

|||||||
論 文
|||||||

시뮬레이션에 의한 太陽熱 暖房의 最適設計에 관한 研究

徐 廷 一*, 李 永 秀**

The Analysis of Optimum Design Parameters for a Solar Space
Heating System through Computer Simulation

Jeong Il Seoh*, Young Soo Lee**

ABSTRACT

This paper presents a method for estimating the useful output of solar space heating system and estimates their performance with variance of collector size, storage volume, collector tilt and other factors. The analysis is performed by the computer simulation and by "running" conceptual systems against solar intensities and ambient temperature for a model year stored in a computer. System performance is analyzed on monthly and yearly basis respectively and at the same time, the economics of various systems are evaluated. And also, this paper shows how an optimized design can be selected for any locality for which solar data, economic parameters and system performance are provided. It is shown that storage volume of 75 liter per m^2 of solar collector lead to the best design.

* 正會員, 漢陽大學校 工科學

** 漢陽大學校 大學院

記號說明

A : 太陽熱 集熱器 面積(m^2)
 A' : 初期投資費의 壽命價(won)
 B' : 運轉費用의 壽命價(won)
 C : 初期 投資費(won)
 C_{min} : 熱交換器의 最小 熱容量 率($w/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 C_p : 熱傳達媒體 比熱($KJ/kg \text{ } ^\circ C$)
 d : 割引率(%)
 D : 一日 給水使用量(liter)
 D' : 太陽熱 燃料 節減費의 壽命價(won)
 DD : 月別 暖房度日($^\circ C \text{ day}$)
 E : 總補助熱量(KJ)
 e : 燃料價 上昇率(%)
 E' : 基準年度의 年間 太陽熱 節減費(won)
 f : 月別 太陽依存率
 F : 年間 太陽依存率
 F_R : 集熱效率 修正係數
 $F_{R'}$: 集熱 熱交換 效率係數
 $F_{R'}/F_R$: 集熱 熱交換 效率修正係數
 G : 集熱媒體 流量(kg/s)
 H : 水平面 日射量($J/day \cdot m^2$)
 H_d : 擴散 日射量($J/day \cdot m^2$)
 H_o : 天空 日射量($J/day \cdot m^2$)
 H_T : 南向 傾斜面 日射量($J/day \cdot m^2$)
 i : 一般 物價上昇率(%)
 I_{sc} : 太陽常數
 K_T : 天空日射量에 대한 水平面日射量 比
 L : 月別 總熱負荷($KJ/month$)
 L_s : 月別 暖房負荷($KJ/month$)
 L_w : 月別 給湯負荷($KJ/month$)
 m : 整備, 保修 및 保險費用 比率(%)
 N : 物價-割引係數, 月間 日數
 n : 시스템의 壽命期間(Year)
 p : 貸付期間(Year)
 Q_t : 月間 太陽熱 可用集熱量(KJ)
 Q_w : 太陽熱 集熱量(KJ)
 R : 水平面에 대한 傾斜面日射量 比

r : 貸付利率(%)
 R_b : 水平面에 대한 傾斜面의 直達日射量 比
 s : 水平面에 대한 南向 傾斜角
 S' : 自己資本 比率
 T_a : 外氣溫度($^\circ C$)
 T_i : 集熱器 入欺溫度($^\circ C$)
 T_o : 集熱器 出口溫度($^\circ C$)
 T_{ref} : 基準溫度($100 \text{ } ^\circ C$)
 U_L : 集熱器 熱損失係數($w/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 UA : 建物の 總熱損失率(w/c)
 w_s : 水平面 日沒時間角
 w'_s : 傾斜面 日沒時間角
 ϕ : 緯度
 δ : 黃道 傾斜角
 $(\tau\alpha)$: 透過 一吸收率
 $(\tau\alpha)_b$: 月平均 直達輻射 透過 一吸收率
 $(\tau\alpha)_d$: 月平均 擴散輻射 透過 一吸收率
 $(\tau\alpha)_n$: 法線入射時 透過 一吸收率
 $(\tau\alpha)_r$: 月平均 反射輻射 透過 一吸收率

1. 序 論

自然이 人間에게 附與하는 많은 에너지源中 太陽에너지는 一般으로 어느 곳에서나 쉽게 얻을 수 있고 熱源도 거의 無限하기 때문에 世界各國에서는 그들 政府의 支援下에 研究가 활발히 進行되고 있다.

國內에서는 1977年 動力資源部의 發足과 더불어 太陽에너지에 관한 研究에 많은 關心을 갖게 되었으며, 現在는 實驗的인 太陽熱 住宅이 出現하고 있다. 우리나라는 年中 日照時間이 比較的 길고 淸明한 날이 많은 관계로 太陽熱의 集熱過程에 있어 좋은 條件下에 있다. 특히 暖房과 給湯은 低溫의 열에너지를 使用하는 점에서 代替에너지 시스템중 에너지 轉換效率이 높다.

