

【 論 文 】

半溫室型 除濕·太陽熱 木材드라이어의
日射量과 熱效率分析에 關한 研究

Analysis of Solar Radiation and Heat-Efficiency in Semi-Greenhouse Type
Solar-Dehumidification Lumber Dryer

李 亨 雨 *
Hyoung-Woo Lee

ABSTRACT

Semi-greenhouse type solar-dehumidification drying of oak was carried out to investigate the possibility to dry wood using solar energy in Korea. The energy balance equation was set up, considering all the energy requirements, and the solar radiation was calculated to analyze the efficiencies of solar dryer with and without the dehumidifier.

The average temperature inside dryer and collector rose up to 52°C and 70°C, respectively. The average daily total beam, diffuse, and ground-reflected radiations were 7.27MJ, 8.70MJ, and 0.33MJ on the roof and 2.08MJ, 4.84MJ, and 5.37MJ on the south wall collector, respectively. Heat efficiency of solar dryer was 14.04% with dehumidifier and 13.13% without dehumidifier. The energy required to remove 1g of water from wood was 0.0289MJ/g in solar-dehumidification drying and 0.0310 MJ/g in semi-greenhouse type solar drying.

Nomenclature

A	: Area of collector (m ²)		ture of wet wood to the temperature inside solar dryer (J)
A _i	: Area of dryer component (m ²)	H ₁	: Vent loss (J)
AH	: Absolute humidity (g/g)	H ₀	: Energy required to remove 1g of water from wood (J/g)
C	: Specific heat (J/g°C)	H _r	: Leakage loss (J)
E _{fc}	: Energy from fan and dehumidifier (J)	H _s	: Energy required to raise the temperature of dryer components to the temperature inside solar dryer (J)
G _{sc}	: Solar constant (J/m ² hr)	H _v	: Energy required to evaporize water from wood (J)
H _c	: Conduction loss (J)		
H _h	: Energy required to raise the tempera-		

*정회원 : 전남대 농대 임산가공학과

- | | | | |
|----------------|---|-------------------|---|
| Hw | : Energy required to overcome the hygroscopic force (J) | Wi | : Weight of each dryer component (g) |
| ΔH_v | : Heat of vaporization of water (J/g) | Wo | : Oven dry weight of wood (g) |
| ha | : Energy required to heat dry air (J) | WR | : Total weight of water removed from wood (g) |
| hv | : Energy required to heat water vapor (J) | α | : Absorptance of heat absorber (decimal) |
| I | : Total radiation on a horizontal surface (J/m ² hr) | β | : Slope of collector (degree) |
| Ib | : Beam radiation on a horizontal surface (J/m ² hr) | γ | : Surface azimuth angle (degree) |
| Id | : Diffuse radiation on a horizontal surface (J/m ² hr) | δ | : Declination (degree) |
| Io | : Extraterrestrial radiation a horizontal surface (J/m ² hr) | η | : Efficiency of solar dryer (%) |
| IT | : Total radiation on a tilted surface (J/m ² hr) | θ_1 | : Angle of incidence (degree) |
| K | : Extinction coefficient of transparent cover (decimal) | θ_2 | : Angle of refraction (degree) |
| L | : Thickness of transparent cover (m) | ρ_g | : Ground reflectance (decimal) |
| Mf | : Final moisture content of lumber(%) | τ | : Transmittance of collector (decimal) |
| Mi | : Initial moisture content of lumber(%) | τ_a | : Transmittance of transparent cover (decimal) |
| n | : Day of the year | $(\tau \alpha)$ | : Transmittance · absorptance product (decimal) |
| η_A | : Refraction index of air (decimal) | ϕ | : Latitude (degree) |
| η_P | : Refraction index of transparent cover (decimal) | ω | : Hour angle (degree) |
| Rb | : Ratio of beam radiation on tilted surface to that on horizontal surface (decimal) | SUBSCRIPTS | |
| RH | : Relative humidity (%) | A | : Ambient |
| r | : Reflectance of transparent cover (decimal) | a | : Dry air |
| S | : Absorbed solar radiation by collector (J/m ² hr) | K | : Solar dryer |
| S _r | : Total absorbed solar radiation by collector (J/hr) | r | : Roof |
| T | : Temperature (°C) | s | : South-wall |
| Ui | : Heat conductance of each dryer component (J/m ² hr c) | ⊥ | : Perpendicular component |
| | | " | : Parallel component |
| | | v | : Water vapor |
| | | w | : Wet wood |

1. 緒 論

木材乾燥는 生材상태의 목재를 가공, 使用하
므로서 발생하는 여러가지 缺點들을 예방하기
위한 方法으로 木材加工過程에서 필수 불가결한

工程이다.

그리고 최근에는 산업의 발달과 家具 및 樂器類 등 木製品의 수출이 증가함에 따라 國內에서도 木材乾燥의 중요성에 대한 認識이 매우 높아지고 있는 실정이다.

그러나 木材乾燥의 일반적 방법인 熱氣乾燥는 막대한 시설투자가 요구되고, 소모되는 에너지의 양도 木材加工에 소요되는 총 에너지의 약 60%~70%를 차지한다. 그리고 전 세계의 年間 木材乾燥 消費 에너지는 약 2×10^{17} J¹⁾로서 화석계 연료로 환산하면 3,500 만 배럴에 달할 정도로 막대하기 때문에 90年代의 油價上昇 정도를 예측할 수 없는 현 상황에서 에너지절약에 의한 乾燥費用의 감소는 木材工業의 가장 시급한 과제중 하나이다.

木材의 太陽熱乾燥는 이와 같은 에너지절약의 관점에서 그 중요성이 認識되기 시작하여 70年代의 油類波動 이후 크게 부각되었다. 일부 선진국에서는 시설투자가 저렴하면서도 熱源의 공급이 무한하고 비용이 전혀 들지 않으며 공해의 염려도 없는 太陽에너지를 木材乾燥에 응용하여 드라이어의 内部溫度가 木材의 乾燥可能 溫度範圍인 $26^{\circ}\text{C} \sim 82^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 수 있는 太陽熱 木材드라이어의 개발을 시도하여 현재까지 研究用 50여종과 産業用 7종이 개발되었다.²⁾ 최근에는 실제 산업에의 活用³⁾, 太陽熱 木材乾燥 過程의 시뮬레이션^{1, 4~6)} 및 熱效率改善^{7~10)}을 위한 연구가 계속되고 있다.

