

太陽熱 暖房시스템 解析을 위한 電算시뮬레이션 모델의 開發

The Development of a Computer Simulation Model for Solar Space Heating System Analysis

李 永 秀* 徐 廷 一**
Y. S. Lee J. I. Seoh

ABSTRACT

This research, through the analysis of existing programs, presents a simplified logical program which can show the thermal performance of a system, based only on hourly weather data and the system design data. This program is applicable for analyzing a system of direct heating or recirculation heating which may enhance the performance of an existing solar house. Using these system gives the existing systems a little raise in performance.

The model analysis of a 100 m² solar house in the seoul region shows that the following figures are the most efficient and suitable;

1. Installation angle of collector: 45°
2. Collector size: 34.56 m²
3. Capacity of main storage tank: 2.5 m³

記 號 說 明

A : 集熱器面積, m²
 C_p : 熱傳達媒體比熱, J/kg·C
 d : 太陽赤緯
 D_s : 通算日
 F_R : 集熱效率 修正係數
 F_s : 太陽依存率
 h : 時間角
 H : 現地太陽時, 日射量, W/m²
 L : 緯度, 暖房 또는 給湯의 總熱負荷, MJ

Q : 集熱量, MJ
 T : 溫度, C
 U_L : 集熱器 熱損失係數, W/m²·C
 V : 容量, m³
 W : 流量, kg/sec

Greek

α : 吸收率
 η : 效率
 ρ : 地面反射率, 密度
 τ : 透過率

* 韓國動力資源研究所

** 漢陽大學校 工科大學

- θ_h : 天頂角
 θ_T : 太陽光과 傾斜面 法線사이의 角
 ϕ : 傾斜角

下 添 字

- a : 大氣
 aux : 補助에너지
 c : 集熱器
 f : 流體
 H : 水平
 i : 入口
 n : 法線
 o : 出口
 s : 主貯藏탱크
 SH : 暖房
 T : 傾斜
 t : 市水
 u : 地中, 유용한
 v : 垂直
 w : 給水

1. 序 論

産業發展에 의한 에너지消費의 급격한 증가로 資源의 枯渴과 함께 環境汚染의 問題가 심각하게 대두되었으며 특히 1973年의 오일쇼크이후로 世界各國은 國家的인 政策의 次元에서 새로운 에너지 開發에 注力하게 되었다. 그리하여 새로운 에너지 資源으로서 太陽에너지, 風力, 潮力에너지 등 여러가지 새로운 에너지 資源이 開發되었다. 이들중 太陽에너지는 새로운 에너지의 必要條件인 豊富한 量과 環境汚染을 誘發시키지 않아야 한다는 점과 經濟的인 점 등의 條件을 어느 정도 滿足시키는 長點을 지닌 에너지資源이다. 반면에 連續的이지 못하고 氣象條件 및 地理的인 條件에 敏感한 不安定한 에너지이며 密度가 稀薄하다는 短點을 가지고 있다. 그러나 太陽에너지는 經濟的인 에너지로서 보다는 代替에너지라는 側面에서 理解되어야 하며 따라서 未來의 重要的인 에너지資源이라는 것은 分명한 事實이다.

그러므로 더 좋은 性能을 갖게하기 위한 새로운 시스템들의 끊임없는 開發이 必要하게 된다.

最初의 太陽에너지量의 實驗的 測定은 19世紀末 John Herschel과 Pouillet¹⁾에 의하여 實行되었으며 그후 여러가지 開發이 있었다. 近代에 들어서서 太陽에너지 利用에 관한 研究는 1940年代에 美國의 G.C. Abbott²⁾가 最初로 하였으며 그후 集熱裝置 및 太陽電池의 開發, 建築技術의 發達 效率的인 시스템의 開發 등으로 상당히 實用化 段階에까지 이르게 되었다. 太陽에너지를 集熱하는 裝置中 平板型 集熱器는 集光型과는 달리 直達日射는 물론 散亂日射인 低密度에너지까지 集熱할 수 있고 또한 構造도 간단하여 製作, 設置와 維持가 容易하다는 長點이 있어 가장 널리 使用되고 있다. 集熱器의 性能은 시스템을 設計할 경우에 고려하여야할 變數中 가장 重要的인 因子이다. 平板型 集熱器의 熱性能에 관한 理論은 Hottel과 Woertz³⁾의 古典的인 研究에 이어 Whiller⁴⁾와 Bliss⁵⁾, Tabor⁶⁾, Moore⁷⁾ 등 많은 사람들이 修正 및 補完을 하여 現在에도 상당히 正確하게 定立되어 있는 것으로 알려져 있다. 太陽熱시스템에 있어서 集熱面積은 集熱量을 決定하는 重要的인 因子로서 負荷에 따라 그 크기가 決定된다. 一般的으로 集熱量은 集熱面積에 比例하지는 않으며 氣象條件, 集熱裝置 및 蓄熱裝置의 性能, 暖房 및 給湯熱負荷 등을 고려하여 計算하여야 한다. 太陽에너지 시스템의 性能解析을 위하여는 이와같이 集熱量 및 氣象條件, 熱負荷 등을 고려하여 長期間에 걸친 解析을 하여야 하며 이러한 解析을 하기 위하여 TRNSYS⁸⁾, SIMSHAC⁹⁾, F-CHART,¹⁰⁾ SOLCOST¹¹⁾ 등 여러가지 電算 프로그램들이 開發되었다. F-CHART, SOLCOST 등은 太陽에너지 시스템의 長期性能을 計算하기 위한 單純한 電算프로그램으로서 簡單하며 상당히 實用的인기는 하지만 入力資料로서 月別氣象資料를 使用하며 設計하는 시스템을 制限하는 假定이 많기 때문에 適用範圍가 좁다는 短點이 있다. TRNSYS, SIMSHAC 등은 詳細한 電算프로그램으로서 多樣的인 分野

