptical iron rings were used to form a tubular shape through which air could pass. No remarkable differences were found in thermal efficiencies between the absorbers made with galvanized iron sheet and black vinyl film. The average thermal efficiencies of the solar collectors were 42.8% (max. 48.2%, min. 38.2%) for flat plate type and 22.9% (max. 25.4%, min. 14.8%) for tubular one. The empirical equations were proved to be applicable to the prediction of temperature elevation. The tubular solar heat collector was successfully applied to red peppers drying as a practical farm dryer. The drying rate was almost doubled compared to a conventional sun drying.

### 서 론

太陽熱 에너지를 農産物 乾燥에 利用하는 方法에 관하여 國內外의으로 상당한 연구가 이루어졌다.<sup>(1-17)</sup>

農産物 乾燥用 太陽熱 利用方式은 一般적인 暖房用 方式과는 기본적으로 大差 없으나 공기 加熱을 목적으로 하게되며 저렴하고 쉽게 제작 사용할 수 있어야 한다. 그리고 農民들이 쉽게 設置 운영할 수 있는 資材와 構造의 簡單性이 크게 요구된다. 플라스틱 필름은 暖房用 太陽熱集熱器의 투광재료로 많이 사용되는 유리에 비하여 耐久性과 斷熱 및 光透過性이 낮지만, 제작비가 저렴하며 설치가 용이할 수 있다. 플라스틱 필름을 利用한 太陽熱 利用裝置의 形式을 보면 콘서트형, 平板形, 삼각형, 튜브형 등이 있다. 이러한 形式들은 필름의 가벼운 무게와 유연성을 活用하여 設置의 簡便性에 중점을 두고 考案된 方式들이다.<sup>(1,17)</sup>

따라서 農家규모에서 쉽게 구입할 수 있는 플라스틱 필름을 材料로 하여 農家에서 自体 製作이 가능한 3가지 類型의 太陽熱集熱裝置를 製作하고 이들의 集熱效能과 農産物 乾燥器로서의 活用 可能性을 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 集熱板 熱效率 測定裝置

集熱板의 素材에 따른 太陽熱 集熱性能을 比較하기 위하여 골합석과 비닐을 사용하여 Fig. 1과 같이 設計 製作 하였다.

집열판은 골합석(80×180cm)과 흑색 비닐필름(0.26과 1.06mm 두께)을 사용하였으며 집열판의 덮개는 투명 필름(0.1mm 두께)을 사용하였다. 集熱器의 형틀은 각목(2.54×2.54mm 두께)을 사용하였다. 保温材는 styrofoam(低密度, 3cm 두께)를 사용하였고, 비에 젖지 않도록 비닐텐트천으로 싸서 고정시켰다. 그리고 집열판은 懸架方式으로 바닥으로부터 10cm 높이에 고정시켰다.

공기는 集熱器의 下部에 공기입구(15×30cm)에 5mm 두께의 스펀지를 접촉시켜 여과후 流入되도록 스펀지를 접촉시켜 여과후 流入되도록 하였고 집열기에서 加溫된 공기는 上部의 공기 出口(φ7cm)를 통하여 排出되도록 하였다. 분리 設置된 各 集熱板에서의 공기 流速을 一定하게하기 위하여 blower는 공기 完충

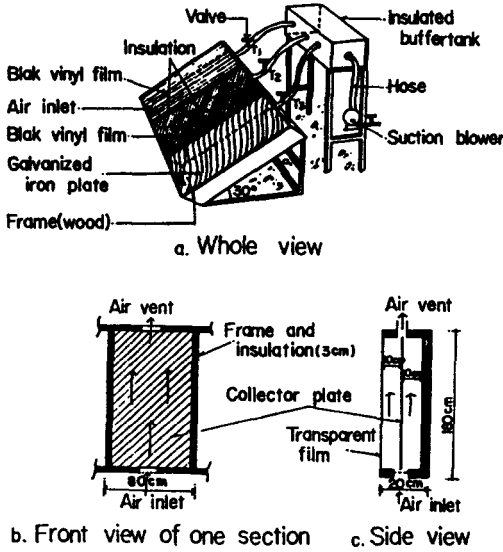


Fig. 1. Schematic view of solar collector consisting of three separate sections

탱크(2m<sup>3</sup>) 다음에 설치하여 加溫 공기를 흡입하게 하였다. 이때 사용된 blower(impeller dia, 12cm, 0.2 kwh)는 원심식이었다.

