

太陽熱 給湯시스템의 最適設計에 관한 研究

金 元 泰* · 徐 廷 一**

A Study on Optimun Design of Solar Hot Water Heating System

Won Tae Kim and Jeong Ill Seoh

ABSTRACT

This paper presents a method for estimating the useful output of solar D.H.W. system. Heating load calculations, climate data and various conditions are used in this procedure to assess the fraction of the monthly solar energy and the actual solar energy supplied by solar energy for particular system. The design procedure presented in this paper referred to the f-Chart Method.

The results of analyzing of this study by Fortran programming are as follows ;

1. The amount of actual solar energy required to the hot water system is slowly rised to the ascend of tilt angle within the range of 45° , with is decreased since 45° .
2. The fraction of solar energy is superior when collector area is 8.64 m^2 .
3. At the tilt angle with the range of $37.6^\circ \sim 45^\circ$, the amount of actual solar energy established the best results.
4. Both the fraction of solar energy and the actual solar energy are the most suitable during the storage volume is 300ℓ .

* 正會員, 漢陽大學校 大學院

** 正會員, 漢陽大學校 工科大學

Nomenclature

- A : Collector Area (m^2)
- C_p : Specific heat ($kcal/kg^\circ C$)
- f : Fraction of this monthly load supplied by solar energy
- F_R : Collector heat removal efficiency factor
- F_R' : Collector heat exchanger efficiency factor
- \dot{m} : Collector mass flow rate per unit collector area (kg/s)
- H : Monthly average daily total radiation on a horizontal surface per unit area ($kcal/month m^2$)
- H_d : Monthly average daily diffuse radiation on a horizontal surface per unit area
- H_r : Monthly average daily total radiation on a tilted surface per unit area
- I_T : Rate of solar radiation incident on a tilted surface per unit area
- L_o : Monthly total water heating load
- Q_u : Rate of useful energy collection ($kcal/hr$)
- R_b : Ratio of monthly average daily beam radiation on a tilted surface to that on a horizontal surface
- S : Angle between the plane of the collector and horizontal (Degree, $^\circ$)
- T_{ref} : Reference temperature ($100^\circ C$)

I. 序論

太陽熱住宅에 있어서 給湯은 저온의 熱에너지를 이용하는 點에서 代替 에너지 시스템으로 에너지 轉換 效果가 높으며 給湯 시스템의 熱的인 性能은 氣象條件이나 器機의 性能 및 所要 熱

負荷 等에 의하여 左右된다. 太陽熱 시스템의 熱的 性能에 적용되는 日射量은 太陽熱 集熱器의 傾斜 日射量으로 換算한 Liu와 Jordan¹⁾의 方式으로 計算된 값을 利用하였다.

太陽熱 給湯 시스템에 있어서 集熱量을 결정하는 重要한 因子인 集熱 面積은 給湯負荷에 의해 크기가 결정되며 이 경우 集熱量은 集熱 面積에 線型的으로 比例하지 않으므로, 太陽熱 시스템에서 氣象條件, 集熱 및 蓄熱裝置의 性能, 給湯 負荷 等を 考慮하여 컴퓨터 시뮬레이션을 利用하여 구한다. 그리고 Löf와 Ward와 Jordan²⁾이 集熱 面積에 따른 太陽熱 시스템의 熱的 性能과 經濟性에 關하여 研究하였고, Rao와 Suri³⁾는 小規模 溫水 裝置를 利用한 實驗에서 集熱 面積의 增加에 따라 集熱量은 增加하나 그 比率은 減少함을 밝혔다. Klein과 Beckman⁵⁾등은 代表的 太陽熱 시스템의 模型을 選定하여 動的 시뮬레이션에 關한 數學的 表現과 解析을 시스템의 性能에 關계되는 電算 資料로부터 얻었다.

本 研究에서는 平板型 太陽熱 集熱器를 利用한 給湯시스템을 模型로 하여 시스템 設計에 影響을 미치는 每月 日射量, 集熱 面積, 集熱器의 傾斜角, 蓄熱 容量 등을 變化시켜 시스템 시뮬레이션에 의하여 f-Chart法을 利用하여 太陽熱 給湯 시스템의 熱的 性能을 分析, 最適 條件을 提示하고자 한다.