의 詳細한 計算을 할 수 있으며 複雜한 建物에서도 使用할 수 있다는 長點이 있으나 廣範圍하고 많은 入力資料가 必要하며 計算時間이 많이 걸린다는 短點이 있다.

本 研究에서는 既存의 太陽熱시스템 性能解析用 프로그램들을 分析하여 單純化된 論理로서 計算時間을 줄이고 時間別 氣象資料와 시스템 設計資料들을 利用하여 시스템의 여러가지 熱的性能을 豫測하는 프로그램을 開發하였다. 이 프로그램은 乾球溫度와 法線面直達日射量 水平面全天日射量 등의 時間別 氣象資料들을 入力하여 蓄熱탱크의 溫度, 蓄熱량, 給湯所要熱量, 暖房所要熱量, 給湯補助熱量, 暖房補助熱量, 太陽依存率 등의 값을 計算하며 이러한 性能값들을 時間別, 日別, 月別, 年別로 나타낼 수 있다. 또한 既存 太陽熱住宅의 性能을 改善하기 위하여 시뮬레이션 모델에 直接暖房方式과 再循環暖房方式을 導入하였으며, 프로그램은 이들 過程에 대한 計算을 區別하여 할 수 있도록 하였고 이들 方式을 獨自의 으로 또는 複合의 으로 適用한 시스템에 대한 計算을 하여 性能을 分析, 比較, 檢討하였다.

2. 理論解析

2.1 平板型 集熱器의 熱的性能

定常狀態下에서 平板型 集熱器의 性能은 Hottel·whiller·Bliss³⁻⁵⁾가 구한 값이 實驗값과 比較的 잘 一致할 뿐만 아니라 計算의 簡便性때문에 시뮬레이션에 가장 適合한 것으로 알려져 있다.

集熱된 有效熱量(Q_n)은 다음 式으로 구한다.

$$Q_n = A F_R [H_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_o)] \dots (1)$$

또한 集熱器의 集熱效率를 η 로 表示하면 다음과 같다.

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L(T_i - T_o) / H_T \dots (2)$$

2.2 傾斜面 日射量

太陽熱시스템에서 集熱器는 시스템의 性能

을 向上시키기 위하여 適切한 方向 및 傾斜角으로 設置하여야 한다. 그러나 傾斜面 日射量에 대한 測定資料는 別途로 마련되어 있지 않으므로 다음式으로 구하였다.

$$H_T = H_V \cos \theta_T + H_{diffuse} \cdot \frac{1 + \cos \phi}{2} + \rho H_H \cdot \frac{1 - \cos \phi}{2} \dots (3)$$

이 式에서 첫번째 項은 傾斜面에서의 直達日射量, 두번째 項은 傾斜面에서의 天空日射量, 세번째 項은 地面으로부터 集熱器에 到達되는 反射日射量이다. 여기서 θ_T 는 太陽光과 傾斜面 法線사이의 角度이며 다음 式으로 구한다.

$$\cos \theta_T = \cos(L - \phi) \cdot \cos d \cdot \cos h + \sin(L - \phi) \cdot \sin d \dots (4)$$

또한 d 는 太陽赤緯이며 다음 式으로 表示된다.

$$\sin d = -\sin(23.45^\circ) \cdot \cos[(D_s - 1) \cdot \frac{180}{182.5}] \dots (5)$$

시간각(h)는 다음 式으로 구한다.

$$h = (H - 12) \cdot 15 \dots (6)$$

세번째 項에서 水平面 全天日射量(H_H)은

$$H_H = H_{direct} + H_{diffuse} \dots (7)$$

이고, 水平面 直達日射量(H_{HD})은

$$H_{direct} = H_V \cdot \cos \theta_h \dots (8)$$

이며, 太陽光과 垂直面과의 角度(θ_h)는 다음 式으로 구한다.

$$\cos \theta_h = \cos L \cdot \cos d \cdot \cos h + \sin L \cdot \sin d \dots (9)$$

3. 시뮬레이션 모델링

3.1 시뮬레이션 모델

Fig.1은 시뮬레이션에 適用한 太陽熱시스템에 대한 系統圖를 나타낸 것이다.