平板式 集熱裝置

골합석(80×180cm) 4판을 집열판으로 사용하여 Fig. 2와 같이 제작하였다. 집열판의 투명막은 플라스틱 필름(0.1mm)을 사용하였고 blower를 사용하여 加溫 공기를 흡입하였다. 집열기의 설치각도는 30°였다.

비닐 튜브식 集熱器

타원형 鐵製틀에 투명 비닐을 두른 타원형 비닐 튜브속에 흑색 비닐을 집열판으로하여 2개의 A자형 고정기등에 Fig. 3과 같이 懸垂幕式으로 하여 사용하였다. 集熱器는 30° 경사로 설치하였다.

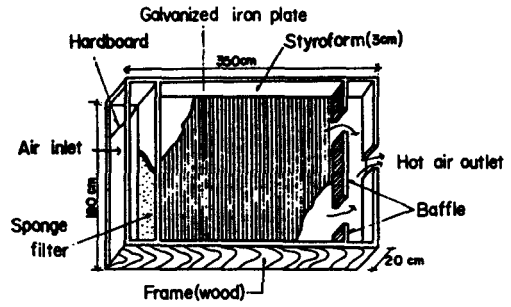
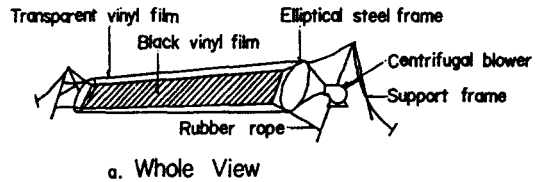


Fig. 2. Structure of the flat-plate collector



b. Side view of frame with suspension bar

Fig. 3. Structure of the tubular type collector

튜브식 集熱器를 이용한 고추乾燥 裝置

完熟 생고추 84kg을 폭1.8m, 길이 8m 되는 비닐속에 넣고 한쪽 끝은 集熱器의 出口에 고무줄로 타원형을 둘레에 감아 고정한다. 乾燥室으로 사용한 비닐속의 고추는 일정한 두께(고추 2~3개)로 펴놓고 끈으로 엮어놓아 바람에 날리지 않도록 Fig. 4와 같이 設置하였다. 送風機로 集熱機의 加溫된 공기를 乾燥室에 불어 넣어 乾燥를 행하였다.

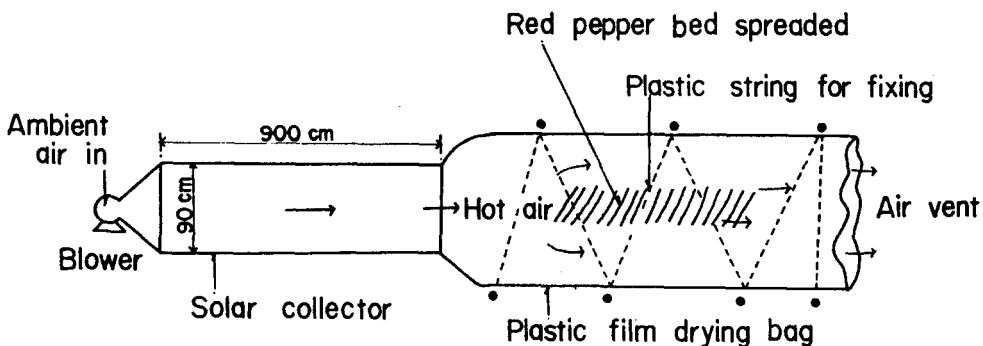


Fig. 4. Plastic tunnel type solar dryer

溫度 측정

集熱裝置의 溫度上昇度는 集熱器에서 加熱된 空氣의 溫度와 주위 공기와의 溫度差를 溫度上昇度(Δt°C)로 하였다. 튜브식 集熱器의 部位別 溫度 測定에는 各部位에 thermister 自動溫度 測定計를 設置, 使用하였다.