II. 理論解析

Fig.1은 典型的인 液體式 太陽熱 시스템의

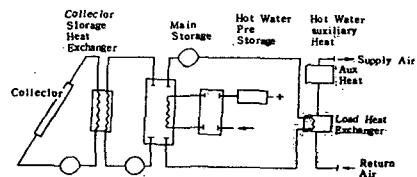


Fig 1. Schematic Diagram of a Solar Hot Water Heating System

모델을 圖示한 것으로 不動液을 注入한 閉鎖 分離 回路 方式을 擇하였고, 熱媒體로는 물을 使用하였다. 그리고, 시스템에서의 에너지 平衡式은 다음과 같다.

$$(\dot{m} C_p)_s dT_s/dt = Q_u - L_o - (UA)_s (T_s - T_o) \quad (1)$$

$$Q_u = AF_R [I_T(I\alpha) - U_L(T_{f,i} - T_o)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

또한 Klein⁹⁾은 F_R 대신에 太陽熱 集熱器와 蓄熱 탱크 사이의 性能 低下에 대하여 集熱熱交換 效率修正 係數 F_R' 을 導入하여 다음과 같이 나타내었다.

$$F_R'/F_R = \{ 1 + (\frac{F_R U_L}{\dot{m} C_p}) (\frac{AmC_p}{\epsilon_c C_{min}} - 1) \}^{-1} \quad (3)$$

그리고 南向 傾斜面에서의 月別 日平均 日射量을 算定하는 方法은 Liu와 Jordan¹⁾에 의해서 考案되었고 이 方法은 Klein에 의해서 더욱 확장되었다.

$$H_T = RH \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R = (1 - H_d/H)R_b + (H_d/H) \{ 1 + 10sS/2 + P(1 - 10sS)/2 \} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$H_d/H = 1.390 - 4.027K_T + 5.531K_T^2 - 3.108 \times K_T^3 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$K_T = H/H_o \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_b = \frac{\cos(\phi - S) \cos \delta \sin W'_s + (\pi/180)}{\cos \phi \cos \delta \sin W_s + (\pi/180)}$$

$$\frac{W'_s \sin(\phi - S) \sin \delta}{W_s \sin \phi \sin \delta} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$W'_s = \text{Min} [W_s, \cos^{-1} \{ \tan(\phi - S) \tan \delta \}] \quad (10)$$

太陽熱 시스템의 給湯 負荷는 1人當 60°C, 50ℓ로 假定하면 다음과 같이 表示된다.

$$L_w = N \times (\text{사용자수}) \times 50 \times (T_w - T_m) \times \rho C_p \quad \dots\dots\dots (11)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

III-1. f-Chart 設計法

集熱板에 入射하는 吸收熱量에 의해 太陽熱 시

$$\text{스템의 總에너지 平衡式은 } \Delta U = Q_T - L_o + E \quad \dots\dots\dots (12)$$

이고 太陽熱 시스템 內의 蓄熱部에서의 月間 ΔU 는 Q_T, L_o 및 E 와 比較하여 거의 無視될 수 있으므로 所要 熱負荷에 의한 太陽熱은 다음과 같다. $f = (L_o - E)/L_o = Q_T/L_o \quad \dots\dots\dots (13)$

III-2. 無次元化

太陽熱 給湯 시스템의 熱的 性能을 간단히 解析하기 위해 다음과 같이 無次元化 한다. 水平面 日射量, 外氣 溫度등에 의해 太陽 依存率 f 를 無次元量 X 와 Y 의 함수로 表示할 수 있다.

$$X = AF'_R U_L (T_{ref} - T_o) \Delta t / L_o \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$Y = AF'_R (I\alpha) H_T N / L_o \quad \dots\dots\dots (15)$$

여기서 X 는 月間 太陽熱 集熱器에서의 基準 熱損失量과 總熱負荷와의 比이고, Y 는 月間 太陽熱 集熱器가 吸收한 可用 熱에너지와 總熱負荷와의 比이다. 式(14),(15)을 計算에 편리하도록 修正하면 다음과 같다.

$$X = F_R U_L (F'_R/F_R) (T_{ref} - T_o) \Delta t \cdot A / L_o \quad (16)$$

$$Y = F_R (I\alpha)_n (F'_R/F_R)^{1/2} (\tau\alpha)_n H_T AN / L_o \quad (17)$$

式(16),(17)로 부터 太陽 依存率 f 는 다음과 같이 表示된다.

