

太陽熱暖房裝置 設計를 위한 f-chart 開發

Development of f-chart for the Design of Solar Heating Systems

宋 達 淳*, 柳 盛 淵**
Dal-Sun Song, Seong-Yeon Yoo

ABSTRACT

The new f-chart capable of estimating long-term thermal performance of solar space and water heating systems was developed. The system comprise a flat plate solar collector, heat exchanger, storage tank filled with water, auxiliary fuel fired heater, and a house structure. The information obtained from many simulations of solar heating systems has been used to develop this f-chart. Actual hourly meteorological data collected in Seoul, Daejeon, Kwangju and Daegu, Korea from 1979 to 1983 have been utilized in these simulations.

The new f-equation is as follows:

$$f = 1.034Y - 0.0968X - 0.2235Y^2 + 0.0043X^2 + 0.0144Y^3.$$

The system performance estimates obtained from the developed f-chart are in close agreement with the results of experiment.

NOMENCLATURE

| | | |
|-----------|--|--|
| | | plied by solar energy |
| A_c | : collector area, m^2 | F_R' : collector-heat exchanger efficiency factor |
| C_{min} | : minimum capacitance in the load heat exchanger, $KJ hr^{-1} °C^{-1}$ | H : total radiation incident on a horizontal surface, $KJ hr^{-1} m^{-2}$ |
| E | : integrated total auxiliary energy required during the period Δt , KJ . | H_b : beam radiation incident on a horizontal surface, $KJ hr^{-1} m^{-2}$ |
| f | : fraction of the heating load sup- | H_d : diffuse radiation incident on a |

* 忠南大學校 大學院 機械工學科

** 正會員, 忠南大學校 機械設計工學科

| | | | |
|------------------|---|------------------|--|
| | horizontal surface, $\text{KJ hr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ | | ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$ |
| H_T | : total radiation incident on the (tilted) collector surface, $\text{KJ hr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ | T_m | : temperature of mains supply water, $^{\circ}\text{C}$ |
| \bar{H}_T | : monthly average of the daily radiation incident on the collector surface, $\text{KJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ | T_{\max} | : boiling temperature, $^{\circ}\text{C}$ |
| I_{SC} | : solar constant, KJ m^{-2} | T_{ref} | : reference temperature, 100°C |
| K_t | : hourly clearness index | T_R | : indoor temperature, $^{\circ}\text{C}$ |
| L | : integrated total (space and water) heating load during the period Δt , KJ | T_w | : minimum acceptable temperature for hot water, $^{\circ}\text{C}$ |
| M | : mass of water in the storage tank | Δt | : one month time period, hours |
| $(\dot{m}C_p)_c$ | : collector fluid capacitance, $\text{KJ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ | $(UA)_B$ | : constant characterizing the space heating load, $\text{KJ hr}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
| $(\dot{m}C_p)_w$ | : capacitance of the water extracted from the tank to supply the water heating load, $\text{KJ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ | U_L | : collector overall energy loss coefficient, $\text{KJ hr}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ |
| N | : number of days in a month | ϕ | : latitude, degrees |
| n | : day of the year | ϵ_L | : effectiveness of the space heating load heat exchanger |
| Q_{AL} | : auxiliary space heating load, KJ hr^{-1} | ρ | : ground reflectance |
| Q_{AW} | : auxiliary water heating load, KJ hr^{-1} | $(\tau \alpha)$ | : product of the cover transmittance and the absorptance |
| Q_L | : space heating load, KJ hr^{-1} | ω | : hour angle, degrees |
| Q_U | : energy collection by the flat-plate collector, KJ hr^{-1} | δ | : solar declination, degrees |
| Q_W | : water heating load, KJ hr^{-1} | | |
| R | : ratio of the direct radiation incident on a tilted surface to that on a horizontal surface | | |
| β | : slope of the collector, degrees | | |
| T_s | : storage tank temperature, $^{\circ}\text{C}$ | | |
| T_a | : ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$ | | |
| \bar{T}_a | : monthly average of the daily | | |