日射量 측정

Robisch Pyrheliograph(ISUZU)를 使用, 水平面 總日射量으로 測定하였다.

風量의 測定

Thermister 形式인 Anemometer (model V-ol-Ao, Sogo Denshi Co. LTD)를 使用하였다.

透光率 測定

UV-spectrophotometer(Shimadzu UV-200)을 使用하여 vinyl film의 光透過率을 測定하였다.

集熱器의 熱利用效率

集熱裝置의 設置方向계수(R<sub>ZT</sub>), 集熱板 面積(A, m<sup>2</sup>), 시간당 수평 日射量(I<sub>h</sub>,ly/hr)과 溫度上昇度(Δt°C)를 測定하여 式(1)에 의하여 熱利用 效率(η%)를 산출하였다.<sup>(6)</sup>

$$\eta = \frac{W \cdot C_p \cdot \Delta t}{10 \cdot I_n \cdot R_{ZT} \cdot A} \dots\dots\dots(1)$$

식에서 W는 공기의 유입량(kg/h)이다.

集熱器의 熱收支

集熱板의 熱收支 關係를 이용한 溫度上昇豫測은 Buelow의 式을 使用하였다.

$$\Delta t = \frac{E \cdot R_{ZT}}{U} (1 - e^{-N}) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 U(kcal/m<sup>2</sup>.hr.°C)는 總括熱傳達係數, E(Kcal)는 集熱板에 흡수되는 熱量, m(kg/hr)은 공기의 質量速度, Cp(kcal/kg°C)는 공기비열을 나타낸다. N=UA/m.cp 이다.

고추의 水分含量

80°C의 오븐에서 常法에 準하여 측정하였다.

結果 및 考察

集熱板 材料別 熱效率

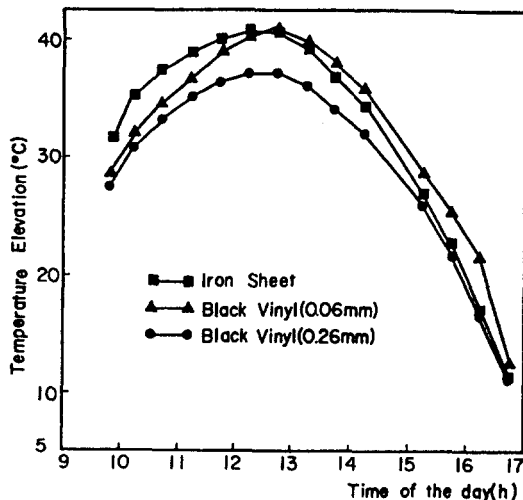


Fig. 5. Comparison of the temperature elevations on the various absorbers

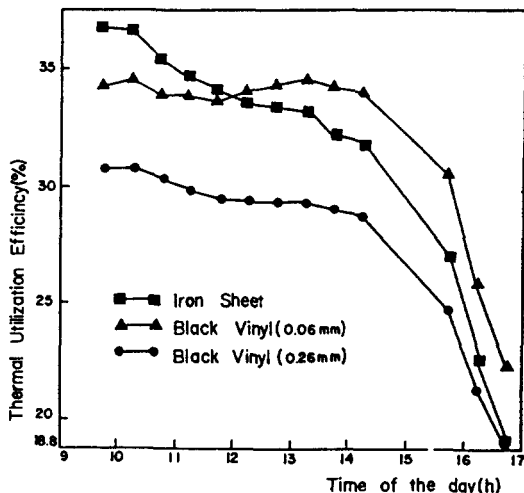


Fig. 6. Comparison of the thermal utilization efficiencies on the various absorbers

集熱板의 材料로 無光澤 페인팅한 골합석과 두께가 다른 2種類의 黑色 비닐을 使用할 때 이들의 太陽熱 利用效率를 比較하기 위하여 Fig-1의 집열기를 使用하여 集熱板을 통과한 공기의 日中溫度上昇值를 測定한 結果 Fig. 5와 같다.