太陽熱 시스템에 있어서 集熱面積은 集熱量을

決定하는 重要因子로서 負荷에 따라 크기가 決定되며 集熱量은 集熱面積에 線型的으로 比例하지 않으므로 氣象條件, 集熱 및 蓄熱裝置의 性能, 暖房 및 給湯負荷等を 考慮하여 求하여야 한다. Ward와 Löf^{1,2)}는 集熱面積에 따른 太陽熱 시스템의 熱의 性能과 經濟性에 關하여 研究하였고, Rao와 Suri³⁾ 小規模 溫水 裝置를 利用하여 集熱面積에 따른 1日間の 集熱量 增加值를 求하여 集熱面積의 增加에 따라 集熱量은 增加하나 比率는 減少함을 밝혔다. 또한 Óonk와 Löf⁴⁾, Beckman 등⁵⁾은 代表的 太陽熱系統의 模型을 設定하여 動的 熱舉動에 對한 數學的 表現과 그 解를 얻기위한 프로그램을 作成하여 系統性能에 必要한 設計資料를 얻도록 試圖하였다.

本 研究에서는 太陽熱 暖房시스템의 性能解析 및 시스템 設計에 影響을 미치는 重要因子값들을 江陵, 서울, 秋風嶺 및 木浦地方의 氣象資料, 시스템 構成器機의 性能 및 容量, 熱負荷등을 函數로 開發한 시뮬레이션 方法에 依하여 求하였고, 經濟性分析은 시스템의 設置 및 運轉費用과 太陽熱 節減費用등의 經濟性 係數를 고려한 壽命價法을 使用하였다.

以上の 結果를 토대로 平板型集熱器를 利用한 太陽熱 暖房시스템 設計의 最適條件을 提示하고자 하였다.

2. 理論解析

2.1 傾斜面日射量, 性能 및 設備方向

平板型 集熱器의 集熱量 Q_U 는 다음과 같은식에서 얻을 수 있다.⁶⁾

$$Q_U = F_R A \{ H_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_o) \} \\ = AGC_p (T_o - T_i) \dots \dots \dots (1)$$

太陽熱시스템에서 集熱器는 시스템의 性能을 향상시키기 위하여 적정한 方位 및 傾斜角으로 設置하여야 한다. 그러나 傾斜面日射量에 대한 測

定資料가 마련되어 있지 않으므로 水平面 日射量으로부터 計算할 수 밖에 없다. 傾斜面에서의 日射量을 算定하는 方法은 Liu와 Jordan⁷⁻⁹⁾에 의해서 考案되었고 다음 式으로 計算된다.

$$H_T = R \cdot H = RK_T H_o \dots \dots \dots (2)$$

여기서 R 은 各 日射成分別로 다음과 같이 表示된다.

$$R = (1 - H_d/H) R_b + (H_d/H) \\ (1 + \cos S)/2 + \rho (1 - \cos S)/2 \dots (3)$$

이 式에서 첫번째항은 直達輻射에 關한 것이고, 두번째항은 擴散輻射, 세번째항은 地面으로 부터 集熱器에 도달되는 反射輻射에 關한 것이다. 또한 H_d/H 는

$$H_d/H = 1.390 - 4.027 K_T + 5.531 K_T^2 \\ - 3.108 K_T^3 \dots \dots \dots (4)$$

이다. H_d 에 대한 實際測定値는 거의 測定되어 있지 않기 때문에 使用할 수 없으므로 H_d 는 水平面 日射量에 대한 測定資料로 부터 算定한다. 즉 水平面日射量에 대한 擴散日射量 比 H_d/H 는 天空 水平面日射量에 대한 地表 水平面日射量의 比 K_T 의 函數이다.

$$K_T = H/H_o \dots \dots \dots (5)$$

여기서 天空日射量이란 空氣가 없는 상태로 가정한 水平面에 入射된 에너지량을 말한다. 이것은 다음 式으로 計算될 수 있다.

$$H_o = 1 / (m_2 - m_1) \sum_{n=m_1}^{m_2} (H_o)_n \dots \dots \dots (6) \\ (H_o)_n = (24/\pi) I_{sc} \{ 1 + 0.033 \cos(360 n/365) \} \\ \{ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s (\pi/180) \sin \phi \\ \sin \delta \} \dots \dots \dots (7)$$

또한 R_b 는 水平面에 대한 傾斜面에서의 直達日射量의 比로써 計算된다.

$$R_b = [\cos(\phi - S) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \\ \omega'_s \sin(\phi - S) \sin \delta] / [\cos \phi \cos \delta \\ \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \phi \sin \delta] \dots \dots (8)$$

여기서

$$\omega'_s = \min [\omega_s, \ar \cos \{ - \tan(\phi - S) \tan \delta \}] \\ \dots \dots \dots (9)$$

式(8)에서 R_b 값은 集熱面의 向이 南으로 부터

東 또는 西쪽으로 15° 정도가 되더라도 거의 차이가 크게 나지 않는다. 그러나 集熱面이 南向으로 부터 15°이상의 方位角을 가지면 Klein¹⁰⁾이 제시한 方式으로 구하여야 한다.