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$0 < Y < 3, \quad 0 < X < 18$$

또한, 給湯 熱負荷에 의한 給湯 修正 係數는 다음과 같다.

$$X_c/X = (11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32T_o) / (100 - T_o) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式(19)에서 溫水供給溫度 T_w 와 市水供給溫度 T_m 은 太陽熱 給湯 시스템의 變數가 되어 平均作動溫도와 관련된다.

III-3. 시스템 시뮬레이션

太陽熱 給湯 시뮬레이션 모델의 溫水 負荷, 集

熱器, 蓄熱部, 負荷 設備에 대한 資料는 Table. 1과 같다.

Table 1. Specification of Properties and initial Conditions

	Specifi - cation
Location Seoul	Latitude 37.6°N
Hot water Load	
Winter Design Temperature	-18.3°C
AVR. Hot water Consumption	250ℓ/day
AVR. Cold water Temperature	11°C
AVR. Hot water Supply Tem- perature	60°C
Collector Subsystem Data	
Azimuth Angle	180°
Collector Shading	0.0%
Collector Efficiency Data	
$F_R U_L$	0.79
$F_R (\tau\alpha)$	4.15
Reference Temperature	Inlet Tem- perature
Fluid Composition Ethylene Glycol/water	50/50
Specific Heat	0.82kcal/ kg°C
Specific Gravity	1.05
Storage Subsystem Date	
Storage Subsystem Date	
Storage Medium	water
Specific Heat	1kcal/kg°C
Collector/Storage Heat Exchan- ger Effectiveness	0.69
Load Subsystem Data	
Load Heat Exchanger Effecti- veness	0.8

f-Chart 設計法을 利用하여 시스템 시뮬레이션에 의해 太陽熱 給湯 시스템의 長期的인 熱的 性能을 評價하였다.

IV. 結果 및 考察

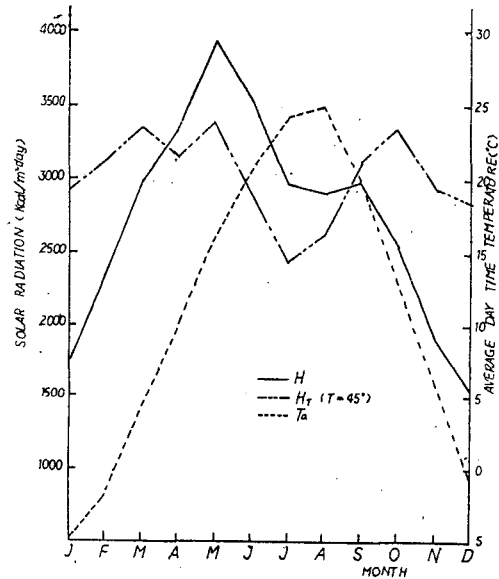


Fig 2. Solar Radiation and Average Day time Temperature in Seoul

Fig.3에서 太陽 依存率은 7월에 급격히 減少하고 集熱 面積이 8.64 m² 일때 太陽 依存率은 점차 增加하나 面積의 增加에 따른 太陽 依存率의 上昇 比率은 減少함을 알 수 있었다. Fig.4는 集熱 面積과 傾斜角을 變化시켰을 경우 傾斜角이 9° 일 때는 太陽 依存率이 66°의 경우와 비슷하며, 傾斜角이 37.6°인 경우에는 太陽 依存率이 上昇하고 45°에서는 이와같이 現象이 現저함을 알 수 있었다.