Fig.1에서 太陽熱 集熱器內의 熱傳達 媒體

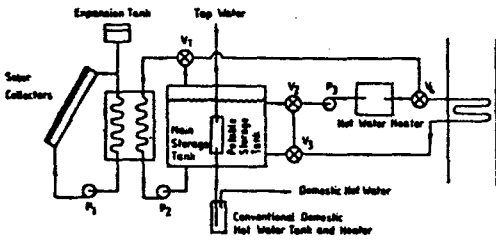


Fig.1 Schematic diagram of System used computer simulation

는 겨울철에 集熱器의 凍破를 防止하기 위하여 不凍液 閉鎖分離回路를 採擇하며 蓄熱媒體로는 물이 使用된다. 熱交換器의 作動은 實際의 경우에는 集熱器와 蓄熱槽의 溫度差에 의하여 일어나게 되지만 시뮬레이션에서는 日射量이 $170 \text{ J}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ 를 초과하는 경우에 作動된다. 또한 給湯貯藏탱크는 蓄熱槽의 內部에 設置하였다. 給湯部의 作動은 給水가 給湯탱크에 들어가서 蓄熱槽의 溫度까지 豫熱된 後, 사용하는 給湯量만큼 貯藏탱크를 나와서 補助加熱器를 거쳐 適正溫度가 된 後에 사용하게 된다. 또한 이 시뮬레이션 모델은 暖房의 경우 다음의 4가지 경우로 나누어서 適用할 수 있다.

- ① 直接暖房方式과 再循環暖房方式 모두를 適用하는 경우
- ② 直接暖房方式만 適用하는 경우
- ③ 再循環暖房方式만 適用하는 경우
- ④ 直接暖房方式과 再循環暖房方式 모두를 適用하지 않는 경우

形式④의 경우는 集熱器에서 나오는 流體가 熱交換器를 거쳐 蓄熱槽로 들어가고 다시 蓄熱槽에서 나온 물은 補助加熱器를 거쳐 55°C 로 加熱되며 暖房器를 거쳐나온 流體는 다시 蓄熱槽로 들어가게 된다. 또한 形式①의 경우는 일반적으로는 形式④의 作動을 하다가 集熱器에서 나오는 流體의 溫度가 55°C 를 넘으면 탬퍼링밸브(Tempering Valve) V_1 과 V_4 가 作動하여 流體는 이 經路를 따라서 暖房器로 들어가게 된다. 또한 蓄熱槽의 溫度가 暖房器에서 나오는 流體의 溫度보다 낮은 경우에는 탬퍼링밸브 V_2 와 V_3 가 作動하여 暖房部는 閉

鎖回路를 이루게 되며 補助加熱에 만 依存하여 暖房을 하게 된다.

3.2 시스템의 熱的性能

시스템의 性能解析은 매 時間마다의 日射量과 氣溫으로부터 蓄熱槽의 溫度, 蓄熱量, 給湯所要熱量, 暖房所要熱量, 給湯補助熱量, 暖房補助熱量, 太陽依存率 등의 값을 구하게 된다. 이러한 計算에 필요한 資料는 다음과 같은 가정에서 하였다.

① 給湯使用量

5人 家族을 基準으로 하여 1人當 1日 給湯使用量은 50ℓ 로 하며, 時間에 따른 給湯使用量은 Table 1과 같다.

Table 1 A normalized hourly usage of domestic hot water

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Using quan.	0	0	0	0	0	5	30	30	10	10	10	10
Hour	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Using quan.	10	5	5	5	10	30	30	10	10	10	10	10

② 給水溫度

給水의 溫度는 氣象狀態에 따라서 변하며 또한 地域의 給水條件에 따라서도 변하게 된다. 本 研究에서는 서울地域의 月別 水道물 平均溫度를 韓國動力資源研究所 研究報告書인 “太陽熱 給湯시스템 開發研究” 報告書에 收錄된 給水溫度를 이용하였고 이 값은 Table 2와 같다.¹⁵⁾

Table 2 Monthly tap water temperature in Seoul

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp.	38	2.3	3.6	8.3	13.7	18.6	22.3	24.5	22.8	18.6	13.1	7.5

위의 資料들과 氣象데이터들로서 各 性能값들을 다음과 같이 計算하였다.

i) 給湯補助熱量($Q_{wh, aux}$)

補助加熱器를 通過하는 流量과 入·出口의 溫度로서 구하며 다음 식으로 表示된다.

$$Q_{w,aux} = \rho C_p W_h (T_{aux,o} - T_{aux,i}) \dots (10)$$

여기서 $T_{aux,i}$ 는 入口溫度로서 蓄熱槽의 溫度이며 $T_{aux,o}$ 는 給湯溫度인 55°C 이다.

ii) 暖房補助熱量($Q_{SH,aux}$)

暖房器를 통과하는 流量으로서 구하며 그 式은

$$Q_{SH,aux} = \rho C_p W_f (T_{aux,o} - T_{aux,i}) \dots (11)$$

이고, 여기서 暖房器通過流量(W_f)은 熱負荷에 따라 정하여지며 다음 式으로 구하였다.