1. 序 論

1973年 이후 두차례의 石油波動과 기존 에너지源인 化石燃料의 고갈 및 經濟成長에 따른 에너지需要의 急增으로 새로운 에너지源의 開發이 絶실히 要求되고 있다. 이에 各國에서는 原子力, 太陽熱, 風力, 地熱, 潮力, 波力 등 代替에너지의 研究開發이 활발히 進行되고 있다. 그중에서 太陽에너지는 가장 풍부하고 公害가 전혀 없으며 또한 利用이 손쉽기 때문에 가장 有力한 代替에너지源으로 각광을 받고 있다.

太陽에너지는 建物の 冷暖房, 發電, 곡물 乾燥, 産業工程의 熱源提供 등 매우 다양하게

利用되고 있으며 특히 住宅의 暖房과 溫水製造에 가장 많이 利用된다.¹⁾

太陽熱暖房裝置를 設計하는 하나의 方法으로 電算시물레이션法(computer simulation method)이 있다.²⁾ 이 方法은 많은 時間과 費用이 所要되기 때문에 太陽熱暖房裝置의 設計技術開發이나 性能分析 등에는 효과적으로 利用될 수 있으나, 그렇게 상세한 分析은 필요로 하지 않는 전형적인 太陽熱暖房裝置의 設計에는 바람직하지 못하다. 이러한 理由로 소규모 건축에 관계하는 建築設計者나 設備技術者가 太陽熱暖房裝置의 設計에 쉽게 利用할 수 있는 f-chart 設計法이 開發되었다.

f-chart 設計法은 太陽熱暖房裝置의 性能에 영향을 미치는 因子들로 두개의 無次元變數를 정하고 이 變數와 太陽熱暖房裝置의 長期性能 사이의 關係式을 computer simulation과 實驗에 의해서 구한 것으로, 이 關係式을 f-chart라 한다. f-chart 設計法은 裝置의 長期性能을 算定하는데 利用되며 月別氣象資料만을 필요로 하는 매우 간단한 方法이다.

本 論文에서는 Klein³⁾이 開發한 f-chart 設計法을 利用하여 우리나라 氣象條件과 暖房方式에 적합한 새로운 f-chart를 開發하였다. 1979년부터 1983년까지의 서울, 大田, 大邱, 光州 지방의 氣象資料를 使用하여 computer simulation을 행하고, 여기서 얻어진 資料를 토대로 無次元變數와 性能과의 關係式을 最小自乘法(least square method)을 使用하여 구하였다. 이 結果를 Klein이 提示한 式과 비교하고, 動力資源研究所에서 實測한 結果와 비교하였다.

2. 太陽熱暖房裝置의 Simulation

太陽熱暖房裝置는 太陽輻射에너지를 吸收하는 集熱裝置, 吸收된 熱을 저장하는 蓄熱裝置, 저장된 熱을 暖房 및 溫水給湯을 위해 供給하는 給熱裝置, 부족한 熱량을 供給하기 위한 補助熱源裝置로 구성되며, 그 외에 制御裝置, 펌프 각종 配管 등이 있다. Fig.1은 本 論文

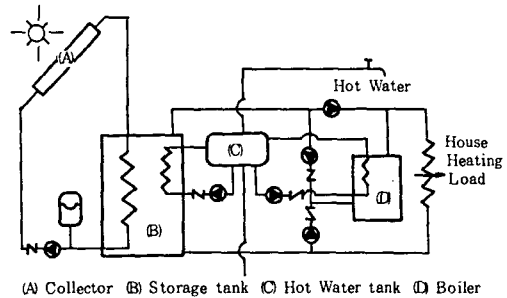


Fig. 1 Schematic diagram of solar heating system

의 simulation 모델로 설정한 裝置의 개략도이다.