이때 風量은 골합석판의 경우 0.49m<sup>3</sup>/min, 0.06 mm 黑色 비닐의 경우 0.50m<sup>3</sup>/min, 0.26mm 黑色 비닐의 경우 0.48m<sup>3</sup>/min으로 유지되었다. 最大의 溫度 上昇值는 最大 日射量을 보이는 12~13時 사이에서 나타났다. 集熱板 種類에 따른 溫度上昇值를 比較하여 보면 0.06mm 두께의 黑色비닐을 使用한 境遇의 골합

석판은 거의 비슷한 값을 보이고, 厚 비닐은 약간 낮은 값을 나타내었다.

溫度上昇 測定 資料를 利用하여 式(1)에 의하여 算出한 日中 熱効率을 相互比較한 結果는 Fig. 6과 같다. 골합석과 薄비닐은 비슷한 값을 보였으나 厚비닐은 前者에 比하여 약 4% 정도 낮은 값을 나타내었다.

以上的 結果로 부터 集熱板의 材料로 黑色 비닐을 使用하여도 합석을 사용한 것과 그 効率面에서 거의 同一한 結果를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 비닐은 합석에 比하여 무게가 훨씬 가볍기 때문에 비닐을 集熱板으로 사용할 경우 集熱板을 지탱하는 지지대에 미치는 荷重을 크게 줄일 수 있다. 이는 集熱器 製作費 및 設置의 용이성과 集熱裝置를 必要에 따라 移動 설치할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

平板式 集熱器의 熱効率

平板式 集熱器 (Fig. 2)의 日中 時間에 따른 空氣加熱溫度 및 効率は Fig. 7과 같다. 送風量  $4.3m^3/mm$ 에서 溫度上昇値는 最大日射量을 보이는 正午부근에서  $23.3^{\circ}C$ 였다. 熱利用効率は 溫度 上昇値와 비슷한 경향을 나타내어 正午경에 48.2%로 最大効率을 보였고, 日平均効率は 42.8%였다.

비닐 튜브식 集熱器의 熱効率

集熱板으로 黑色 비닐을 使用하였는데 市中에는 여러가지 두께를 가진 것이 있다. 이 중에서 가장 쉽게 구할 수 있는 0.26mm 와 0.06mm 두께의 비닐을 集熱板으로 하였을 때의 플라스틱 필름의 두께에 따른 튜브식 集熱裝置에 의한 溫度上昇値 및 集熱効率을 보면 Fig. 8과 같다. 즉, 집면면적  $8.19m^2$ 당,  $3.2m^3/min$ 의 速度로 空氣를 送입할 때 排出空氣의 溫度上昇値는

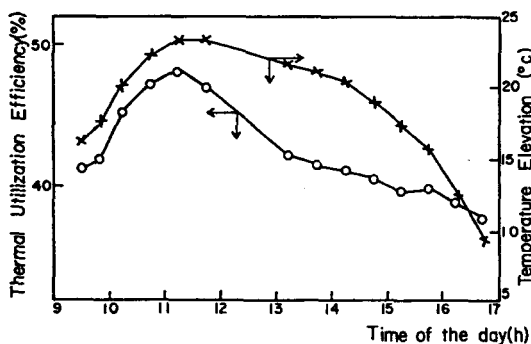


Fig. 7. Temperature elevations and thermal utilization efficiencies of the flat-plate type collector

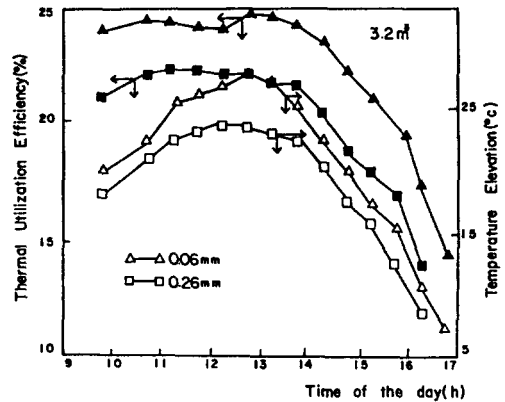


Fig. 8. Temperature elevations and thermal utilization efficiencies of the tubular type collector