$$W_f = \frac{L_{SH}}{\rho C_p (T_{fi} - T_{fo})} \dots (12)$$

여기서 暖房器의 入, 出口溫度는 55°C 와 35°C 로 하였다. 暖房補助熱量은 直接暖房方式이 作動되면 零이 되며, 再循環暖房方式에서는 L_{SH} 가 된다.

iii) 蓄熱槽의 溫度

蓄熱槽의 溫度變化는 蓄熱槽로 들어온 太陽에너지量(Q_{sol})에서 暖房消費熱量과 給湯消費熱量, 熱損失量을 뺀 나머지 값으로 計算하며 다음 式으로 表示된다.

$$T_s = T_{st} + \frac{(Q_{sol} - Q_{HW} - Q_{SH} - Q_{loss})}{\rho C_p V_s} \dots (13)$$

여기서 給湯消費熱量(Q_{HW})은 給水를 蓄熱槽의 溫度로 加熱하는데 들어간 熱量이며 다음 式으로 구하였다.

$$Q_{HW} = \rho C_p W_h (T_s - T_t) \dots (14)$$

蓄熱槽로 들어오는 太陽에너지量(Q_{sol})과 暖房消費熱量(Q_{SH})은 直接暖房方式, 再循環暖房方式, 두 경우가 모두 아닌 경우에 있어서 算出方法이 다르다.

㉑ 直接暖房方式인 경우

太陽에너지量은 暖房器로 보내고 남은 流體가 蓄熱槽로 들어오는 것에 의한 것이며 다음 式으로 구하였다.

$$Q_{sol} = \rho C_p (W_c - W_f) (T_{co} - T_s) \dots (15)$$

여기서 集熱器 通過流量은 集熱量과 集熱器入·出口 溫度로서 구하며 다음 式으로 表示

된다.

$$W_c = \frac{Q_w}{\rho C_p (T_{co} - T_{ci})} \dots (16)$$

暖房消費熱量은 暖房器 出口溫度와 蓄熱槽溫度와의 差異로 구하며 다음 式으로 表示된다.

$$Q_{SH} = \rho C_p W_f (T_s - T_{fo}) \dots (17)$$

이 값은 보통 陰의 값을 갖게되며 이것은 蓄熱槽로 熱量이 流入됨을 뜻한다.

㉒ 再循環暖房方式인 경우

太陽에너지量은 集熱量과 같으며 暖房消費熱量은 없게된다.

$$Q_{sol} = Q_w = 3600 \eta A H_T \dots (18)$$

$$Q_{SH} = 0 \dots (19)$$

㉓ 既存시스템인 경우

太陽에너지量은 集熱量과 같으며 暖房消費熱量은 蓄熱槽溫度와 暖房器 排出流體溫度로 구하며 다음 式으로 表示된다.

$$Q_{sol} = 3600 \eta A H_T \dots (20)$$

$$Q_{SH} = \rho C_p W_f (T_s - T_{fo}) \dots (21)$$

蓄熱槽의 熱損失量은 蓄熱槽 壁을 통하여 일어나는 熱損失이며 $U_s = 2\text{KJ}/\text{m}^2\text{sec}$ 로 하여 다음 式으로 구하였다.

$$Q_{loss} = U_s A_s (T_s - T_w) \dots (22)$$

本 研究에서의 蓄熱槽의 熱損失은 蓄熱槽를 地下에 設置한 경우로 가정하여 計算하였으며, 地下의 溫度는 給水의 溫度로 하였다.

iv) 太陽依存率

太陽依存率(F_s)은 太陽에너지 使用量과 熱負荷量의 比이며 다음 式으로 表示된다.

$$F_s = \frac{Q}{L} \dots (23)$$

또한 太陽依存率은 時間別, 日別, 年別로 區分하여 구하였다.

v) 시스템 設置費用

시스템의 設置費用은 1986年 1月 基準의 價格을 基準으로 하여 集熱器 面積에 따른 費用과 蓄熱槽容量에 따른 費用, 其他 部分의

費用으로 나누어 計算하였으며 그 式은 다음 과 같다.

$$\cos T = 95,000 A + (650,000 + 120,000 V_s) + 2,700,000 \dots\dots\dots (24)$$

vi) 價値率

價値率은 設置費用에 대한 1년에 걸친 太陽에너지 使用量의 比率이며 다음 式으로 구하였다.

$$\text{VALUE} = \frac{Q}{\cos T} \dots\dots\dots (25)$$

Fig. 2는 本 研究에 이용된 프로그램의 Flow-chart이다.