集熱器에서 吸收된 熱은 熱交換器를 통하여 蓄熱탱크에 저장되고 필요할 때 暖房 및 溫水給湯을 위해 使用된다. 吸熱媒體로는 凍破를 방지하기 위해서 물과 不凍液의 혼합액을 사용하고, 蓄熱媒體는 물을 사용한다. 集熱器內를 흐르는 吸熱媒體의 流量과 蓄熱탱크의 容量은 集熱面積에 비례해서 變化시켰다. 蓄熱탱크의 溫度가 T_{max} 以上이 되면 물의 比등을 막기 위해서는 集熱에너지는 밖으로 放出되도록 하였으며, 蓄熱탱크의 溫度가 T_{min} 以下로 내려가거나, 蓄熱탱크에서 供給된 熱량이 暖房負荷보다 적을 때는 補助熱源에서 熱이 供給되도록 하였다.

全體 system에 대한 에너지 平衡방정식은 다음과 같다.

$$(MC_p)_s \frac{dT}{dt} = Q_U - (Q_L - Q_{AL}) - (Q_W - Q_{AW}) \dots \dots \dots (1)$$

平板型集熱器에서의 集熱에너지 Q_U 는 다음과 같이 구한다.⁴⁾

$$Q_U = F'_R A_c [H_T (\tau \alpha) - U_L (T - T_a)] \dots \dots (2)$$

여기서 傾射面日射量 H_T 는 水平面日射量 H 로부터 Liu와 Jordan이 方法을 使用하여 구하였다.⁵⁾

$$H_T = RH$$

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

$$K_t = H/H_0$$

$$H_0 = \left(\frac{24}{\pi}\right) I_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \\ \times [\cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + (\omega_s 2\pi/360) \sin \phi \sin \delta]$$

$$H_d/H = 1.390 - 4.027K_t + 5.531K_t^2 - 3.108K_t^3$$

$$\delta = 23.45 \sin[360(284 + n)/365]$$

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

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\omega'_s = \text{MIN}[\omega_s, \cos^{-1}\{-\tan(\phi - S) \tan \delta\}]$$

..... (3)

暖房負荷 Q_L 과 溫水給湯負荷 Q_W 는 다음과 같이 계산하고,

$$Q_L = (UA)_B (T_R - T_a)^+ \text{ (4)}$$

$$Q_W = (\dot{m} C_p)_W (T_W - T_m) \text{ (5)}$$

補助熱源裝置에서 供給된 熱量은 다음과 같이 계산한다.

$$Q_{AL} = \begin{cases} [Q_L - \in_L C_{min}(T - T_R)]^+ & \text{..... (6)} \\ Q_L & \text{if } T < T_{min} \end{cases}$$

$$Q_{AW} = \begin{cases} (\dot{m} C_p)_W (T_W - T)^+ & \text{..... (7)} \\ Q_W & \text{if } T < T_{min} \end{cases}$$

式(1)을 만족하는 每 時間마다의 $Q_U, Q_L, Q_W, Q_{AL}, Q_{AW}$ 를 구하고, 이 값들을 月別 또는 年間으로 合算하여 太陽熱暖房裝置의 性能을 算定하고, 이것으로부터 設計變數와 氣象條件이 性能에 미치는 影響을 豫測할 수 있다.⁶⁾

氣象資料는 서울, 大田, 大邱, 光州 地域에서 測定한 1979年부터 1983年까지 5年동안의 時間別 水平面日射量과 外氣溫度를 사용하였다.⁷⁾ Table 1은 simulation에 사용된 主要設計變數의 값을 나타내고 있다.