한편, 대체에너지의 개발 및 에너지절약 方案이 시급한 國內에서도 太陽熱을 이용한 저렴하고 效率的인 太陽熱 木材드라이어의 개발이 요청되고 있으나 木材의 太陽熱乾燥에 관한 研究가 전무한 실정이다.

本 研究에서는 半溫室型 太陽熱드라이어 (semi-greenhouse type solar dryer)와 同一 드라이어内部에 除濕裝置를 설치한 除濕・太陽熱 드라이어 (solar-dehumidification dryer)

를 제작하여 드라이어内部 空氣條件, 吸收日射量, 熱에너지收支 및 熱效率 등을 비교・분석함으로써 國內에서 太陽熱 木材乾燥의 적용 가능성을 究明코자 하였다.

2. 理論的 考察

2-1 太陽熱드라이어의 熱에너지收支

太陽熱드라이어에 투입되는 전체 에너지중에서 木材로 부터 수분제거에 소요되는 에너지와 드라이어로 부터 손실되는 에너지 등 각 要素別 에너지소비형태는 Fig.1과 같다.

吸收日射量과 送風機 및 除濕器로 부터 방출되는 에너지를 투입된 전체 에너지라 하였을 때 木材의 太陽熱乾燥過程에서 에너지를 소비하는 각 요소들과의 熱에너지收支 方程式은 식 (1)과 같으며, 木材의 溫度는 드라이어内部空氣의 乾球溫度와 일치하는 것으로 하였다.

$$H_v + H_h + H_w + H_c + H_l + H_s + H_r = S_T + E_{fc} \dots\dots\dots (1)$$

木材로 부터 수분을 제거하기 위해서는 木材内 水分을 加熱하여 木材内 水分을 氣化하고, 纖維飽和點 (fiber saturation point)이하에서는 木質과 수분간의 화학적 결합에 의한 積分濕潤熱을 극복할 수 있는 에너지를 공급하여 그 결합을 제거하여야 하며, 각 요소별 에너지는 식 (2)~(4)에 의하여 구하였다.

$$H_h = W_o \times (1 + 0.01 M_i) \times C_w \times (T_k - T_A) \dots\dots\dots (2)$$

$$H_v = \Delta H_v \times W_o \times (M_i - M_f) / 100 \dots\dots\dots (3)$$

$$H_w = W_o \times 4.1868 \times 10 (1.2335 - 0.05408 M_i) \dots\dots\dots (4)$$

드라이어로 부터 손실되는 에너지로는 乾燥中 換氣過程에서 유입되는 外部空氣内 乾燥空氣와 水蒸氣를 드라이어内部溫度까지 加熱하는

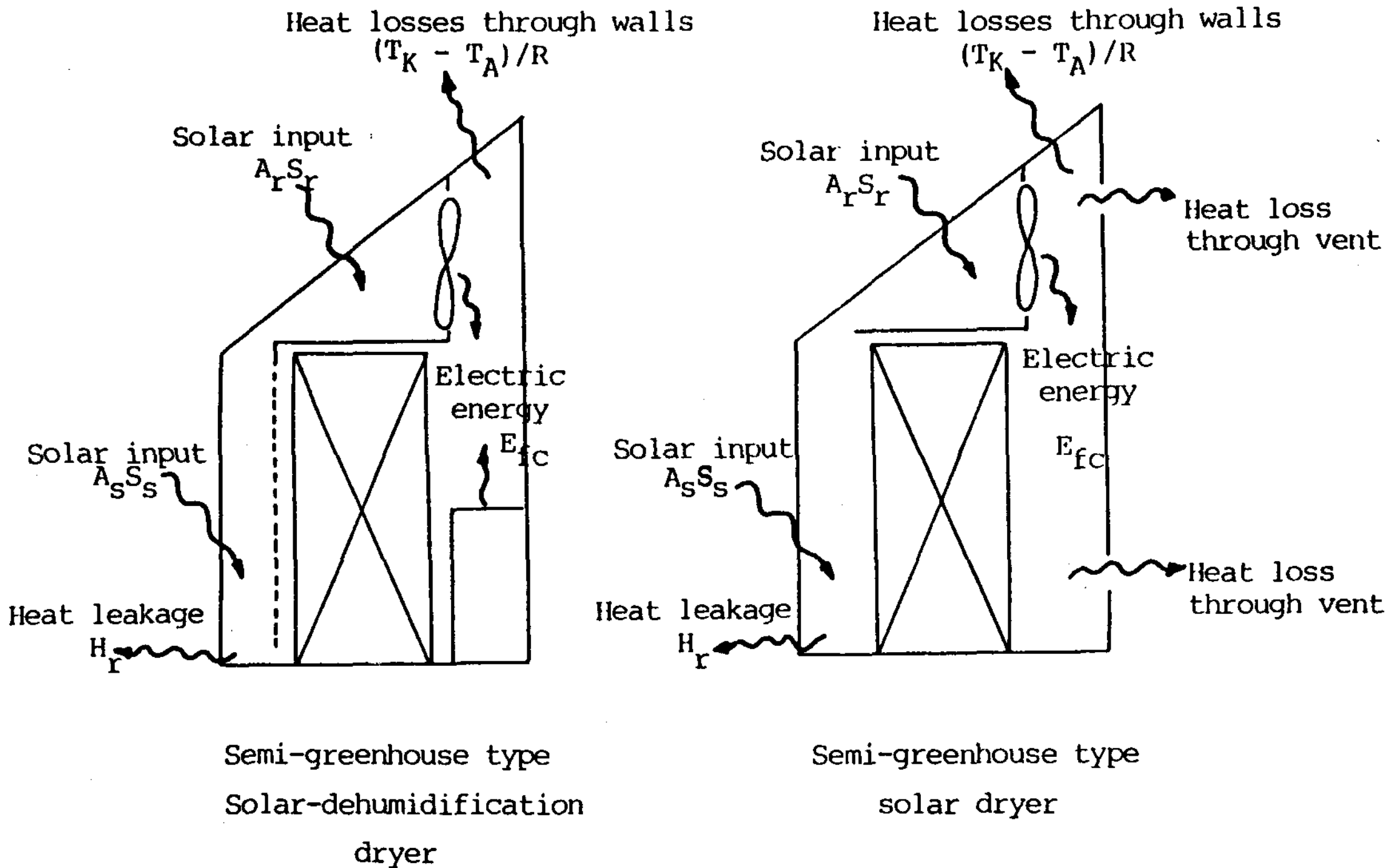


Fig.1 Schematic diagram of energy flows in semi-greenhouse type solar-and solar dehumidification dryer