$$R_b = [\cos s \sin \delta \sin \phi] (\pi/180) (w_{ss} - w_{sr}) - (\sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma) (\pi/180) (w_{ss} - w_{sr}) + (\cos \phi \cos \delta \cos s) (\sin w_{ss} - \sin w_{sr}) + (\cos \delta \cos \gamma \sin \phi \sin s) (\sin w_{ss} - \sin w_{sr}) - (\cos \delta \sin s \sin \gamma) (\cos w_{ss} - \cos w_{sr}) / [2(\cos \phi \cos \delta \sin w_s + (\pi/180) w_s \sin \phi \sin \delta)] \dots (10)$$

$r > 0$ 이면

$$w_{sr} = -\min \{ w_s, \arccos \left[\frac{(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1})}{(A^2 + 1)} \right] \} \dots (11)$$

$$w_{ss} = -\min \{ w_s, \arccos \left[\frac{(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1})}{(A^2 + 1)} \right] \} \dots (12)$$

$r < 0$ 이면

$$w_{sr} = -\min \{ w_s, \arccos \left[\frac{(AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1})}{(A^2 + 1)} \right] \} \dots (13)$$

$$w_{ss} = \min \{ w_s, \arccos \left[\frac{(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1})}{(A^2 + 1)} \right] \} \dots (14)$$

$$A = \cos \phi / (\sin \gamma \tan s) + \sin \phi / \tan \gamma \dots (15)$$

$$B = \tan \delta [\cos \phi / \tan \gamma - \sin \phi / (\sin \gamma \tan s)] \dots (16)$$

또한 集熱器의 性能은 보통 集熱效率 η 로 表示되며 다음과 같다.

$$\eta = Q_u / AH_T = GC_p (T_o - T_i) / H_T = F_R (\tau \alpha)_n - F_R U_L (T_i - T_o) / H_T \dots (17)$$

또한 集熱器의 設置方向은 $(\tau \alpha)_n$ 에 대한 實際 月平均 透過吸收率 $(\tau \alpha)$ 의 比로 表示되며 日射量을 構成하고 있는 直達輻射, 擴散輻射 및 地面反射輻射의 成分별로 다음과 같이 表示된다.

$$(\tau \alpha) / (\tau \alpha)_n = (1 - H_d / H) (R_b / R) \{ (\tau \alpha)_b / (\tau \alpha)_n \} + (H_d / H) (1 / R) (1 + \cos s) / 2 \{ (\tau \alpha)_d / (\tau \alpha)_n \} + g (1 / R) (1 - \cos s) / 2 \{ (\tau \alpha)_r / (\tau \alpha)_n \} \dots (18)$$

2.2 시스템 熱的性能

시스템의 月間 에너지平衡式은 다음과 같다.

$$Q_t - L + E = \Delta U \dots (19)$$

시스템에 使用되는 蓄熱槽의 크기로는 月間 ΔU 가 Q_t , L 및 E 에 비하여 대단히 적으므로 零으로 간주된다. 이렇게 될 경우 太陽熱 依存率 f 는 다음과 같이 計算된다.

$$f = (L - E) / L = Q_t / L \dots (20)$$

式(20)에서 Q_t 는 太陽熱 集熱器에 입사되는 太陽 에너지, 外氣溫度 및 熱負荷와 함수관계에 있기 때문에 f 를 직접 計算해낼 수 없다. 즉 f 는 두 無次元變數의 函數이고 다음과 같다.

$$X = F_R U_L (F_{R'} / F_R) (T_{ref} - T_o) \Delta t A / L \dots (21)$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n (F_{R'} / F_R) (\tau \alpha) / (\tau \alpha)_n H_T AN / L \dots (22)$$

여기서 $F_{R'} / F_R$ 값은 集熱器의 性能係數, 熱傳達 媒體의 流量 및 集熱 熱交換器 有效係數 (ϵ_c)의 函數로써 결정된다.

$$F_{R'} / F_R = 1 / [1 + (F_R U_L / GC_p) (AGC_p / \epsilon_c C_{min} - 1)] \dots (23)$$

또한 ϵ_c 는 最大可能 熱傳達率에 대한 實際熱傳達率의 比로서 다음과 같이 表示된다.

$$\epsilon_c = (GC_p)_c (T_o - T_i) / (GC_p)_{min} (T_o - T_i) \dots (24)$$

F-chart 法은 太陽依存率 f 와 두 無次元變數 X 와 Y 의 關係를 그래프나 式으로 나타내어 太陽熱시스템의 性能을 구할 수 있도록 한 것인데 液體式시스템의 경우 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$F = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^2 (0 < Y < 3, 0 < X < 18) \dots (25)$$

여기서 f 의 값은 月別 太陽熱 依存率이므로 年間 太陽熱 依存率은 月別 太陽熱 依存率의 合算 값을 年間 熱負荷로 나누어 구한다.