3. f-chart 設計法

太陽熱暖房裝置의 가장 좋은 設計方法은 電氣시뮬레이션法이다. 그러나 이 方法은 전문

Table 1. Values of main design parameters

| Design parameters | Values |
|--------------------------|-----------------------------|
| A_c | Various |
| $(\dot{m} C_p)_c / A_c$ | 210 KJ/hr m ² °C |
| M / A_c | 75 kg / m ² |
| U_L | Various |
| F_R | 0.9 |
| $(\tau \alpha)$ | Various |
| S | 45° |
| ϕ | Various |
| T_W | 60 °C |
| T_R | 20 °C |
| T_{max} | 100 °C |
| T_{min} | 30 °C |
| $(UA)_B$ | Various |
| \dot{m}_w | 280 kg / day |
| $\in_L C_{min} / (UA)_B$ | 2 |

적인 技術과 많은 費用이 所要되고 每 時間마다의 氣象資料를 필요로 하기 때문에 소규모의 太陽熱暖房裝置의 設計에는 바람직하지 못하다. 이러한 理由로 좀 더 간단한 太陽熱暖房裝置의 設計法으로 f-chart 設計法이 開發되었다.

太陽熱暖房裝置의 한 달 동안의 총에너지평형형식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_T - L + E = \Delta U \text{ (8)}$$

여기서 Q_T 는 月間太陽熱集熱量, L 은 暖房 및 溫水給湯負荷, E 는 月間 補助熱源裝置 供給熱量, ΔU 는 蓄熱槽의 熱變化量이다. 月間 ΔU 는 Q_T, L 및 E 에 비해서 매우 작으므로 月間 總熱負荷 중 太陽熱에 의해서 供給된 熱量比, 즉 月間太陽熱依存度 f 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = \frac{L - E}{L} = \frac{Q_T}{L} \text{ (9)}$$

Q_T 는 순간集熱量 Q_U 를 한달동안 合算한 것으로, Q_U 는 日射量, 外氣溫度 및 暖房負荷등과 복잡한 함수관계가 있으므로 太陽熱依存度を 알기 위해서는 每 時間마다의 氣象資料와

暖房負荷를 필요로 한다. 그러나 Q_T 의 함수가 되는 變數를 고려하여 두개의 無次元變數를 정하고, 이 無次元變數와 太陽熱依存度와의 關係式을 구하여 太陽熱暖房裝置의 長期性能을 쉽게 算定할 수 있는데 이 方法을 f-chart 設計法이라 한다.

두 無次元變數는

$$X = F_R U_L (F_R' / F_R) (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t A_c / L \quad (10)$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n (F_R' / F_R) (\tau \alpha) / (\tau \alpha)_n \bar{H}_T N A_c / L \quad (11)$$

이다.

여기서 X 는 月間 太陽熱集熱器에서의 基準熱損失量과 建物の 總熱負荷와의 比로서 表示되며, Y 는 月間 太陽熱集熱器가 흡수한 總太陽에너지와 建物の 總熱負荷의 比를 의미한다. 이 두 無次元變數는 太陽熱集熱器의 性能試驗資料 $F_R U_L$ 과 $F_R (\tau \alpha)_n$, 月間 日平均日射量 F_T , 月平均 外氣溫度 \bar{T}_a 및 月間 總熱負荷 L 만을 필요로 한다.

두 無次元變數 X, Y 와 太陽熱依存度 f 와의 關係를 다음과 같이 가정한다.

$$\hat{f}(X, Y) = C_1 Y + C_2 X + C_3 Y^2 + C_4 X^2 + C_5 Y^3 \quad (12)$$

여기서 상수값 $C_1 \sim C_5$ 를 電算시뮬레이션法에서 얻어진 結果를 利用하여 最小自乘法으로 구한다.⁸⁾

임의의 X 와 Y 에 대하여 電算시뮬레이션法에 의해서 太陽熱依存度 f_i 를 구하고, 式(12)에 의해서 \hat{f}_i 를 구하여 다음 式에 代入하여 S 가 最小가 되는 상수값을 결정한다.

$$S = \sum_{i=1}^n (f_i - \hat{f}_i)^2 \quad (13)$$

Fig. 2는 위의 모든 計算을 수행하기 위한 computer program의 流通圖를 表示하고 있다.⁹⁾

4. 結果 및 考察

本 研究에서 구한 月間 太陽熱依存度와 두 無次元變數와의 關係式은 다음과 같다.