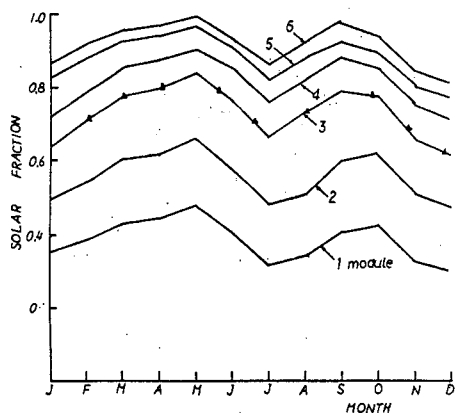


Fig 3. Fraction of total energy required by a Domestic Hot Water System Supplied by Solar Energy at latitude = tilt = 37.6°N for 300ℓ tank. One module = 2.88 m²

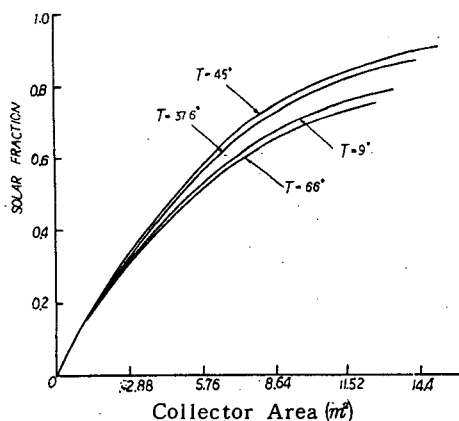


Fig 4. Effect of Collector Area on the Annual Solar Fraction in varying tilt angle of collectors

Fig.5 은 傾斜面이 增加함에 따라 12月, 1月, 2月에는 給湯에 所要되는 太陽 에너지량은 增加하나 夏節期에는 급격히 減少함을 알 수 있다. Fig.2,5에서 水平面 日射量과 傾斜角이 9° 일 때의 太陽 에너지량은 一定하게 維持됨을 알 수 있다. 또한 傾斜角이 增加함에 따라 溫水 給湯에 所要되는 太陽 에너지량의 最大值는 5月, 6月,

10月로 移動한다.

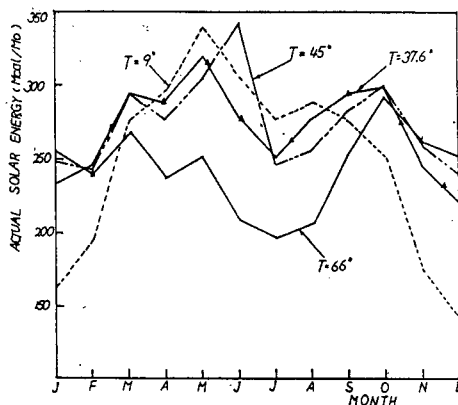


Fig 5. Monthly Actual Solar Energy in varying Tilt angle of Collector .

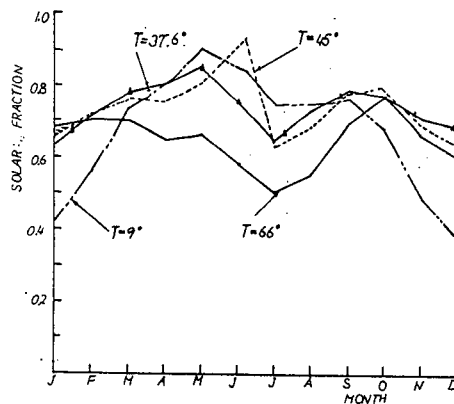


Fig 6. Effect of tilt angle of Collectors on the performance of Domestic Hot Water System for 8.64 m²

이는 太陽의 高度에 따른 日射量의 變化에 의하여 集熱되는 日射量에 差異가 있기 때문이다. Fig.6,7 은 각기 傾斜角이 9°, 37.6°, 45°, 66°인 경우에 給湯 太陽 에너지량과 太陽 依存率을 圖示한 것으로 傾斜角이 45°일 때 集熱 性能이 가장 우수함을 알 수 있었다.