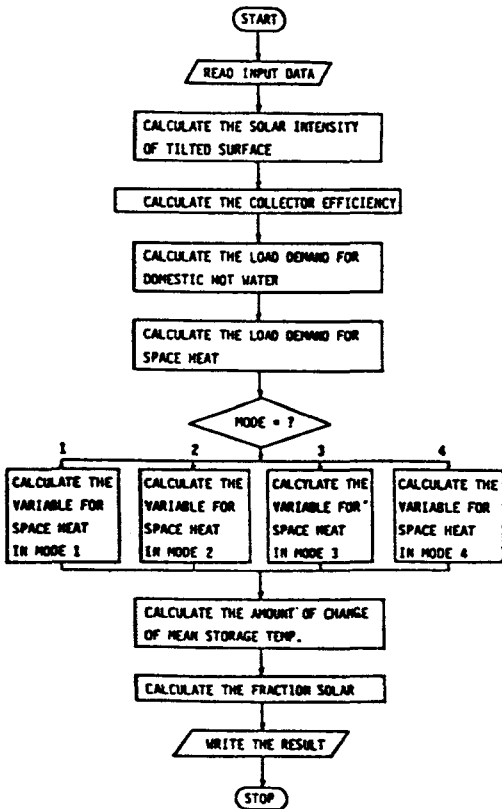


Fig. 2 Flow-chart

3.3 시뮬레이션 수행에 필요한 媒介變數

氣象資料¹⁸⁾는 平均年 標準氣象데이터 값들 中 法線面直達日射量과 水平面天空日射量, 乾

球溫度를 使用하였으며 計算에 利用한 컴퓨터는 VAX 11/780이다. 計算에 使用된 各種 媒介變數는 本 시뮬레이션에서 標準住宅으로 선정 30坪 住宅을 서울地方에 建築한다고 假定하였고, 5人家族을 基準으로 1人當 1日 溫水使用量을 55°C의 50liter, 集熱器는 選擇吸收幕으로 처리된 A社 製品을 擇하였다. Table. 3은 시스템設計資料이다.

Table 3 Parameters

Latitude of Seoul	37.6 N
Design heat loss coefficient	6.10 kJ/h m ² °C
Ave. hot water consumption	250 liter/day
Ave. hot water supply temperature	55 °C
Designed indoor temperature	21 °C
Collector type	Flat & Selective
Number of collector plate	1
Collector efficiency data	
F _g (α)	0.75
F _g U _L	6.36
Potable storage tank volume	250 liter
House area	99.174 m ²
Working fluid of system	Water
Specific gravity of working fluid	1
Specific heat of working fluid	4187 kJ/kg°C

4. 結果 및 考察

本 研究에서 사용한 氣象資料는 1971年부터 1980年까지의 10年間의 平均年에 의한 標準氣象데이터이다. 平均年의 算出은 日本의 空氣調和·衛生工學會에서 개발한 平均月選定法에 의하여 구하였다. 算出方法은 10年間의 氣象資料로부터 구한 負荷計算結果에 가장 近似한 平均값을 가진 平均月을 選定하여 이들로써 平均年을 構成하는 것이다. Fig. 3은 平均年의 溫度分布를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 4는 平均年의 1日 日射量을 나타낸 것이다.

Fig. 5는 集熱器設置傾斜角의 變化에 따른 太陽依存率을 나타낸 것이다. 集熱器面積과 蓄熱槽容量의 變化에 따라 약간의 差異가 있으나 最適傾斜角은 40°~50° 사이에 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 集熱器設置傾斜角의 變化에 따른 暖房 및 給湯太陽依存率의 變化를 나타낸 것이며 給湯의 경우가 暖房보다 太陽依存率이 높다. 따라서 平板型集熱器를 使用한