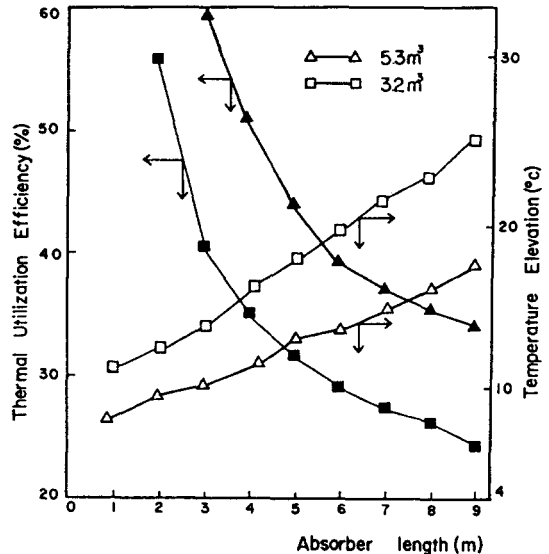


Fig. 9. Temperature elevations and thermal utilization efficiencies at the various absorber area on the tubular type collector

大氣溫이  $26^{\circ}C$ 일때 最高  $28^{\circ}C$ 를 記錄하였다. 이때 0.06mm의 薄비닐이 集熱板 材料로 약간 우수함을 보여주었으나 施設作業上 늘어지거나 서로 붙는 경향이 있어, 溫度上昇値와 集熱効率が 약간 낮은 厚비닐을 使用하는 것이 편리하였다.

本試驗에서 使用된 비닐튜브형 集熱裝置의 特徵은 集熱面積을 쉽게 變化시켜 使用할 수 있는 것인데 集면면적과 送風量을 달리할 때의 溫度上昇値와 熱効率は Fig. 9와 같았다. 溫度上昇値 集熱面積에 거의 直線的인 比例關係를 나타내었으나 効率面에서는 面積이

커질수록 減少하는 경향을 나타내었다. 集熱板의 길이는 9m 까지 試驗하였는데 그 이상의 길이로 할 경우 集熱裝置의 設置나 유지면에서 어려움이 있었다. 따라서 튜브형 集熱裝置는 最大 9m 가 적합하였다.

集熱面積의 增加가 熱利用效率를 낮추는 것은 加溫된 黑色 비닐과 그 위를 흐르는 空氣사이의 溫度差가 集熱板의 길이에 比例하여 감소되고, 透光幕을 통한 外部로의 熱損失量이 상대적으로 커지기 때문이라 생각되는데, 이는 Troeger<sup>11</sup>의 試驗결과와 일치하고 있다. 한편 空氣의 送入量을 增大할수록 熱利用效率가 상승하는 것은 空氣의 流速上昇이 集熱板의 境膜傳熱係數를 上昇시켜 주는데 기인된다고 생각된다. 이는 朴<sup>17</sup> 등의 비닐하우스를 이용한 경우에도 同一한 結果를 보였다.

튜브식 簡易 太陽熱裝置에 사용되는 透明비닐의 겹치는 板數는 保温效果가 클 것으로 기대되어 日射方向 前面의 비닐 板數를 1板와 2板를 使用하여 그 效率를 比較하였는데 2板의 경우가 0.6% 정도의 효율 상승을 나타내었다. 또한 Spectrophotometer 를 사용하여 가시광선 범위에서 2겹비닐의 평균투광율은 71%로 1겹을 사용할 때의 95%보다 훨씬 낮기 때문에 2겹으로 使用하는 것은 별로 바람직 하지 못하였다. 비닐을 2겹 사용할 경우 裝置의 強度는 약간 補強되기는 하나 設置에 더 많은 노력이 소요되며 실제로 한겹으로 사용한다해도 集熱板으로 쓰이는 흑색비닐까지 4겹을 사용하고 있으므로 強度의 補強은 必要치 않았다.