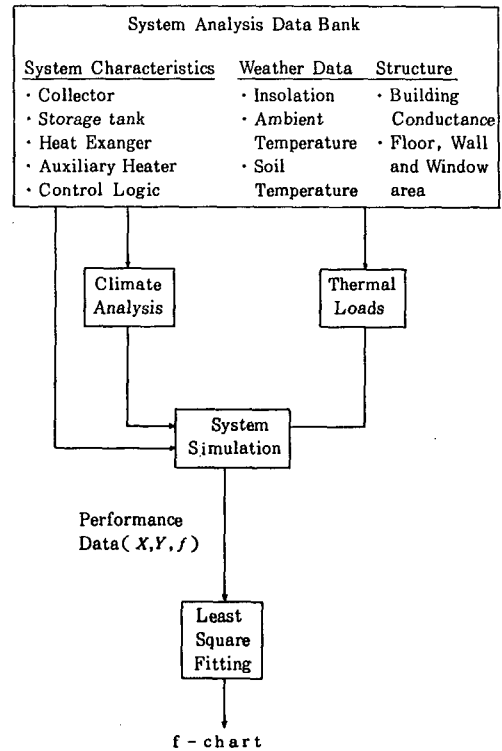


Fig. 2 Functional flow diagram of the program for f-chart

$$f = 1.034 Y - 0.0968 X - 0.2235 Y^2 + 0.0043 X^2 + 0.0144 Y^3 \quad (14)$$

Fig. 3은 式(14)를 그래프의 形態로 나타낸 것으로 이것을 f-chart라 한다.

f-chart를 利用하여 太陽熱暖房裝置를 設計하는 方法은 다음과 같다.¹⁰⁾

- 1) 太陽熱集熱器의 性能試驗資料로부터 $F_R U_L$ 과 $F_R (\tau \alpha)_n$ 를 구한다.
- 2) 太陽熱暖房裝置를 設置한 地域의 氣象資料로부터 \bar{H}_T 와 \bar{T}_a 를 찾는다.
- 3) 暖房度日法(degree-day method)을 使用하여 月間暖房負荷를 계산한다.
- 4) 溫水使用量을 推定하여 月間給湯負荷를 계산한다.
- 5) 式(10), (11)에 의해 無次元變數 X 와 Y 를 계산한다.
- 6) 式(14)나 Fig. 3에 의해 月間太陽熱依存

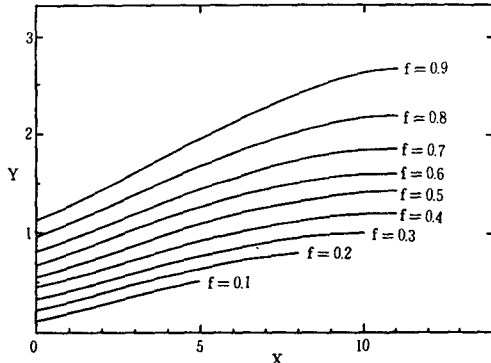


Fig. 2 f-chart for solar heating system

度 f 를 구한다.

- 7) 集熱器 面積을 變化시켜 가면서 5)~7)의 과정을 반복한다.
- 8) 裝置의 設備費, 既存燃料의 價格, 利率 등을 고려하여 最適의 集熱器 面積을 결정한다.

Table 2는 動力資源研究所에서 太陽熱暖房 裝置의 長期性能 測定을 위해서 設置한 30坪型 太陽熱住宅의 主要設計變數의 값을 나타내고 있으며,¹¹⁾ Table 3은 1982年9월부터 1983年4月까지의 測定結果와 本 論文에서 얻은 f-chart를 使用하여 구한 豫想性能을 상호 비교한 表이다. 暖房負荷는 比較적 一致하나 給湯負荷는 豫想值보다 적다. 그 이유는 f-chart에서는 5人家族을 기준으로 하루 250

리터의 溫水使用量을 적용하여 計算하였으나 測定에서는 居住人員의 잦은 變動으로 平均 196리터를 使用하였기 때문이다.