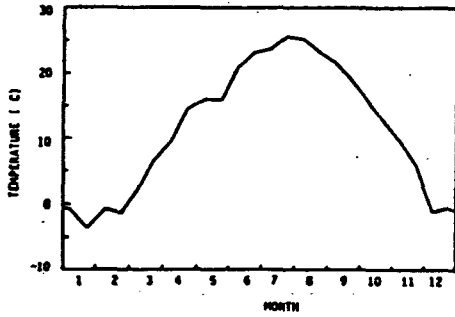


Fig.3 Variation of ambient temperature

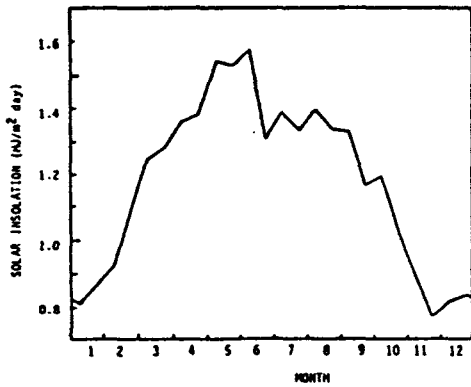


Fig.4 Variation of daily solar insolation

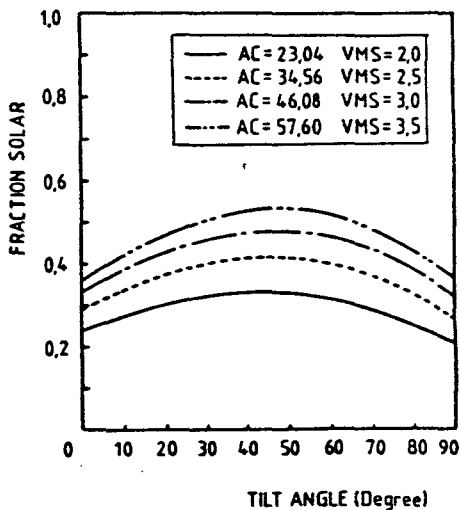


Fig.5 Effect of tilt angle of collector on the performance of solar system

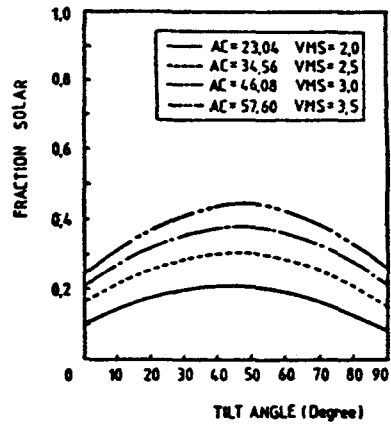


Fig.6 Effect of tilt angle of collectors on the performance of solar space heating system

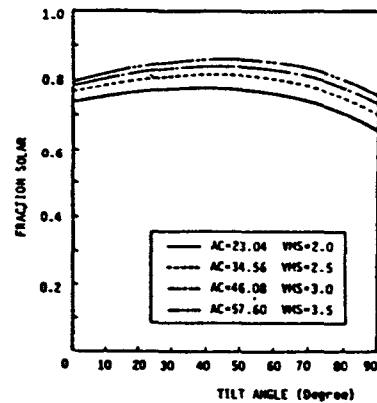


Fig.7 Effect of tilt angle of collector on the performance of domestic hot water system

시스템의 太陽에너지 利用은 暖房보다는 給湯 시스템으로 하는 것이 바람직하다.

Fig. 8은 集熱器面積을 23.04㎡에서 46.08㎡까지 하였을 때의 蓄熱槽容量 變化에 따른 太陽依存率의 變化이다. 蓄熱槽容量이 1㎡까지는 太陽依存率이 急激하게 增加하고, 3㎡까지는 緩慢하게 增加하며, 3㎡이상에서는 增加量이 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 蓄熱槽容量이 3㎡이상인 경우에는 容量을 增加시켜도 性能의 改善이 없음을 뜻한다. Fig. 9는 蓄熱槽容量의 變化에 따른 價値率의 變

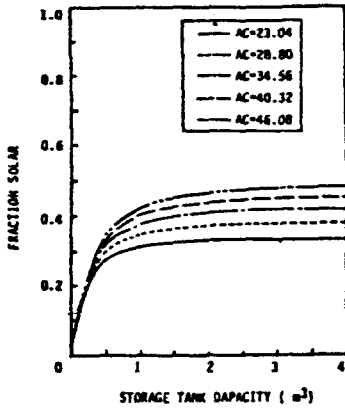


Fig.8 Effect of storage tank capacity on the fraction solar

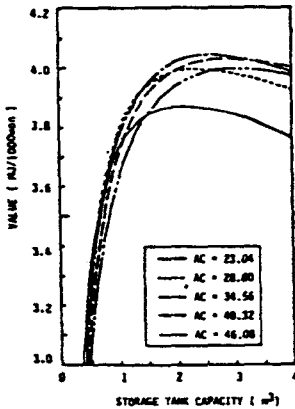


Fig.9 Effect of storage tank capacity on the value

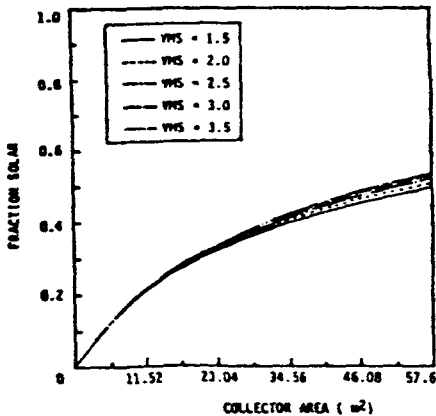


Fig.10 Effect of collector area on the fraction solar

화를 나타낸 것이다. 集熱器面積이 넓을수록 蓄熱槽容量이 더 큰값에서 價値率의 最大값이 있는 것을 알 수 있다. 시스템 價値率의 最大값은 集熱器面積이 34.56 m^2 이고, 蓄熱槽容量이 2.5 m^3 인 경우로 나타났다.

Fig.10은 蓄熱槽容量을 1.5 m^3 에서 3.5 m^3 으로 하였을 때 集熱器面積의 變化에 따른 太陽依存率의 變化를 나타낸 것이다. 여기서 蓄熱槽容量의 差異에 따른 太陽依存率의 差異는 그리 크지 않는것을 알 수 있다. 또한 集熱器面積이 28.80 m^2 이상에서는 太陽依存率在 거의 一定하였다. 그러므로 太陽依存率은 蓄熱槽容量보다는 集熱器面積에 더 큰 影響을 받고 있음을 알 수 있다. Fig.11은 集熱器面積의 變化에 따른 價値率을 나타낸 것이다. Fig.11 또한 蓄熱槽容量이 클수록 集熱器面積이 더큰 값에서 價値率의 最大값이 있음을 알 수 있다. 또한 여러가지 시스템을 比較하였을때 價値率의 最大값은 蓄熱槽容量이 2.5 m^3 이고, 集熱器面積이 34.56 m^2 일때로 나타나 Fig.9의 경우와 一致하는 結果를 나타내었다.