平板式과 튜브식 集熱器에 의한 送風空氣의 上昇 온도 예측

空氣의 上昇溫度 豫測 方程式(2)에서의 U 값을 定하기 위해 U 값을 달리하여 實驗値와 豫測値의 算術平均과 標準誤차를 보면 平板式은 U 값이 12.8, 튜브형은 20.7일때 豫測値와 實驗値가 가장 가까이 接近함을 알 수 있었다. 따라서 (2)式에 이 U 값을 代入하여 다음과 같은 空氣의 上昇溫度豫測 方程式을 얻을 수 있었다. 여기서  $V(m^3/m^2min)$ 는 단위면적당 空氣의 速度를 나타낸다.

$$\text{평판식} : \Delta t = 0.6016 \ln R_{\tau} (1 - e^{-0.8532/V}) \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{튜브식} : \Delta t = 0.3864 \ln R_{\tau} (1 - e^{-1.308/V}) \dots\dots\dots(4)$$

Fig. 10, 11은 平板式과 튜브식에서 위의 豫測 方程式에 의하여 算出한 값과 실측치를 比較한 것이다. 그 결과 대체로 豫測値와 實測値가 잘 일치하고 있기 때문에 실제로 平板式 및 튜브식 太陽熱 集熱裝置의 설계에 앞의 (3), (4)式을 充分히 활용할 수 있다고 본다.

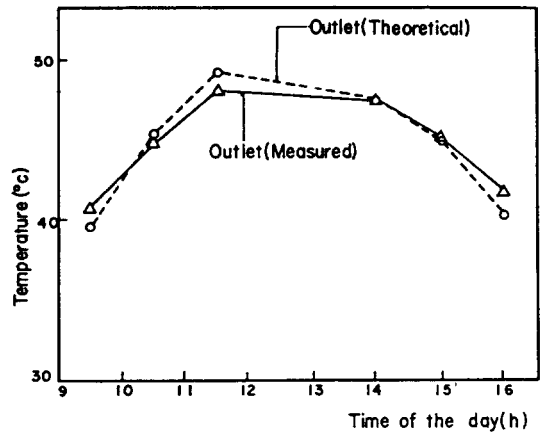


Fig. 10. Comparison of the measured and theoretical outlet temperatures on the flat-plate type collector

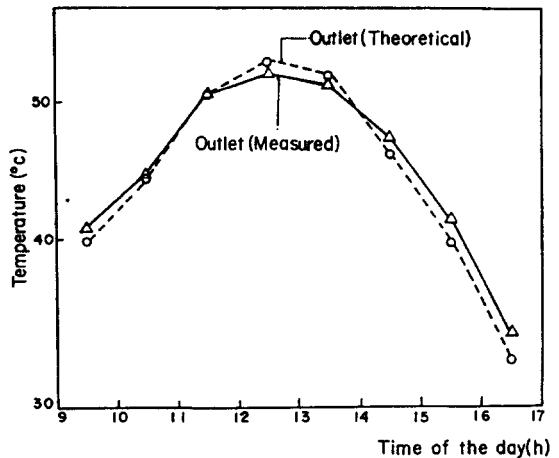


Fig. 11. Comparison of the measured and theoretical outlet temperatures on the tubul at type collector

튜브식 集熱器를 이용한 고추乾燥

고추試料를 비닐 터널속에 깔아 넣고 튜브식 集熱器를 통과한 加熱空氣  $3.2m^3/min$  를 送入하여 乾燥할 때 乾燥曲線은 Fig. 12와 같이 14%의 水分含量까지 乾燥시키는 데는 5日이 所要 되었으며 동일한 氣像조건에서 노천건조할 경우는 9日間 所要되어 約 4日間 乾燥期間을 短縮할 수 있었다.