데 소요되는 에너지, 드라이어壁體를 통한 熱傳達에 의한 에너지손실, 内部 構造物들의 加熱에 소요되는 에너지 및 壁體틈새를 통한 空氣漏出에 의한 에너지손실 등을 들 수 있으며, 식 (5) ~ (8) 에 나타내었다.

$$H_1 = h_a + h_v = ((C_a + C_v A H_A) \times W_o \times (M_i - M_f) \times (T_k - T_A) \times 1.1) / (100 \times (A H_A - A H_k)) \dots \dots \dots (5)$$

$$H_c = (T_k - T_A) \times \sum_i (U_i \times A_i) \dots \dots \dots (6)$$

$$H_s = (T_k - T_A) \times \sum_i (C_i \times W_i) \dots \dots \dots (7)$$

$$H_r = S_T + E_{fc} - (H_v + H_h + H_w + H_i + H_s + H_c) \dots \dots \dots (8)$$

2-2 吸收日射量 分析

太陽熱드라이어에 吸收되는 日射量은 그 方位의 위치, 드라이어의 構造와 規模, 季節 및 時刻에 따라 變化하므로 지붕과 南쪽벽 集熱部

의 두 경사면으로 나누어 분석한다.

대기권 밖에서 時間當 水平面에 도달하는 日射量, \$I_o\$는 Duffie¹¹⁾가 제시한 식 (9) 를 사용하였고, 水平面日射量 (\$I\$)와 水平面散亂日射量의 比率 (\$I_d/I\$)의 값은 Orgill¹²⁾이 제시한 식 (10) 을 이용하였다.

$$I_o = \frac{12}{\pi} G_{sc} (1 + 0.033 \cos(360n/365)) (\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + 2\pi (\omega_2 - \omega_1) \sin \phi \sin \delta / 360) \dots \dots \dots (9)$$

$$I_d/I = \begin{cases} 1.0 - 0.249 I/I_o & \text{for } I/I_o < 0.35 \\ 1.557 - 1.84 I/I_o & \text{for } 0.35 \leq I/I_o < 0.75 \\ 0.177 & \text{for } I/I_o \geq 0.75 \end{cases} \dots \dots \dots (10)$$

直達, 散亂 및 地表面 反射日射量을 고려한 경

사면에서의 總日射量은 直達成分의 比(R_b)를 구하면 Liu¹³⁾가 제시한 식(12)에 따라 식(13)으로 표시된다.

$$R_b = (\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta) / (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$I_t = I_b R_b + I_d ((1 + \cos \beta) / 2) + I \rho_g ((1 - \cos \beta) / 2) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$I_T = A_r I_{tr} + A_s I_{ts} \quad \dots\dots\dots (13)$$

한편, 吸收日射量을 분석하기 위하여는 集熱部에 入射하는 太陽光線의 入射角(θ_1)을 구한 후 屈折角(θ_2)과 透過率(τ_a)을 식(15)와(16)에 의하여 각각 계산하였다.

$$\theta_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{i) beam radiation} \\ = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ + \cos \delta \cos \gamma \sin \phi \sin \beta) \\ \text{ii) diffuse radiation} \\ = 59.68 - 0.1388 \beta + 0.001497 \beta^2 \\ \text{iii) ground reflected radiation} \\ = 90 - 0.5788 \beta + 0.002693 \beta^2 \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(\sin \theta_1 \times n_A / n_P) \quad \dots\dots (15)$$

$$\tau_a = e^{-KL / \cos \theta_2} \quad \dots\dots\dots (16)$$

구하여진 入射角과 屈折率을 이용하여 集熱部の 각 成分別 反射率(r)과 식(19)에 따라 集熱部の 透過率을 산출하므로써 總 吸收日射量은 식(21)로 표시된다.

$$r_1 = (\sin^2(\theta_2 - \theta_1)) / (\sin^2(\theta_2 + \theta_1)) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$r_{//} = (\tan^2(\theta_2 - \theta_1)) / (\tan^2(\theta_2 + \theta_1)) \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$\tau = \tau_a ((1 - r_1) / (1 + 3r_1) + (1 - r_{//}) / (1 + 3r_{//})) / 2 \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$S = I_b R_b (\tau \alpha)_b + I_d (\tau \alpha)_d (1 + \cos \beta) / 2 + \rho_g (I_b + I_d) (\tau \alpha)_g (1 - \cos \beta) / 2 \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$S_T = A_r S_r + A_s S_s \quad \dots\dots\dots (21)$$

2-3 熱效率 分析

太陽熱 木材드라이어의 熱效率은 木材로부터 水分제거에 必要되는 에너지의 투입된 전체 에너지에 대한 百分率로서 식(22)로 표시된다.

$$H_o = (H_h + H_v + H_w) / W_R \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\eta = (H_o W_R / (S_T + E_{fc})) \times 100 (\%)$$

3. 實 驗

平均緯度가 37°N인 수원지방에서 年中 最大의 日射量을 얻음과 동시에 빗물이 고이거나 먼지가 쌓여 太陽光線 透過率이 저하되지 않도록 Fig.2와 같이 지붕集熱部の 경사는 37°로 하였다.

集熱部는 透過率 86.5%인 polyester film 2장사이에 5cm의 靜止空氣層 (dead air space)을 두어 double glazing하였다. 吸熱을 위하여 두께 1.8cm의 合板에 무광택 흑색 페인트를 塗布한 吸熱板을 사용하였으며, 날개지름 50cm의 送風機 (風速 1m/sec)로 드라이어내부의 공기를 순환시켰다.

드라이어의 모든 벽체는 두께 0.6cm의 合板으로 二重壁을 설치하고, 바닥에도 1.8cm 合板을 二重으로 하여 벽·바닥 모두 두께 5cm의 스티로폼 (Styrofoam)으로 斷熱하였다.

除濕 · 太陽熱드라이어의 構造는 Fig.2와 같으며, 乾燥中 가장 濕度가 높으리라 예상되는 북쪽벽 하단에 除濕裝置를 설치하였다.