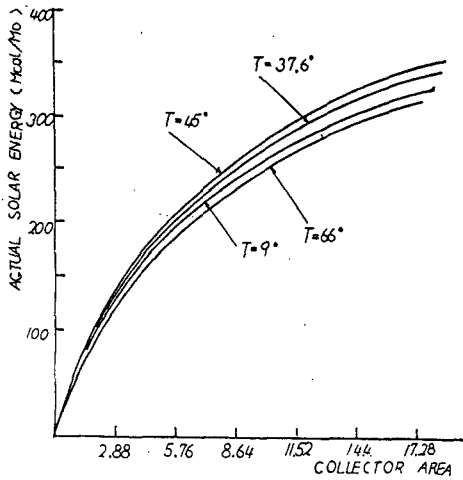


Fig 7. Actual Solar Energy Collected and Delivered to the load vs. Collector Area

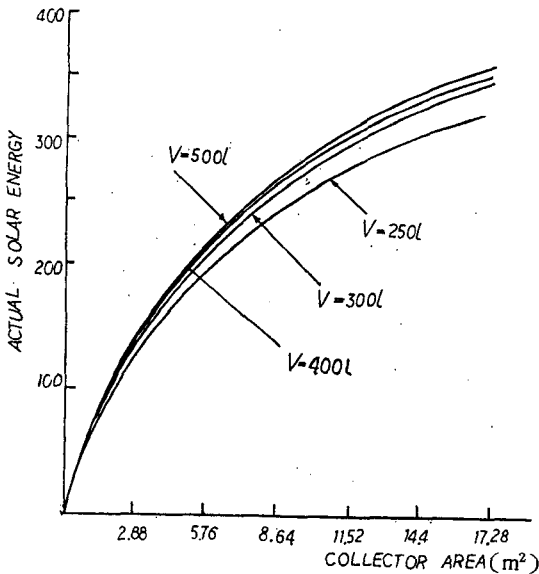


Fig 8. Actual Solar Energy collected and delivered to the load vs. Collector Area in varying Storage Volume.

Fig.8은 蓄熱 容量을 일정하게 維持시켰을때 集熱 面積에 따른 給湯 太陽 에너지량을 圖示한

것으로 集熱 面積이 增加함에 따라 太陽 熱量은 서서히 增加하나 蓄熱 容量이 300ℓ 以上인 경우에는 上昇幅이 減少함을 알 수 있다.

IV. 結 論

太陽熱 給湯시스템의 最適 設計를 解析하기 위해 f-Chart를 적용하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 集熱板의 傾斜角을 增加함에 따라 給湯에 所要되는 에너지량은 上昇하다가 45° 以後에서 減少하고 集熱 面積의 增加에 따른 太陽 依存率은 傾斜角이 45°일 때 最適임을 알 수 있다.

2. 集熱器의 面積이 增加함에 따라 太陽 依存率은 上昇하고 集熱 面積이 8.64 m²에서 太陽 依存率은 經濟面 또는 效率面에서 가장 良好한 것으로 나타났다.

3. 給湯에 所要되는 太陽 에너지량은 傾斜角이 37.6° ~ 45°인 領域에서 우수함을 알 수 있다.

4. 集熱 性能은 蓄熱 容量이 300ℓ일 때 가장 적합할 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "The Long-Term Average Performance of Flat Plate Solar Energy Collectors", Solar Energy, Vol.7, pp.53, 1963
2. D.S. Ward and G.O.G. Löf, "Design and Construction of a Residential Solar Heating and Cooling System", Solar Energy, Vol.17, pp13-20, 1975
3. S.K. Rao and R.K. Suri, "Optimization of Flat Plate Solar Collector Area", Solar Energy, Vol.12, pp 531-535, 1969

4. Jon F. Kreider and Frank Kreith, 'Solar Energy Handbook' McGraw-Hill Book Company, Inc., New York

5. W.A. Beckman, S.A. Klein and J.A. Duffie, Solar Heating Design by the f-Chart Method, John Wiley-Inc, 1977

6. Donald Rapp, 'Solar Energy', Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, N.J., pp. 157-190. 1981

7. J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of thermal Process', John Wiley-Inc., 1980

8. S.A. Klein et. al., "TRNSYS, A Transient Simulation Program," Report 38, Solar Energy Laboratory. Engineering Experiment Station, University of Wisconsin, October, 1977

9. S.A. Klein, "Calculation of Monthly Average insolation on tilted Surface", Solar Energy, Vol.19, pp. 325-329, 1977