2.3 熱負荷

太陽熱 시스템의 長期性能을 산정하기 위하여 月別 熱負荷를 計算하여야 한다. 熱負荷는 建物이 위치한 地域과 建築設計, 向, 構造體의 種類와 밀접한 관계가 있으므로 精確한 計算을 하기 위해서는 상세한 資料들이 필요하다. 本 研究에서는 標準住宅으로 선정된 30坪 住宅을 강릉, 서울, 추풍령 및 목포地方에 建築한다고 假定하여 다음과 같은 方法으로 暖房負荷를 計算하였다.

$$L_s = UA \times DD \dots\dots\dots (26)$$

여기에서 暖房度日값(DD)은 1日 最高 및 最低溫度로서 計算되는 日平均 外氣溫度와 設定溫度 18°C와의 差이다. 室內溫度를 18°C로 보는 理由는 建物內의 電燈이나 취사 또는 人體 등에서 發生되는 熱과 窓門을 통하여 入射되는 太陽熱에 의해서 室內設定溫度 18°C로 부터 適正溫度 22°C까지 충분히 올라간다고 보기 때문이다. 給湯負荷는 특히 住居者의 生活樣式과 밀접한 관계가 있다. 여기서는 一般住宅에서 1人當 1日 溫水使用量을 60°C의 50 liter로 假定하여 다음 式으로 計算하였다.

$$L_w = DNC_p \varrho (T_s - T_m) \dots\dots\dots (27)$$

2.4 經濟性分析

太陽熱 시스템의 적정한 規模를 결정하기 위해서 經濟性分析은 반드시 수행되어야 한다. 보다 實際的인 經濟性을 分析하기 위해서 將來에 소 요될 것으로 예상되는 모든 費用이 고려된 壽命價 算定法을 利用하였다. 우선 太陽熱 시스템의 設置에 드는 初期 投資費 C의 일부를 貸付金에 의하고 나머지를 自己資本에 의할 경우 이 費用의 壽命價는 다음과 같이 計算된다.

$$A' = C \cdot S' + C(1 - S') \sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{1+d}\right)^k / \sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{1+r}\right)^k \dots\dots\dots (28)$$

이 式은 初期 投資費用중 貸付金에 대한 原利債

還金を 投資시점으로 환산한 現在價의 합산치와 自己資本 費用을 더한 것이다.

太陽熱 시스템의 運轉에 드는 費用 mc의 壽命價는 一般物價上昇率 i와 割引率 d로서 다음과 같이 計算된다.

$$B' = mc \sum_{k=1}^N \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+d)^k} \dots\dots\dots (29)$$

또한 太陽熱 시스템으로 年間 대체되는 燃料費用 E의 壽命價는 다음과 같다.

$$D' = E' \sum_{k=1}^N \frac{(1+e)^{k-1}}{(1+d)^k} \dots\dots\dots (30)$$

여기서 壽命價라 함은 어떤 投資對象의 壽命期間 동안의 支出費用 또는 利得費用을 投資시점의 現在價로 환산한 總額을 의미한다. 이들 壽命價를 支出 또는 利得부분으로 구분하여 다음과 같은 等式으로 나타낼 수 있다.

$$A' + B' = D' \dots\dots\dots (31)$$

式(28), (29) 및 (30)의 Σ項은 支出 또는 利得費用이 單位期間 初의 것이나, 單位期間末에 이 費用이 發生한다고 하여 기준시의 現在價로 환산한다는 것이다. 이것은 物價割引係數로 다음 式으로 表示된다.

$$F(N, i, d) = \sum_{k=1}^N \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+d)^k} = [1/(d-i)][1-(1+i)/(1+d)]^N, (i \neq d) = N/(1+d), (i = d) \dots\dots (32)$$

이상의 式으로 부터 여러가지의 損益分岐 값을 구할 수 있으며 이 損益分岐 값으로 經濟性的의 有無判斷 및 比較分析을 할 수 있다.

3. 시스템 모델에 대한 시뮬레이션

위에서 說明한 基本支配方程式을 利用하여 太陽熱 시스템의 적정규모를 集熱器의 設置面積으로 부터 구할 수 있도록 하였다.

本 研究에서 使用한 컴퓨터는 VAX 11/780 시스템으로 용어는 VAX-FORTRAN, BASIC이

다. 이 프로그램에서는 氣象資料, 시스템設計資料 및 經濟性分析 資料가 入力資料로서 필요한데, 氣象資料는 中央氣象臺 觀測資料인 月別 水平面日射量 (1972~1982)에서 日射量을 얻었고, 外氣溫度는 韓國氣候表 (1951~1980)에서 얻었다. 시스템 設計資料는 Table 1에 있고, 經濟性 分析資料는 Table 2에 나타나 있다.

4. 結果 및 考察

Fig.1에서 A는 서울地方의 年間 太陽依存率을 集熱器面積의 函數관계로 나타낸 것으로 集

熱量은 集熱面積에 正比例하지 않으며 그 增加比가 減少하는 事實을 알 수 있다. B는 貯藏탱크 容量을 2배로 增加시켰을 경우인데 太陽依存率이 最大 4%에서, 最小 1% 增加로 나타났으며 集熱面積 40 m²에서 最大 增加함을 알 수 있다. 또한 C는 탱크容量을 1/2 배로 減少시켰을때 集熱面積 60 m² 이내에서는 2~4% 減少하다가 面積 80 m²에서부터 서서히 增加하여 100 m²에서는 依存率이 100%로 나타났다. 이와 같은 現象은 集熱面積에 비하여 탱크容量이 현저히 적기 때문에 나타나는 現象으로 判斷된다.