한편, 太陽熱木材乾燥試驗의 供試木은 두께

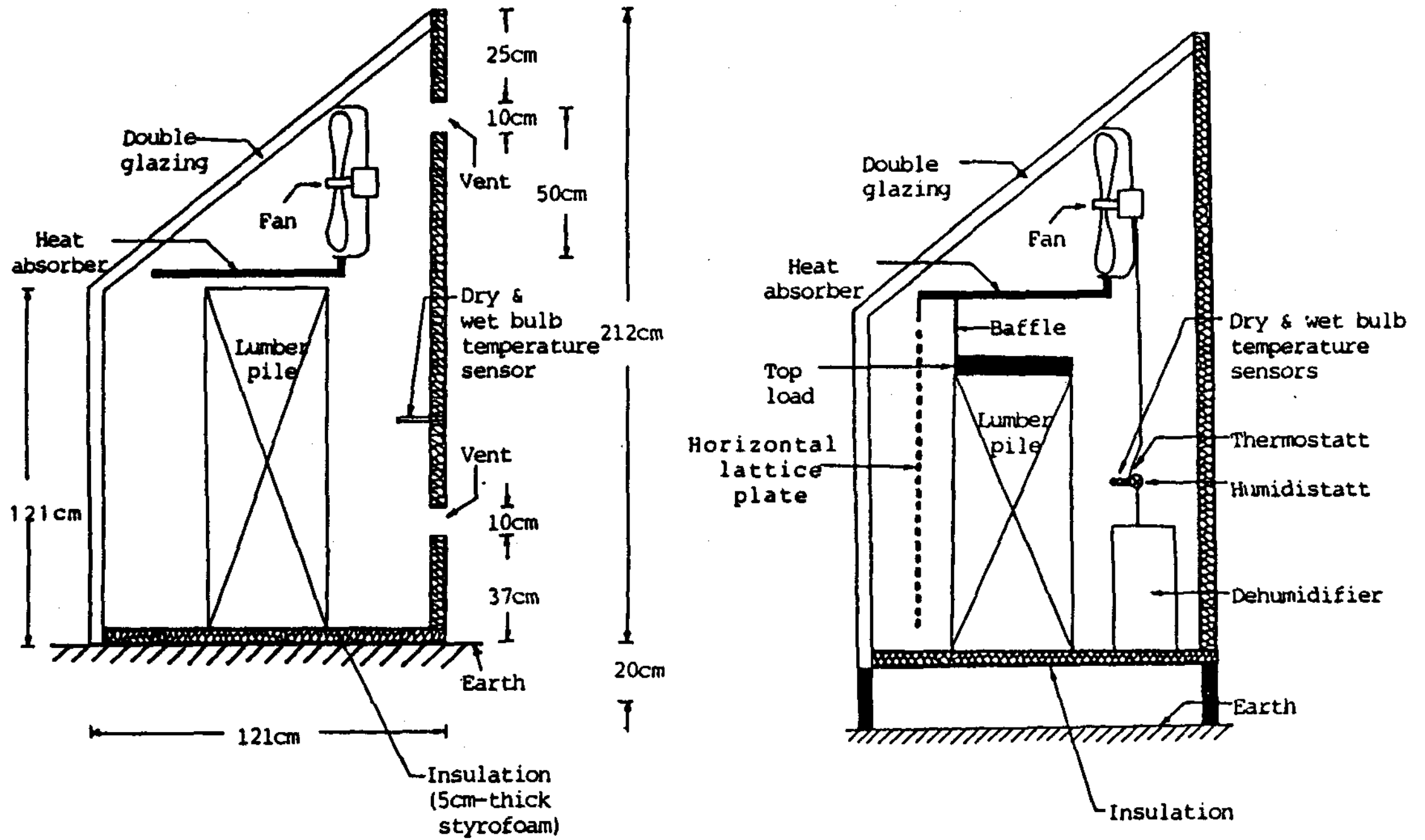


Fig.2 Structure of semi-greenhouse-type solar- and solar-dehumidification dryer

2.5 cm, 너비 10 cm, 길이 1.2 m의 國產 참나무材로 각 시험당 0.2m³씩 사용하였다.