Table 4와 Fig. 4는 太陽熱依存度를 本 論文에서 얻은 f-chart로 구한 것과 Klein의 f-chart로 구한 것 및 測定結果를 서로 비교한 것으로, 本 論文에서 얻은 f-chart가

Table 2 Specification of solar heating system

| | | |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------|
| COLLECTOR | A_c | 27 m ² |
| | S | 45 degree |
| | ρ | 0.2 |
| | $F_R(\tau\alpha)_n$ | 0.77 |
| | $F_R U_L$ | 23 KJ/m ² hr °C |
| | $(\dot{m} C_p)_c / A_c$ | 193 KJ/m ² hr °C |
| | \dot{m}_c / A_c | 54 kg/m ² hr |
| | $\tau\alpha / (\tau\alpha)_n$ | 0.93 |
| | F_R' / F_R | 0.95 |
| STORAGE | Storage(Water) | 1 |
| TANK | M / A_c | 75 kg/m ² |
| HEATING | $(UA)_B$ | 605 KJ/hr °C |
| | T_R | 22 °C |
| | $\epsilon_{L C_{min}} / (UA)_B$ | 2.01 |
| | \dot{m}_w | 250 kg/day |
| | T_w | 60 °C |
| LOAD | T_m | 10.2 °C |

Table 3 Comparison of the estimated performance with experimental results

| Items year & month | $\bar{H}_T(MJ)$ | | $Q_L(MJ)$ | | $Q_w(MJ)$ | | $L(MJ)$ | | $Q_T(MJ)$ | | $f(\%)$ | |
|-----------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| | esti-mated | experi-mental | esti-mated | experi-mental | esti-mated | experi-mental | esti-mated | experi-mental | esti-mated | experi-mental | esti-mated | experi-mental |
| 82. 9 | 11.171 | 14.461 | 38 | 147 | 1.168 | 586 | 1.206 | 733 | 1.206 | 733 | 100 | 100 |
| 10 | 11.548 | 12.318 | 2,084 | 1,913 | 1.343 | 644 | 3.427 | 2,557 | 2.834 | 1,695 | 82.7 | 66.3 |
| 11 | 9.957 | 8.605 | 5.031 | 5.835 | 1.473 | 791 | 6.504 | 6.626 | 2.732 | 1,563 | 42.0 | 23.6 |
| 12 | 10.254 | 7.228 | 8.651 | 8.999 | 1.703 | 1,210 | 10.354 | 10.209 | 2.733 | 2,195 | 26.4 | 21.5 |
| 83. 1 | 10.602 | 8.413 | 10.246 | 9.706 | 1.825 | 720 | 12.071 | 10.426 | 2.825 | 2,001 | 23.4 | 19.2 |
| 2 | 9.987 | 10.087 | 8.329 | 9.006 | 1.691 | 527 | 10.020 | 9.533 | 2.836 | 2,288 | 28.3 | 24.0 |
| 3 | 12.375 | 11,401 | 6.492 | 6.103 | 1.829 | 285 | 8.321 | 6.388 | 3.753 | 3,692 | 45.1 | 57.8 |
| 4 | 11.280 | 13.155 | 3.231 | 3.181 | 1.624 | 126 | 4.855 | 3.307 | 3.107 | 2,975 | 64.0 | 90 |
| Total | 87.171 | 85,668 | 44,102 | 44,890 | 12,656 | 4,889 | 56.758 | 49.779 | 22.026 | 17,142 | | |
| Average | 10.896 | 10,708 | | | | | 7,095 | 6,222 | 2,753 | 2,142 | 38.8 | 34.4 |