Table 3에서 첫번째 例는 集熱器 面積이 전혀

(Table 1) Specification of Properties and Initial Conditions for the Seoul Simulation.

Location Seoul	Latitude = 37.6°N
Building Heating and Hot Water Load	
Design Heat Loss Rate	144.5 Kcal/hr °C
Winter Design Temp.	-17.1°C
Avr. Hot Water Consump.	250 Liter/Day
Avr. Cold Water Temp.	13.2°C
Avr. Hot Water Supply Temp.	60°C
Collector Subsystem Data	
Collector Type is	Flat and Selective
No. of Cover Plates	1
Collector Area	40m ²
Tilt Angle	45°
Azimuth Angle	180°
Collector Shading	0.0%
Collector Efficiency Data	
B	0.679
Slope	4.29 W/m ² °C
Reference Temp. Base	T _{in}
Fluid Composition	50% Ethylene Glycol/Water
Specific Heat	3.4332 KJ/kg °C
Specific Gravity	1.05
Volummetric Flow Rate	54 Liter/m ² hr
Storage Subsystem Data	
Volume	75 Liter/m ²
Storage Medium	Water
Specific Heat	4.1868 KJ/kg °C
Specific Gravity	1
Coll/Storage Heat Exchanger Effectiveness	0.7
Hot Water Preheat Storage Volume	250 Liter
Load Heat Exchanger Effectiveness	0.8

(Table 2) Economic Parameter and Input Data for the Solar Space Heating System.

Annual Mortgage Interest Rate	0.10
Term of Mortgage	20 Yrs.
Down Payment (as fraction of investment)	0.40
Collector Area Dependent Costs	150,000 Won/m ²
Area Independent Cost	886,000 Won/m ²
Present Cost of Solar Backup System Fuel	278 Won/liter
Present Cost of Conventional System Fuel	278 Won/liter
Efficiency of Solar Backup Furnace	0.70
Efficiency of Conventional System Furnace	0.70
Property Tax Rate (as fraction of investment)	0.0135
Effective Income Tax Bracket (State + Federal State x Federal)	0.21
Extra Ins. & Maint. Costs (as fraction of investment)	0.01
General Inflation Rate per Year	0.1
Fuel Prices Inflation Rate per Year	0.1
Discount Rate (after tax return on best alternative investment)	0.16
Term of Economic Analysis	20 Yrs
Salvage Value (as fraction of investment)	0

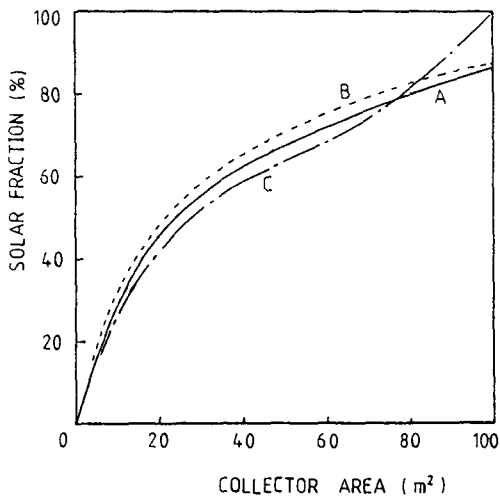


Fig.1 Annual fraction of heating loads carried by solar energy. curve A is for a system with a one-cover, selective-surface collector, B is for one with twice the storage capacity and C is the same system as A but with half the storage capacity

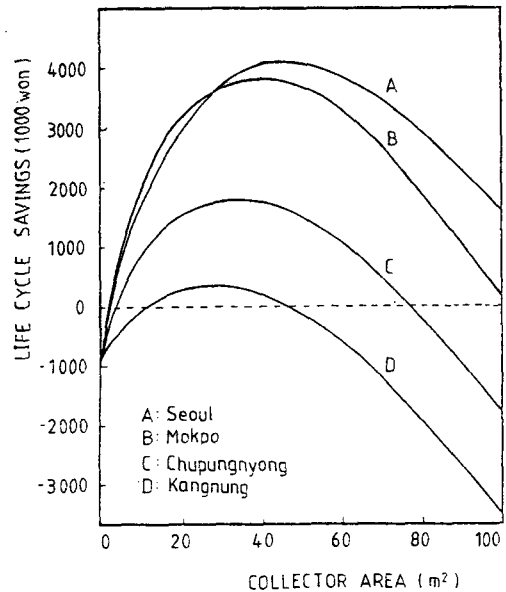


Fig. 2 Life cycle savings as a function of collector area for residential building.