4-1 半溫室型 太陽熱드라이어의 季節別 熱效率

4. 實驗結果 및 考察

Fig.3은 日中 가장 높은 온도가 기대되는 오후 2시의 外氣 및 드라이어内部 空氣條件과 熱

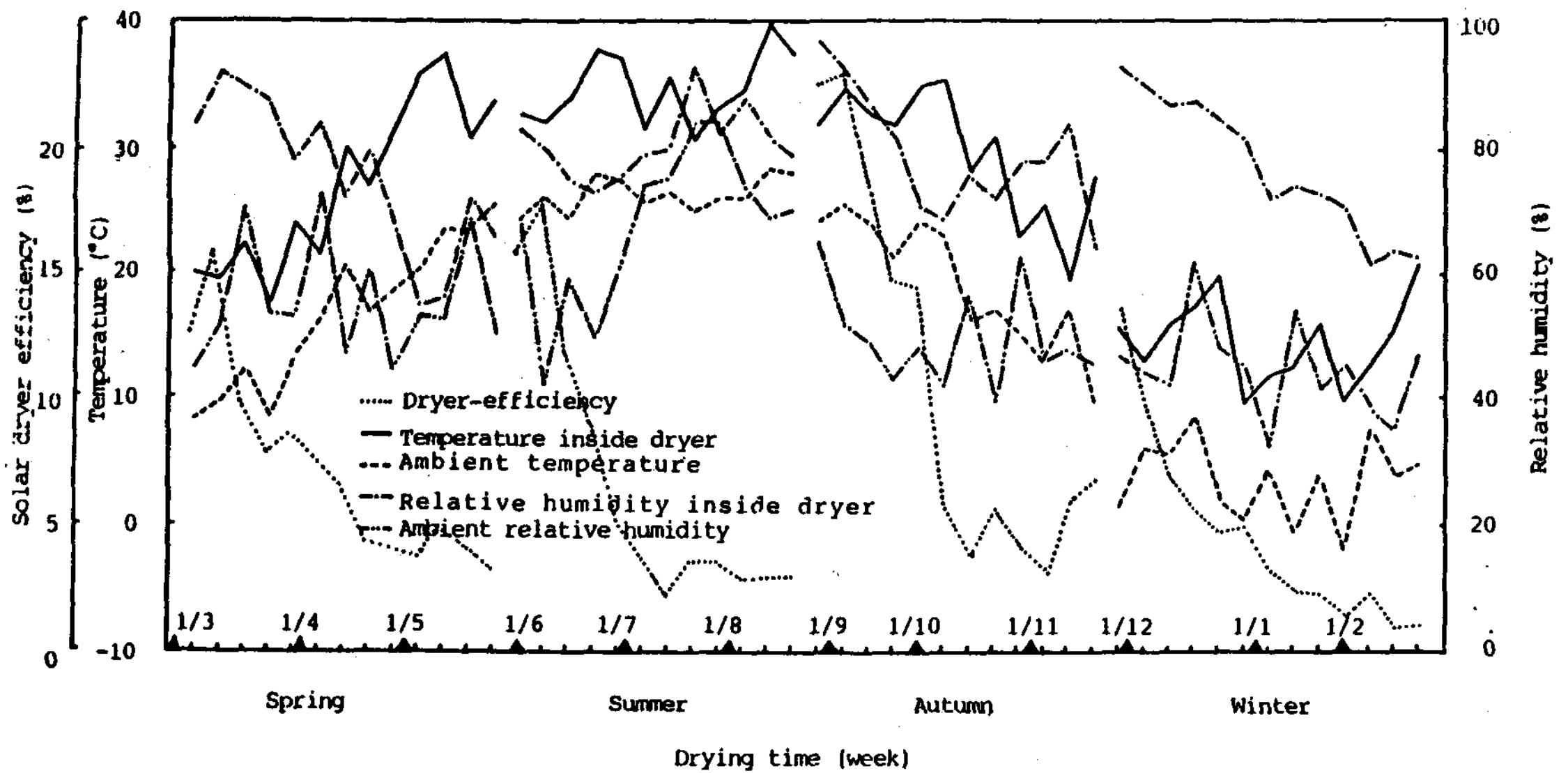


Fig.3 Average ambient and solar-dryer conditions at 2:00 P.M. and seasonal efficiency of solar-dryer from March, 1987 to February, 1988

效率을 4 季節別 比較한 結果이다.

季節別 太陽熱 乾燥試驗은 季節當 3 個月間 각각 실시하였으며, 드라이어의 熱效率은 乾燥가 진행될 수록 제거되는 수분의 양이 감소함에 따라 저하되었다. 그러나 乾燥開始後 첫째주는 드라이어내부의 상대습도를 높은 상태로 유지하므로써 初期 乾燥缺陷 발생을 예방하기 위하여 吸·排氣口를 모두 폐쇄하였으므로 乾燥의 진행이 지연되어 오히려 둘째주에서 가장 높은 熱效率을 나타내었다. 따라서 봄철에는 15.56% 여름철 16.69%, 그리고 가을철에는 乾燥初期인 9월의 충분한 日射量과 양호한 外氣條件으로 인하여 乾燥가 활발히 진행되어 23.07%의 最高值를 나타내었다.

季節別 最高 熱效率이 나타난 이후에는 殘餘自由水 (free water)의 量이 급격히 줄어들어 熱效率도 급격히 저하되었다.

平均熱效率은 가을철의 경우 11.95%로 여름철 7.05%와 봄철 6.85%보다 높아 年中 가장 양호하였음을 알 수 있었으며, 이는 가을철의 평균온도는 여름철보다 약간 낮으나 日射量 條件이 양호하고 相對濕度가 낮아 木材의 乾燥에 알맞는 상태를 유지하였기 때문으로 생각된다. 한편 겨울철에는 4.3%의 年中 最低 熱效率을 나타내었다.

그러므로 우리나라에서는 雨期가 끝나는 늦여름부터 초가을 또는 日射量 條件이 양호한 4월~6월이 半溫室型 太陽熱 木材乾燥의 活性期間 (active semi-greenhouse type solar lumber drying period)으로 사료된다.

4-2 除濕·太陽熱드라이어의 熱效率

活性期間 (4월~6월)中 日射量, 드라이어内部 空氣條件 및 除濕에 의한 熱效率 向上效果를 분석한 결과는 다음과 같다.