고추 乾燥期間中 氣像이 나빠 비가 올 때에는 乾燥室의 공기 배출구를 끈으로 동여매어 쉽게 비를 피할 수 있었을 뿐 아니라 夜間에도 고추를 걸어 들일 필요 가 없어서 追加 勞動力이 소요되지 않았다. 集熱器를 설치하지 않은 상태로 비닐터널乾燥室 入口로부터 8m 地點에서의 溫度上昇度는 17°C 였으며 15%의 集熱效率

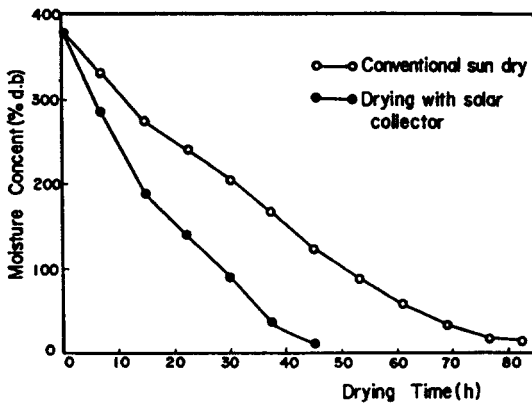


Fig. 12. Drying curves of the red pepper

이 維持되었는데 이는 고추가 赤色을 띄고 있어서 상당량의 太陽熱을 集熱하였기 때문이다. 고추를 넣지 않을 때는 同地點에서 온도상승은 5.5°C에 不遇하였으며 効率도 8.5%밖에 되지 못하였다. 따라서 고추와같이 着色된 農産物은 비닐터널 自体를 사용하는 것 만으로도 상당한 乾燥促進效果를 거두게 됨을 알 수 있다.

要 約

農家 규모에서 活用이 가능한 經濟的이며 製作이 간편한 太陽熱 乾燥裝置로 平板式과 튜브式 集熱器를 설계 제작하고 이들의 熱利用 效率를 비교 分析하였는데, 集熱板으로 黑色 도색 합석판과 黑色 비닐 필름을 사용하였을때 이들의 熱利用의 效率는 平板式에서 최대 48.2%, 평균 42.8%였고, 튜브式에서 최대 25.4%, 평균 22.9%였다. 平板式과 튜브式 集熱器에서 日射量, 方向계수, 公기의 風量을 測定하여 公기의 溫度上昇度를 豫測할 수 있는 實驗式을 구하여, 필요한 乾燥 조건에 따라 集熱面積및 風量을 결정할 수 있었다. 튜브式 集熱器를 사용해 고추를 乾燥한 結果 乾燥

操作을 수행할 수 있었으며 乾燥速度는 露天乾燥에 비해 2배에 달하였다. 따라서 튜브式 集熱器를 農家 규모에서도 太陽熱 利用 乾燥시설로 活用할 수 있었다.

文 獻

1. Duffie, J.A. and Beckman, W.A.: *Wiley-interscience*, New York (1974)
2. Hottel, H.C.T. and Unger, T.A.: *Solar Energy*, 3, 10, No. 3 (1959)
3. Hallands, K.G.T.: *Solar Energy*, 7, 108 (1963)
4. Kham, E.U.: *Solar Energy*, 8, 17 (1964)
5. Kanna Mohan Lal: *Solar Energy*, 11, 3, 4, 142 (1967)
6. Gupta, C.L. and Gary, H.P.: *Solar Energy*, 11(1), 25 (1967)
7. Peterson, W.H.: *Paper NONC 73-302 ASAE* (1973)
8. Farrington D.: *Ballantine Books*, N.Y. 89 (1964)
9. Buelow, F. and Boydo, J.: *Agricultural Eng.*, 38(1), 28 (1957)
10. Ignacio, S. P.: *Regional Workshop on Rural Dev. Tach. KAIST* (1981)
11. Teoeger, J.M.: *TRANS. of the ASAE*, 26(4), 902 (1983)
12. 張奎燮, 金滿秀: 한국농업기계학회지, 2(2), 37(1977)
13. 琴東赫, 高學均, 崔在甲: 한국농업기계학회지, 3(1) 64(1976)
14. 閔泳鳳, 崔圭洪: 한국농업기계학회지, 3(2), 114(1978)
15. 李文男, 琴東赫, 柳能桓: 한국농업기계학회지, 3(2), 100(1978)
16. 全在根, 睦徹均: 한국식품과학회지, 11(4), 258(1979)
17. 박노현, 신휴련, 이동선, 신동화, 서기봉: 한국식품과학회지, 14(2), 156(1982)

(1986년 9월 4일 접수)