Table 4 Comparison of f-chart

| Month | T_a | \overline{H}_T (MJ) | L (MJ) | f(%) | |
|---------|-------|--------------------------|-------------|---------|--------|
| | | | | Present | Klein* |
| 9 | 20.3 | 11,171 | 1,206 | 100 | 100 |
| 10 | 13.4 | 11,548 | 3,427 | 82.7 | 83.1 |
| 11 | 6.3 | 9,957 | 6,504 | 42.0 | 50.0 |
| 12 | - 1.2 | 10,254 | 10,354 | 26.4 | 34.3 |
| 1 | - 4.9 | 10,602 | 12,071 | 23.4 | 31.0 |
| 2 | - 1.9 | 9,987 | 10,020 | 28.3 | 35.9 |
| 3 | 3.6 | 12,372 | 8,321 | 45.1 | 52.8 |
| 4 | 10.5 | 11,280 | 4,855 | 64.0 | 70.0 |
| Total | | 87,171 | 56,758 | | |
| Average | 5.8 | | | 38.8 | 45.8 |

$$* f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^2$$

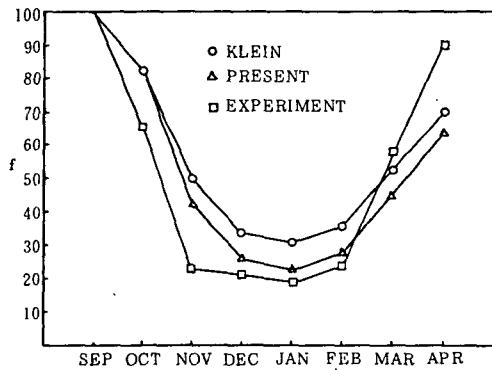


Fig. 4 Comparison of solar fraction

Klein의 f-chart 보다 實測値에 더 잘 一致함을 알 수 있다.

5. 結 論

Klein이 開發한 f-chart 設計法을 利用하여 우리나라의 氣象條件과 暖房方式에 적합한 새로운 f-chart를 開發하고 動力資源研究所에서 實測한 結果와 比較하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 電算시뮬레이션으로부터 얻은 資料를 利用하여 開發한 새로운 f-chart式은 다음과 같다.

$$f = 1.034Y - 0.0968X - 0.2235Y^2 + 0.0043X^2 + 0.0144Y^3$$

2) 本 論文에서 開發한 f-chart가 Klein의 f-chart 보다 實測値에 유사하므로 우리나라의 氣象條件과 暖房方式에 더 적합하다.

參 考 文 獻

1. J.R. Williams, "Solar Energy Technology and Application," Ann. Arbor. Science Publishers, 1975.
2. S.A. Klein, W.A. Beckmann and J.A. Duffie, "A Design Procedure for Solar Heating Systems", Solar Energy, Vol. 18, p. 113-127, 1976.
3. W.A. Beckmann, S.A. Klein and J.A. Duffie, "Solar Heating Design by the f-chart" John Wiley & Sons, 1977.
4. H.C. Hottel and A. Whillier, "Evaluation of Flat Plate Solar Collector Performance," Trans. of the Conference on the Use of Solar Energy, p. 74-104, 1955.
5. B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator", Trans. ASHRAE, p. 526-541, 1962.
6. 柳盛淵, "Simulation of Solar Heating Systems Utilizing Flat Plate Collectors", 忠南大 工業教育研究所 論文集, Vol. 3, No.2, pp. 62 ~ 67, 1980.
7. 中央氣象台 日氣象統計表, 1979~1983.
8. J.L. Kuester, J.H. Mize, "Optimization Techniques with Fortran", Mc-Graw Hill, 1973.
9. 宋達淳, "Development of the f-chart for the Design of Active Solar Heating Systems", 忠南大 碩士學位論文, 1985.
10. 柳盛淵, "Optimization of Solar Heating Systems Utilizing Flat Plate Collectors", 忠南大 工業教育研究所 論文集, Vol.4, No. 2, pp. 87~94, 1981.
11. 韓國動力資源研究所 研究報告書, "設備型太陽熱시스템 開發研究," KE-83-2, 1983.