(Table 3) Economic Analysis for the Seoul Simulation

Unit: Won

Collector Area	0m ²	20m ²	40m ²	60m ²	80m ²	100m ²
Investment in Solar	886,000	3,886,000	6,886,000	9,886,000	12,886,000	15,886,000
1st Year Fuel Expense	2,107,950	1,485,930	1,120,240	865,064	676,547	536,123
Fuel Savings	0	6,783,100	10,771,000	13,553,500	15,609,500	17,140,800
Expenses	867,781	3,806,090	6,744,400	9,682,710	12,621,000	15,559,300
Savings	-867,781	2,977,010	4,026,580	3,870,770	2,988,480	1,581,500

없다고 假定된 太陽熱시스템에 適用된 것이다. 2행은 시스템에 대한 投資費로써 集熱面積 關係費用과 無關費用으로부터 計算된다. 集熱面積이 0m²인 시스템에 대한 初期年度の 燃料費用은 3행의 첫번째 例에서 보여준다. 이 燃料費는 總熱負荷와 補助熱源에 사용될 燃料價 및 發熱量을 곱하여 補助熱源의 效率로 나눈 값이다. 이 燃料費는 集熱面積別 太陽依存率에 의해서 각각 減少된다. 또한 4행에 주어진 燃料節減費의 壽命價는 太陽熱과 非太陽熱에 의한 燃料費用의 차이와, 주어진 經濟性係數값에 의한 物價-割引係數를 곱한 값이다. 시스템의 壽命價는 5행에 나타나 있다. 또한 시스템의 經濟性分析에 의한 최종 결과는 6행의 太陽熱 節減費이다. 節減費가 음수로 나타날 경우에는 시스템을 設置함으로써 얻는 經濟的 效果는 오히려 損害이다.

Fig. 2는 集熱面積에 따른 太陽熱節減費를 나타낸 것이다. 集熱面積이 0m²에서는 음수이고 面積이 增加함에 따라 이 값도 커지게 되나, 集熱面積이 너무 커지면 다시 減少하게 된다. 시스템에서 가장 經濟的인 最適規模는 太陽熱節減費가 최대가 되는 集熱面積일 경우이다. 이 경우에 가장 經濟的인 規模는 서울, 추풍령, 목포지역이 集熱面積 40m²로 나타났고, 강릉地域은 20m²이다.

또한 시스템의 經濟性을 좌우하는 因子들에 대

하여 精確히 추정하기는 어렵지만, 이들 값에 의하여 산정된 結果로써 集熱面積이 40m²일 경우 現在價로 환산한 金額이 서울地域은 약 400萬원, 목포, 추풍령地域은 각각 약 380,170萬원 그리고 最適 集熱面積이 20m²인 강릉地域은 28萬원 정도 節減되는 것으로 나타났다. 이 金額은 太陽熱 시스템의 實質利得 效果라 할 수 있다.

Fig. 3은 油類價를 1 liter 당 328,278 및 228

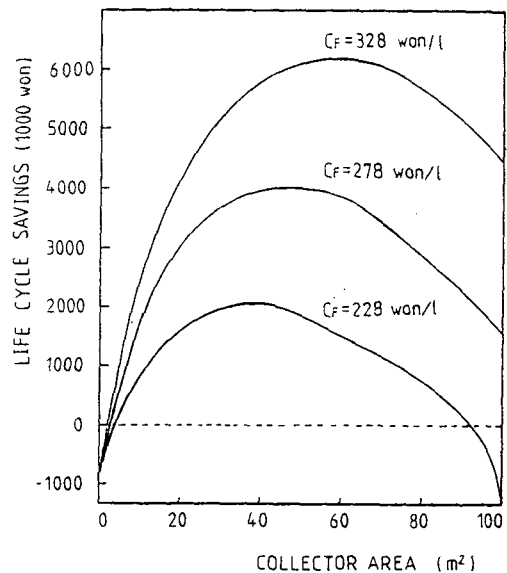


Fig. 3 Life cycle savings as a function of collector area for three different fuel costs for the Seoul Simulation.

원으로 가정한 다음 集熱器 面積의 함수로써 太陽熱 節減費를 算定하여 나타내었다. 燃料價格이 增加함에 따라 最適 集熱面積에서의 節減費는 점차 커지게 된다. 또한 예상한 것과 같이 集熱面積도 넓어지게 된다. 燃料價格이 278 원/liter 인 경우에 集熱器 面積이 增加됨에 따라가

의 全面積에서 節減費는 양수로 나타난다. 그러나 集熱面積에 대한 太陽熱 節減費 增加率は 集熱面積이 넓어짐에 따라 급격히 커지다가 어느 범위에서는 減少하므로, 가능하면 投資效果를 고려하여 太陽熱시스템의 規模를 決定하여야 한다.

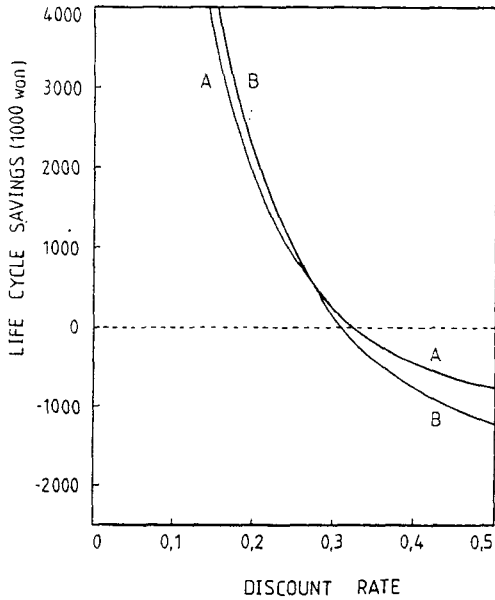


Fig. 4 Life cycle savings as a function of market discount rate for the A is 23.04m², B is for 34.56m² system.