Table 4는 集熱器面積과 蓄熱槽容量의 여러가지 경우에 대한 시스템形式에 따른 結果값들을 나타낸 것이다. 시스템의 太陽依存率을 높이기 위하여는 集熱器面積 및 蓄熱槽容量이 작은 경우에는 直接暖房方式보다는 再循環暖房方式이 더 效果的이며, 集熱面積과 蓄

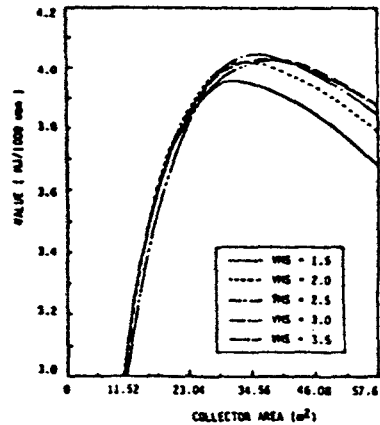


Fig.11 Effect of collector area on the value

Table 4 Results the several design with a house area 99.174m², latitude 37.6°

Tile Angle	Coll. Area (m ²)	Stor. Vol. (m ³)	Mode	Total Heat Demand (GJ/hr)	Heat Provide by Solar (GJ/hr)	Fraction Solar
45	23.04	2.0	1	67.6	22.9	0.339
45	23.04	2.0	2	67.6	22.5	0.333
45	23.04	2.0	3	67.6	22.8	0.337
45	23.04	2.0	4	67.6	22.4	0.331
45	34.56	2.5	1	67.6	28.5	0.422
45	34.56	2.5	2	67.6	28.2	0.417
45	34.56	2.5	3	67.6	28.3	0.419
45	34.56	2.5	4	67.6	28.0	0.415
45	46.08	3.0	1	67.6	32.9	0.486
45	46.08	3.0	2	67.6	32.6	0.482
45	46.08	3.0	3	67.6	32.7	0.483
45	46.08	3.0	4	67.6	32.4	0.479
45	53.60	3.5	1	67.6	36.4	0.539
45	53.60	3.5	2	67.6	36.2	0.536
45	53.60	3.5	3	67.6	36.2	0.536
45	53.60	3.5	4	67.6	36.0	0.532

蓄熱槽容量이 커질때는 差異가 점점 작아졌다. 이것은 蓄熱能力이 적은 경우에는 再循環暖房方式이 有用하다는 것을 의미한다. 두가지 경우를 모두 適用시킨 경우 시스템의 太陽依存率은 그렇지 않은 경우보다 1%정도 增加하였다. 이것은 이러한 過程들을 使用하여도 性能이 크게 개선되지 않는다는 것을 뜻하는 것이며, 그 이유는 直接暖房方式이나 再循環暖房方式이 일시적으로는 補助加熱量을 減少시키지만 또한 蓄熱槽로 들어가는 熱量을 적게 하기 때문에 얼마후에는 더 많은 量의 補助加熱量이 必要하게 되기 때문이라는 것을 알 수 있다.

Table 5는 蓄熱槽의 熱損失이 시스템의 性能에 미치는 影響을 나타낸 것이다. 蓄熱槽를 住宅內部에 設置한 경우에는 熱損失量은 그대로 暖房에 利用되는 것으로 볼 수 있으므로 熱損失이 없는것으로 하였으며 地下에 設置한 경우에는 蓄熱槽 外部의 溫度로써 給水の 溫

Table 5 Effect of a heat loss on a tank buried in the ground

Collector Area (m ²)	Storage Volume (m ³)	Fraction Solar	
		No Heat Loss	With Heat Loss
23.04	2.0	0.331	0.303
34.56	2.5	0.415	0.390
46.08	3.0	0.479	0.456
57.60	3.5	0.532	0.494

도를 適用하였다. 蓄熱槽를 住宅內部에 設置한 경우에는 地下에 設置한 경우보다 3%정도 太陽依存率이 增加하였다.

Table 6은 蓄熱槽에서 熱損失이 있는 경우에 直接暖房方式과 再循環暖房方式이 시스템의 性能에 미치는 影響을 나타낸 것이다. Table 4의 경우와 비교하여 보면 蓄熱槽에서 熱損失이 있는 경우가 없는 경우보다 直接暖房方式과 再循環暖房方式의 適用 有無에 따른 太陽依存率의 差異가 다소나마 크게 나타났다. 이것은 이들 過程을 수행함으로써 蓄熱槽로 들어가는 熱量을 줄이기 때문이라는 것을 알 수 있다.