4-2-1 日射量

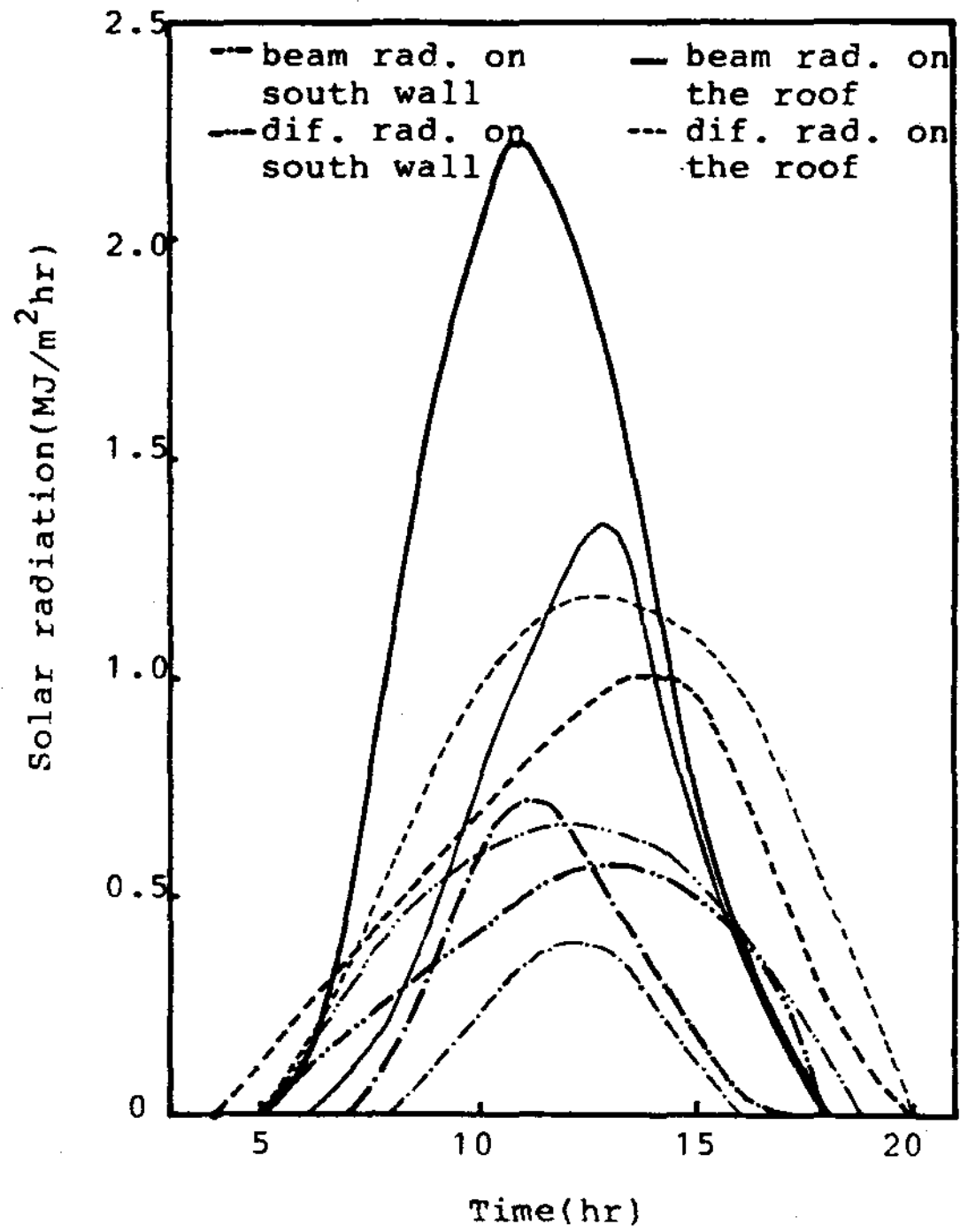


Fig.4 Daily solar radiation curves of clear (heavy line) and cloudy (fine line) day

5月中 晴明日과 흐린날의 시간에 따른 日射量 변화는 Fig.4에 나타난 바와 같다.

晴明日에는 경사각 37°의 지붕集熱部에 도달하는 日射量중 直達日射量이 散亂日射量에 비하여 매우 컸으나 경사각 90°의 남쪽벽 集熱部에서는 散亂日射量이 直達日射量보다 많았다. 흐린날에는 두 集熱部 모두 散亂日射量이 더 많이 도달하였고, 날씨에 관계없이 散亂日射量의 時間帶가 直達日射量의 경우보다 넓었음을 알 수 있었다.

乾燥期間中 集熱部에 도달하는 直達, 散亂 및 地表面 反射 日射量의 변화는 Fig.5에 나타내었다.

지붕集熱部에 하루동안 도달하는 散亂 日射量의 평균은 8.70MJ로 直達日射量 7.27MJ 보다 많았으며, 地表面 反射日射量은 0.33 MJ로 가장 적었다. 남쪽벽 集熱部의 경우에도 散亂日射量이 가장 많았으나 集熱部에 도달한 전체 日

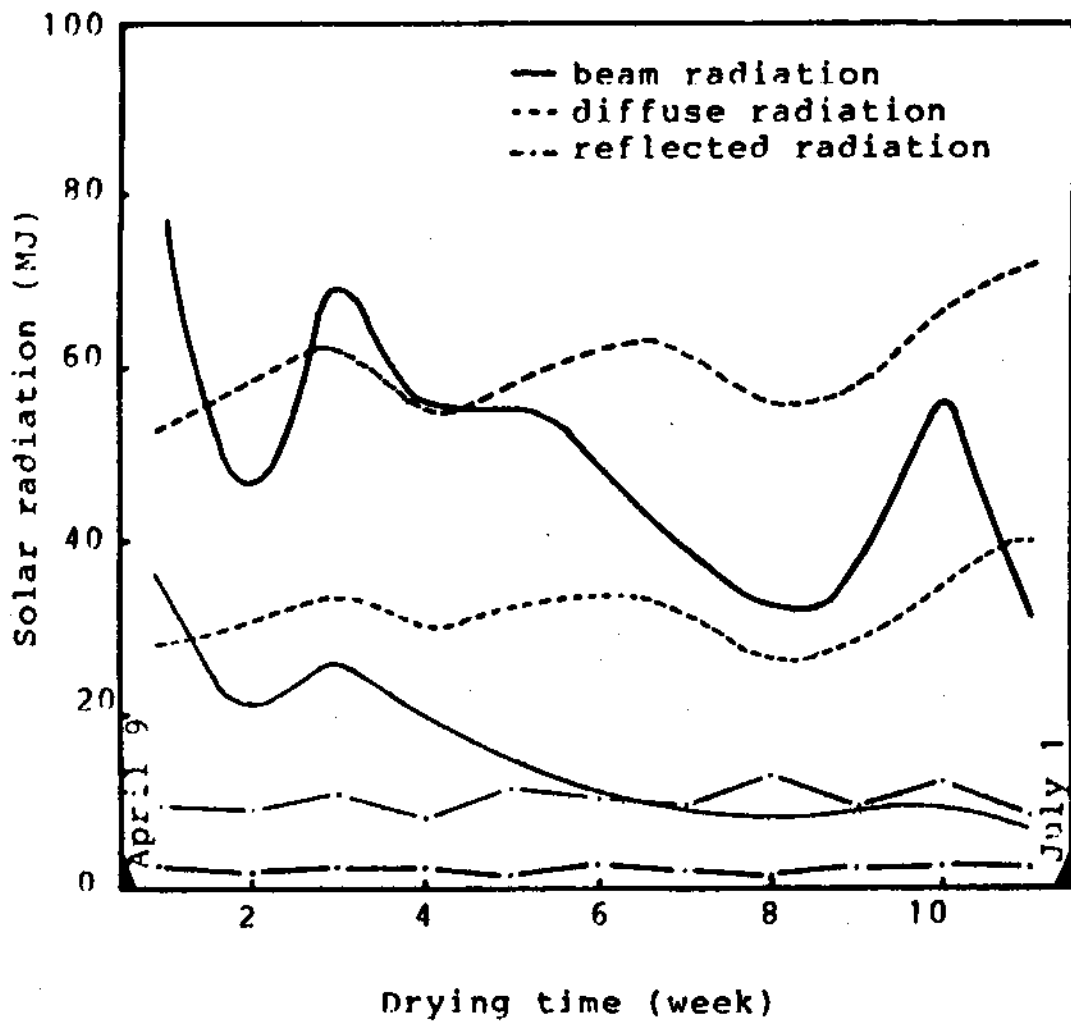


Fig.5 Weekly solar radiation curves on the roof (heavy line) and south wall collector (fine line)

射量은 12.30MJ로 지붕集熱部の 16.30MJ 보다 적었다.

한편 지붕과 남쪽벽集熱部를 통한 平均 吸收 日射量은 각각 8.51MJ/day (5.53MJ/m²·day) 와 6.22MJ/day (5.14MJ/m²·day) 였다.

4-2-2 드라이어内部 空氣條件

日射量 변화에 따른 드라이어内部의 5月中 시간별 평균온도와 상대습도는 Fig.6에 나타내었다.