Fig. 4는 集熱器 面積이 23.04, 34.56m²(4' × 8' 짜리 8枚, 12枚)인 경우 損益分岐 投資回收率을 나타낸 것이다. 集熱面積 23.04, 34.56m²인 太陽熱 시스템을 선정하여 太陽熱 節減費에 대한 計算에 여러 割引率을 적용함으로써 算定結果가 0이 될 때까지 되풀이 하여 구하였다. 그 結果 集熱面積 23.04m²에 대해서 損益分岐 投資回收率은 약 33%, 集熱面積 34.56m²에 대해서는 약 31%로 나타났다.

Table. 4는 集熱面積 34.56m²(4' × 8' 짜리 12枚) 일때 서울地域의 集熱器 設置傾斜角을 變化시킨 結果이다. 이때 最適 傾斜角은 47.6°에서 52.6° 사이로 나타났다. 그러므로 太陽熱 暖房을 위한 最適 設置角은 南向의 緯度+15°의 傾斜角 범위에서 設置하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

(Table 4) Effect of Tilt Angle of Collectors on the Performance of Solar Space Heating System.

Degree Month	22.6°	37.6°	47.6°	52.6°	62.6°
Jan.	0.37	0.47	0.51	0.52	0.53
Feb.	0.48	0.56	0.58	0.59	0.58
Mar.	0.65	0.68	0.68	0.67	0.64
Apr.	0.82	0.81	0.77	0.73	0.66
May	1.0	1.0	1.0	0.97	0.84
Jun.	1.0	1.0	1.0	1.0	0.98
Jul.	1.0	1.0	1.0	1.0	0.87
Aug.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Sep.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Oct.	0.93	1.0	1.0	1.0	1.0
Nov.	0.59	0.70	0.74	0.75	0.76
Dec.	0.39	0.50	0.55	0.56	0.58
Annual	0.61	0.68	0.70	0.70	0.68

Fig. 5는 集熱器 設置傾斜角을 緯度와 일치시키고, 貯藏탱크 容量을 $75 \ell/m^2$ 로 하고 集熱面積을 $10, 20, 40, 60 m^2$ 로 變化시킨 結果를 圖示한 것으로 面積이 增加할수록 시스템性能이 둔화되는 現象을 알 수 있다. 여기서 集熱面積別 太陽熱 依存率을 살펴보면 각각 32%, 49%, 65%, 74%로 나타나 集熱面積 $40 m^2$ 이 제일 適當한 것으로 판단된다.

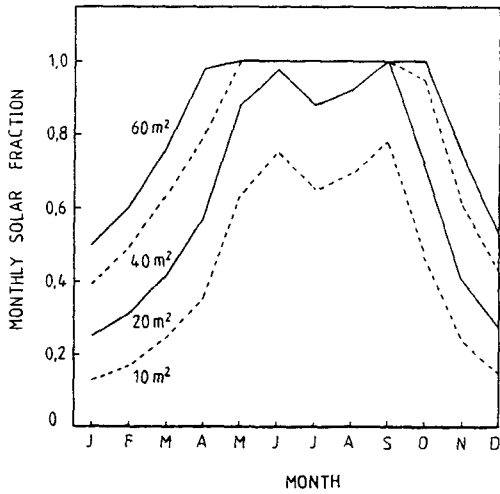


Fig. 5 Monthly fraction of loads carried by solar energy for four different collector areas for the Seoul Simulations.

Fig. 6은 4개의 集熱面積에 대한 매달의 시스템 效率를 나타낸 것이다. 여기서 시스템 效率이란 集熱器에 入射된 總熱量에 대한 實際 얻은 熱量과의 比이고, η_a 는 年平均 시스템 效率를 나타낸다. 集熱面積이 增加할수록 시스템 效率는 減少함을 알 수 있다.

Table 5는 集熱面積을 $34.56 m^2$, 集熱器 設置 傾斜角을 그 地域緯度 + 15° 로 고정시켰을때 4개 地域에 대한 月別 太陽依存率을 分析한 結果이다. 여기서 4개 地域이란 全國에서 日射量이

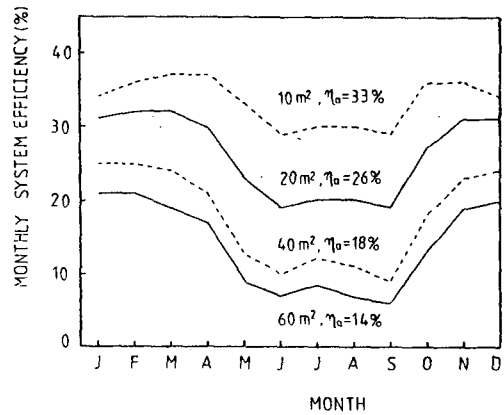


Fig. 6 Monthly system efficiencies for the fore different collector areas for the Seoul Simulations.

(Table 5) Monthly fraction of loads carried by solar energy for four different areas for the solar space heating system.