Table 6 Effect of direct heating and recirculation on performance when storage tank is buried in the ground

Collector Area(m ²)	Storage Volume(m ³)	Mode	Fraction Solar
23.04	2.0	1	0.314
23.04	2.0	2	0.305
23.04	2.0	3	0.312
23.04	2.0	4	0.303
34.56	2.5	1	0.399
34.56	2.5	2	0.393
34.56	2.5	3	0.396
34.56	2.5	4	0.390
46.08	3.0	1	0.465
46.08	3.0	2	0.459
46.08	3.0	3	0.462
46.08	3.0	4	0.456
57.60	3.5	1	0.502
57.60	3.5	2	0.498
57.60	3.5	3	0.499
57.60	3.5	4	0.494

Table 7과 Table 8은 形式①과 形式④로서 性能을 計算한 경우의 時間別 結果들이다. Table 8에서는 施行 初期 즉 1月1日 1時부터 蓄熱槽의 溫度가 계속 上昇하며 이것은 補助加熱로 인한 熱量이 蓄熱槽로 들어가기 때문이다. 이 상태는 直接暖房方式과 再循環暖房方式이 모두 適用되지 않은 既存 시스템의 作動狀態이다. 再循環暖房方式은 Table 7에 나타나 있다. 蓄熱槽의 溫度는 1時부터 9時까지 3.8℃는 계속 維持하고 있다. 이것은 暖房器에서 나오는 流體가 다시 補助加熱器로 移動되는 再循環暖房方式이 수행되기 때문이

과 再循環暖房方式에 대한 性能分析을 하였다. 그 結果, 이러한 過程들로서 性能을 다소간 향상시킬 수 있었으며, 두가지 過程을 複合하여 適用한 경우가 가장 큰 性能向上이 있었다. 또한 研究對象地域으로 서울을 選擇하여 100 m^2 (30 坪) 太陽熱住宅에 대하여 性能分析을 한 結果 시스템의 最適設計條件은 다음과 같았다.

集熱器의 設置傾斜角은 45° 前後, 集熱面積은 34.56 m^2 , 蓄熱槽의 容量은 2.5 m^3 으로 設計하는 것이 시스템效率 및 經濟的인 側面에서 가장 良好하였다. 또한 蓄熱槽는 室內에 設置하여 熱損失을 回收하는 것이 效果的이다.

끝으로 이 프로그램은 시스템의 性能값들은 每時間別로 구할 수 있으므로 實驗裝置를 통하여 얻는 測定값들과 比較할 수 있으리라 豫想된다.

參 考 文 獻

1. J. Ericsson, Contributions to Centennial Exhibition, John Ross & Co., New York, 1876.
2. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Energy Thermal Process, New York, John Wiley and Sons, Inc., 1974.
3. H.C. Hottel and B.B. Woertz. "The Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors", Trans. ASME, Vol. 64, pp. 91-104, 1942.
4. H.C. Hottel and A. Whillier, "Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance", Trans. Conf. Use. Solar Energy, Univ. of Arizona, pp. 74-104, 1955.
5. R.W. Bliss, "The Derivations of Several Plate-Efficiency Factors Useful in the Design of Flat-Plate Solar Heat Collectors," Solar Energy, Vol. 3, pp. 55-64, 1959.
6. H. Tabor, "Solar Energy Collector Design with Special Reference to Selective Radiation". Bulletin of the Research

- Council of Israel, Vol. 5C, pp. 5-27, 1955.
7. S.W. Moore, J.D. Balcomb and J.C. Medstrom, "Design and Testing of a Structurally Integrated Steel Solar Collector Unit Based on Expanded Metal," Paper Presented at Ft. Collins ISES meeting, August 1974.
8. S.A. Klein, W.A. Beckman and J.A. Duffie, "TRNSYS—A Transient Simulation Program", ASHRAE Trans., Vol. 82, Part 1, pp. 623-633, 1976.
9. C.B. Winn, G.R. Johnson and T.E. Corder, "SIMSHAC-Simulation Program for Solar Heating & Cooling of Buildings," Journal of Simulation, December 1974.
10. M.W. Fanning, "Evaluation of the FCHART/SLR Solar Design Process", ASHRAZ Trans., To-82-7, No. 2, pp. 890-907, 1982.
11. W.A. Beckman, J.A. Duffie, S.A. Klein and J.W. Mitchell, "F-Load, a Building Heating-Load.
12. 李永秀, 徐廷一, "小規模 太陽熱 給湯시스템의 最適設計에 관한 研究", 大韓機械學會論文集, Vol. 8, No. 6, pp. 517-525, 1984.
13. 李永秀, 徐廷一, "시뮬레이션에 의한 太陽熱 暖房의 最適設計에 관한 研究", 空氣調和, 冷凍工學, Vol. 14, No. 3, pp. 175-186, 1985.
14. J.F. Kreider and Frank Kreith, Solar Heating and Cooling: Engineering, Practical Design and Economics, New York, McGraw-Hill Book Co., 1975.
15. 太陽熱 給湯시스템 開發研究, 韓國動力資源研究所, KE-82T-26, 1982.
16. 金斗千, "動的 熱負荷計算用 서울의 標準 氣象데이터", 空氣調和, 冷凍工學, Vol. 13, No. 4, pp. 254-267, 1984.