半溫室型과 除濕 太陽熱드라이어의 内部溫度는 最低 16°C ~ 18°C, 그리고 最高 50°C ~ 52°C의 범위였고, 外氣와의 平均溫度差는 29°C ~ 33°C였으며, 지붕쪽 箱子型 集熱器 (box-type collector) 内部의 平均 最高溫度는 70°C에 달하였다.

일몰후 드라이어의 내부온도가 外氣의 온도보다 높게 유지된 것은 드라이어内部 構造物과 棧積 (lumber pile)이 주간에 가열되어 일몰

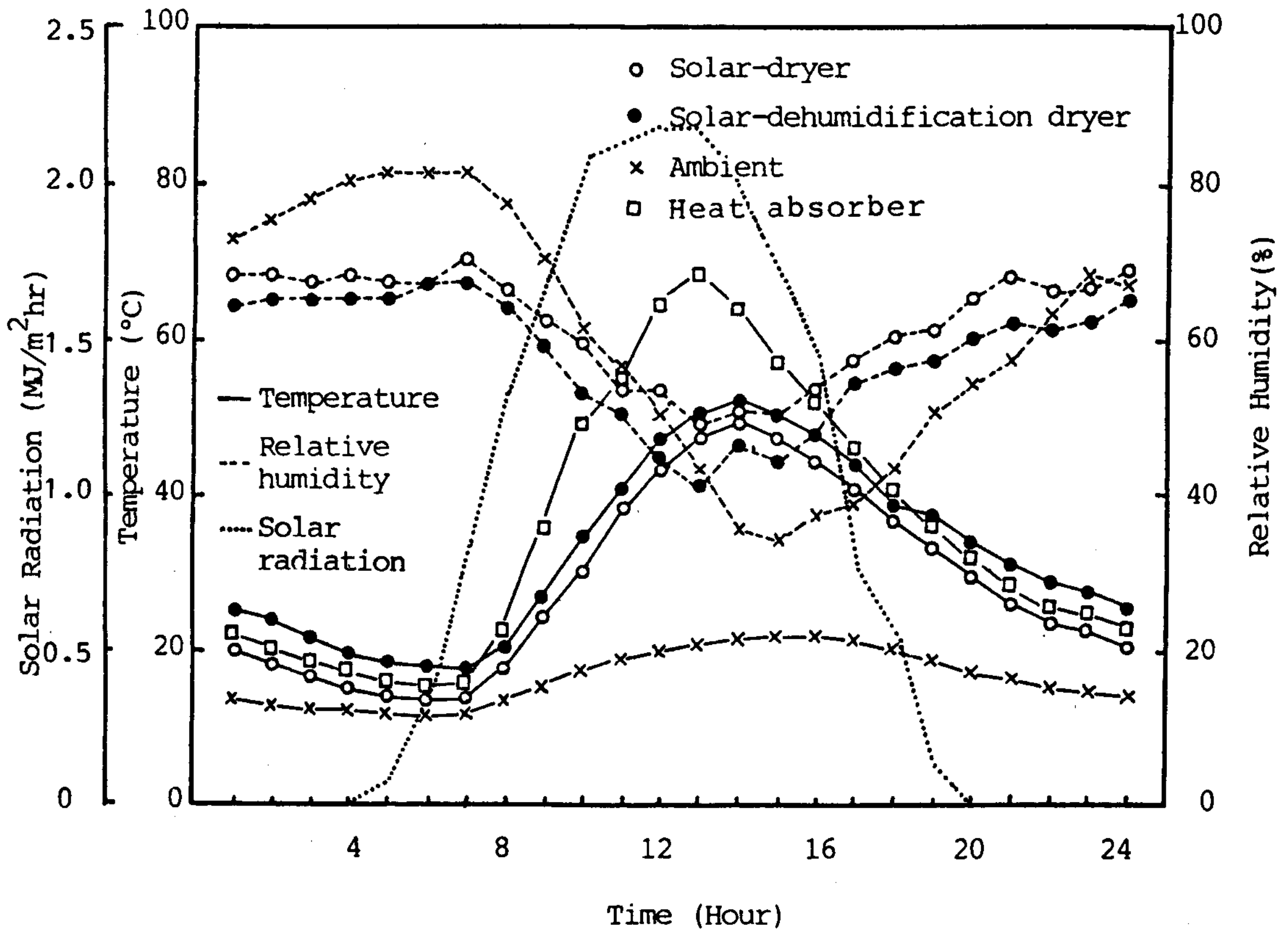


Fig.6 Diurnal cycle of drying conditions in May

후에는 서서히 熱을 방출하기 때문이며 특히, 除濕裝置의 蒸發器 (evaporator) 에 의한 溫度上昇效果가 뚜렷 하였다.

4-2-3 熱效率

半溫室型과 除濕 太陽熱드라이어를 이용한 木材乾燥에 소요되는 각 에너지要素들의 乾燥時間에 따른 변화는 Fig.7과 같았다.