	Kangnung	Seoul	Chupungnyong	Mokpo
Jan.	0.45	0.52	0.40	0.59
Feb.	0.46	0.59	0.45	0.62
Mar.	0.46	0.67	0.59	0.72
Apr.	0.59	0.73	0.70	0.76
May	0.80	0.97	0.93	0.98
Jun.	0.92	1.0	1.0	1.0
Jul.	0.89	1.0	1.0	1.0
Aug.	1.0	1.0	1.0	1.0
Sep.	1.0	1.0	1.0	1.0
Oct.	0.81	1.0	0.86	1.0
Nov.	0.61	0.75	0.61	0.90
Dec.	0.49	0.56	0.46	0.67
Annual	0.58	0.70	0.60	0.75

제일많은 목포地域 (=3,002 kcal/m² day), 日射량이 제일적은 강릉地域 (=1,910 kcal/m² day), 中間地域인 추풍령 (=2,506 kcal/m² day) 그리고 임의의 서울地域 (=2,711 kcal/m² day)을 택한 것이다. 太陽依存率은 예상한대로 日射량이 많은 순서 즉 목포, 서울, 추풍령 및 강릉순서로 나타났고 이때 地域別 年間 太陽依存率을 살펴보면 목포 75%, 서울 70%, 추풍령 60%, 강릉 58%이다.

5. 結 論

시뮬레이션 모델을 통한 太陽熱 暖房시스템의 性能을 解析한 本 研究에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 30 坪型 太陽熱 住宅에 있어서 單位面積 (m²) 당 貯藏탱크 容量을 75 liter 로 하였을 경우 最適의 集熱面積은 서울地域이 40.32 m², 추풍령 및 목포地域이 34.56 m², 강릉地域이 28.80 m² 가 適當하고 이때 年間 太陽依存率은 서울 72%, 추풍령 60%, 목포 75% 그리고 강릉地域이 52%이다.

(2) 太陽熱 暖房을 위한 集熱器의 最適設置角은 南向의 緯度 + 15°의 傾斜角이 제일 適當하다.

(3) 地域別 最大 太陽熱 節減費는 서울 약 400 萬원, 목포 약 380 萬원, 추풍령 약 180 萬원 및 강릉地域이 약 35 萬원으로 나타나 水平面 日射량이 적어도 2,500 kcal/m² day 이상인 地域에서 太陽熱 住宅시스템을 채택하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

- (1) D.S. Ward and G.O.G. Löf, "Design and Construction of a Residential Solar Heating and Cooling System," Solar Energy, Vol. 17, pp. 13-20, 1975.
- (2) J.C. Ward and G.O.G. Löf, "Long-Term Performance of a Residential Solar Heating System," Solar Energy, Vol. 18, pp. 301-308, 1976.
- (3) S.K. Rao and R.K. Suri, "Optimization of Flat-Plate Solar Collector Area," Solar Energy, Vol. 12, pp. 531-535, 1969.
- (4) R.L. Óonk and G.O.G. Löf, "A Method of Comparing Flat-Plate Air and Liquid Solar Collectors for use in Space Heating Application," Solar Energy, Vol. 2, pp. 83-93, 1976.
- (5) W.A. Beckman, S.A. Klein and J.A. Duffie, "Solar Heating Design by the f-chart Method," John Wiley Inc., 1977.
- (6) 徐廷一 · 李永秀, "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, 第8卷, 第6號 pp.517-525, 1984.
- (7) B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator," Trans. ASHRAE, pp. 526-541, 1962.
- (8) B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation," Solar Energy, Vol. 4, 3, 1960.
- (9) B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collec-

- tors," Solar Energy, Vol. 7, pp. 53-74, 1963.
- (10) S.A. Klein, "Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces," Solar Energy, Vol. 19, pp. 325-329, 1977.
- (11) R.C. Schuert and L.D. Ryan, "Fundamentals of Solar Heating," Prentice-Hall, Inc., 1981.
- (12) H. Buchberg and J.R. Roulet, "Simulation and Optimization of Solar Collection and Storage for House Heating," Solar Energy, Vol. 12, pp. 31-50, 1968.
- (13) S.A. Klein, W.A. Beckman and J.A. Duffie, "A Design Procedure for Solar Heating Systems," Solar Energy, Vol. 18, pp. 113-127,
- (14) C.D. Barley and C.B. Winn, "Optimal Sizing of Solar Collectors by the Method of Relative Areas," Solar Energy, Vol. 21, pp. 279-289, 1978.
- (15) M.J. Brandemuehl and W.A. Beckman, "Economic Evaluation and Optimization of Solar Heating Systems," Solar Energy, Vol. 23, pp. 1-10, 1978.
- (16) M.W. Fanning, "Evaluation of the FCHART/SLR Solar Design Process," ASHRAE Trans. To-82-7, No. 2, pp. 890-907, 1982.
- (17) Albert A. Gossler, "Performance of a Developmental Space and Hot Water Heating Solar Energy System," ASHRAE Trans. C1-81-4, No. 3, 1981.
- (18) J.F. Kreider and F. Kreith, "Solar Energy Handbook," McGraw-Hill, Inc., 1981.
-