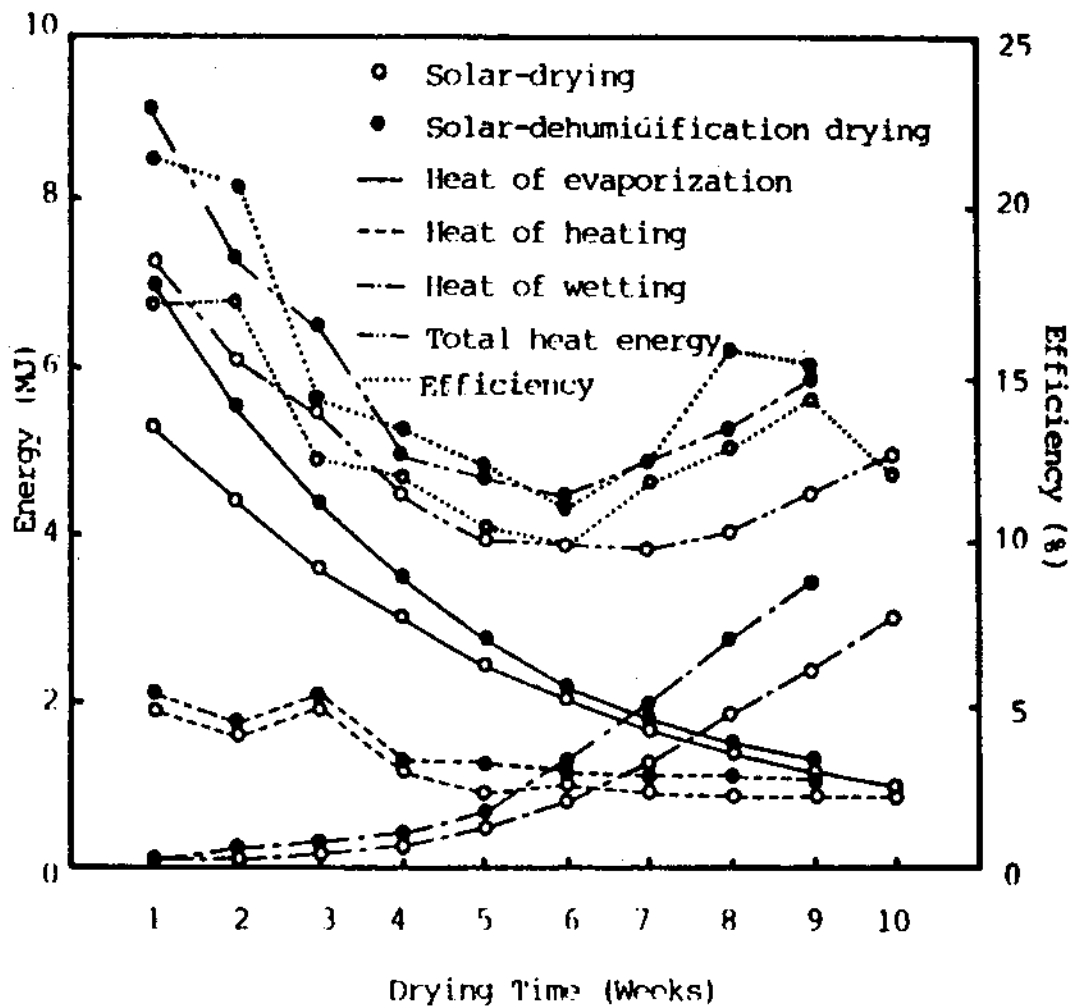


Fig.7 Curves of energy requirements and kiln-efficiency in solar- and solar-dehumidification drying of 2.5cm-thick oak

乾燥初期에는 木材로 부터 많은 量의 水分이 증발되므로 蒸發熱이 가장 큰 比率을 차지하였고 含水率이 높아 木材의 온도를 상승시키기 위한 에너지도 많이 소비되었으나 積分濕潤熱을 극복하기 위한 에너지는 거의 소비되지 않았다.

乾燥가 진행됨에 따라 含水率이 저하되어 水分의 蒸發에 필요한 에너지는 급격히 감소하였고 木材의 溫度上昇에 소요되는 에너지도 점차 감소하였다. 그러나 積分濕潤熱을 극복하기 위한 에너지는 纖維飽和點 (含水率 30%) 이하에서 신속히 증가하여 乾燥末期에는 오히려 木材로 부터 水分제거에 필요한 에너지중 가장 큰 比率을 차지하였다.

全 乾燥期間중 平均 熱效率은 除濕室型 太陽熱드라이어의 경우 14.04 %로 半溫室型 太陽熱드라이어의 13.13 %보다 양호하였고 木材로부터 1 g의 水分제거에 소요된 에너지의 量도 除濕·太陽熱드라이어의 경우 0.0289MJ/g 으로 半溫室型의 0.0310MJ/g보다 낮았다.

한편, 드라이어의 壁體나 集熱部를 통한 熱傳達에 의하여 손실된 에너지가 투입된 전체 에너지의 70 %에 달하였으며, 특히, 일몰후 부터 일출전까지 集熱部를 통한 熱損失이 매우 컸음을 알 수 있었다. 그러므로 이 期間동안의 熱損失을 줄이기 위하여 일몰후 集熱部의 적절한 斷熱處理와 蓄熱裝置로 드라이어의 内部溫度를 비교적 일정하게 유지하므로써 熱效率을 향상시킨다면 國內에서 太陽熱 木材乾燥의 가능성은 충분하리라 사료된다.

5. 結 論

半溫室型 및 除濕 太陽熱드라이어를 제작하여 太陽熱 木材乾燥過程의 吸收日射量, 熱에너지收支 및 熱效率을 분석한 결과 吸收日射量은 5.14 ~ 5.53 MJ/m²·day 였으며 드라이어内部의 最高溫度는 50°C ~ 52°C 였다. 全 乾燥期間중 平均 熱效率은 除濕·太陽熱드라이어의 경우 14.04 %로 1 g의 水分제거에 소요되는 에너지는 0.0289MJ/g 이었으며, 半溫室型의 경우보다 양호하였다. 그러므로 除濕裝置와 에너지손실을 줄일 수 있는 斷熱處理나 蓄熱裝置를 설치하여 熱效率을 향상시키면 國內에서도 太陽熱을 이용한 木材乾燥가 충분히 가능하리라 생각된다.

REFERENCES

1. Helmer, W.A. 1986. A general collector sizing method for solar kilns. For. Prod. J. Vol.36, No.6.
2. Plumtre, R.A. 1985. Solar drying kilns for

- sawnwood. Forest Products Abstracts 8(2).
3. Little, R.L. 1979. Solar-heated water dries lumber. For. Prod. J. Vol. 29, No. 2.
 4. Helmer, W.A., P.Y.S. Chen, and M.B. Vaidya, 1982. A computer model to simulate solar- and solar-dehumidification lumber drying. Trans. ASME Vol. 104:182-186.
 5. Read, W.R., A. Choda, and P.I. Copper. 1974. A solar timber kiln. Solar Energy Vol. 15:309-316.
 6. Taylor, K.J. and A.D. Weir. 1985. Simulation of a solar timber dryer. Solar Energy Vol.34, No.3.
 7. Chen, P.Y.S., W.A. Helmer, H.N. Rosen, and D.J. Barton. 1982. Experimental solar dehumidifier kiln for drying lumber. For Prod. J. Vol.32, No.9.
 8. Chen, P.Y.S., W.A. Helmer, and H.N. Rosen. 1984. Energy efficient lumber dry kiln using solar collectors and refrigeration system. U.S Patent 4-432-147, Feb., 21, 1984.
 9. Chen, P.Y.S. and W.A. Helmer. 1987. Design and tests of a solar dehumidifier kiln with heat storage and heat recovery systems. For. Prod. J. Vol.37, No.5.
 10. Helmer, W.A., P.Y.S. Chen, H.N. Rosen, and S.W. Wang. 1980. A theoretical model for solar-dehumidification drying of wood. Proc. 2nd International Symposium, Drying '80; Vol.2.
 11. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, Inc.