

F-chart 設計法에 의한 태양熱住宅의 暖房性能에 관한 研究

(A Study on the Thermal Performance of a Solar House by a F-chart Method)

李 永 秀* 徐 廷 一** 任 將 淳***
(Lee, Young soo) (Seoh, Jeong Ill) (Yim, Jang Soon)

ABSTRACT

This paper presents a method for estimating the useful output of solar heating systems. Heating load calculations, climatic data and various conditions are used in this procedure to estimate the fraction of the monthly heating load supplied by solar energy for a particular system. the design procedure presented in this paper referred to the f-chart method.

The results of this study are as follows;

- 1) The collected energy is not rised lineary to collector area.
- 2) If the heating area has equivalent solar collector area, the solar energy utilization for space heating is over 90%.
- 3) Transmittance - absorptance product for radiation at normal incidence, $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$, during most of the heating season is 0.92 for a two-cover collector.
- 4) Orientation of the collector has little effect on the annual performance of solar heating system within the 15°

NOMENCLATURE

A ; Collector Area(m^2)
 C_{min} ; Minimum capacitance rate in a

heat exchanger (W/C)

C_p ; Specific heat (J / $kg \cdot c$)
E ; Total auxiliary energy(J)
f ; Fraction of monthly load supplied by solar energy
F ; Fraction of the annual load supplied by solar
 F_R ; Collector heat removal efficiency factor

* 正會員 漢陽大學校 大 學 院
** 正會員 漢陽大學校 工 科 大 學
*** 正會員 仁河大學校 工 科 大 學

$F_{R'}$; Collector heat exchanger efficiency factor
 G ; Collector mass flowrate per unit collector area (kg/s)
 H ; Monthly average daily total radiation on a horizontal surface per unit area ($J/month \cdot m^2$)
 H_d ; Monthly average daily diffuse radiation on a horizontal surface per unit area ($J/month \cdot m^2$)
 H_T ; Monthly average daily total radiation on a tilted surface per unit area ($J/month \cdot m^2$)
 I_T ; Rate of solar radiation incident on a tilted surface per unit area ($Kcal/hr \cdot m^2$)
 L ; Monthly total space and Water heating load ($J/month$)
 n ; Day of the year Jan 1 = 1, Dec 31 = 365
 N ; Number of days in a month or number of years
 Q_T ; Total energy collected during a month (J)
 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 ($^\circ$)
 T_a ; Ambient temperature (C)
 T_{in} ; Temperature of fluid entering a solar collector (C)
 T_{ref} ; Reference temperature ($100\ c$)
 U_L ; Collector energy loss coefficient

($Kcal/hr \cdot m^2 \cdot C$)
 ϵ_c ; Effectiveness of the Collector-tank heat exchanger
 ρ ; Ground reflectance
 τ ; Transmittance of collector cover system
 α ; Absorptance of the collector plate surface
 $(\tau\alpha)_n$; Transmittance-absorptance product for radiation at normal incidence
 $(\tau\alpha)$; Monthly average transmittance-absorptance product
 ϕ ; Latitude ($^\circ$)
 δ ; Solar declination ($^\circ$)
 W_s ; Sunset hour angle for horizontal surface ($^\circ$)
 W_s' ; Sunset hour angle for tilted surface ($^\circ$)

I. 序 論

太陽熱住宅에 있어서 集熱面積은 集熱量을 決定하는 重要な 因子로서 暖房負荷에 따라 그 크기가 決定된다. 一般으로 集熱量은 集熱面積에 線型的으로 比例하지 않으므로 太陽熱住宅에서 集熱面積은 氣象條件, 集熱 및 蓄熱裝置의 性能, 暖房負荷를 考慮하여 電算 Simulation 法을 使用하거나 f-chart 設計法을 利用하여 求하여야 한다. 集熱面積에 따른 集熱量의 變化에 對한 實驗은 Rao와 Suri에 의하여 遂行되었다. 이들은 간단한 太陽熱 溫水裝置를 만들어 集熱面積의 增加에 따른 1日間의 集熱量 增加値를 實驗으로 求하였다. 이 結果에 의하면 集熱面積

$$\frac{+(\pi/180) w_s' \sin(\phi-s) \sin \delta}{+(\pi/180) w_s \sin \phi \sin \delta} \dots \dots \dots (2)$$

여기서 w_s : 水平面 日沒時間角
 $w_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$
 w_s' : 傾斜面 日沒時間角
 $w_s' := \text{MIN}[w_s, \arccos\{-\tan(\phi-s) \tan \delta\}]$
 δ : 黃道 傾斜角
 $\delta = 23.45 \sin[360 \times (284 + n) / 365]$
 n : 通算日 (1月1日 = 1, 12月31日 = 365)

集熱器의 單位時間 集熱量 Q_u 는

$$Q_u = F_{RA} [I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \dots (3)$$

이 모델은 集熱器의 熱容量을 無視하였는데 Klein 등은 이것이 妥當함을 立證하고 있다. 한편 集熱率効 η 은

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L(T_i - T_a) / I_T \dots (4)$$

로 表示되는데 여기서 U_L 을 常數라 가정한다면 $(T_i - T_a) / I_T$ 의 條件에 따라 變하고 集熱効率은 기울기가 $-F_R U_L$ 이고 수직축인 効率軸의 $F_R(\tau\alpha)_n$ 을 지나는 직선그래프선으로 나타난다. 또한 集熱器와 集熱 熱交換器의 組合에 의한 集熱性能을 계산하기 위하여는 F_R 대신에 F_R' 을 도입하는 것이 편리하고 F_R' / F_R 은 集熱器의 性能係數, 熱傳達媒體의 流量 및 集熱 熱交換器의 有效係數 ϵ_c 의 함수로서 결정되고 그 식은 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$F_R' / F_R = [1 + (F_R U_L / G C_p)(A G C_p / \epsilon_c C_{\min} - 1)]^{-1} \dots \dots \dots (5)$$

다음은 蓄熱탱크내 에너지 収支現象을 나타낸 것으로 集熱器에서 收集된 太陽熱은 蓄熱器內 流體를 加熱하여 感熱로서 貯藏하게 된다.

蓄熱器에 대한 에너지 方程式은 어떤 時間 間隔에서의 蓄熱器 熱容量의 變化를 1次系統에서 에너지 流入과 2次系統에서의 에너지 流出

그리고 蓄熱器에서의 周圍에 대한 熱損失 間의 에너지 平衡式

$$(m c_p)_s \frac{dT_s}{dt} = (m c_p)_c (T_{co} - T_s) - L - (U A)_s (T_s - T_a) \dots \dots \dots (6)$$

로 表示할 수 있다.

II - 3. F - 차아트 設計法

太陽熱 暖房住宅의 性能은 水平面 日射量, 外氣溫度等 氣象資料를 入力으로하여서 앞에서 誘導된 關係式을 F - 차아트 設計法에 적용하여 評價한다.

本 研究에서 水平面 日射量, 外氣溫度等의 氣象資料는 1972年에서 1976年 사이의 서울지방의 값을 平均하여 使用하였다. 이 水平面 日射量을 式(1)(2)에 의하여 傾斜面 日射量으로 換算시키고 集熱器의 透過率 및 吸收率을 곱하여 集熱板에 入射하는 吸收熱量 Q_u 를 구하였다. 또한 한 달동안의 太陽熱시스템에서의 總 에너지 平衡式은

$$Q_T - L + E = \Delta U \dots \dots \dots (7)$$

로 나타낼 수 있고 一般的으로 使用되는 蓄熱槽에서의 月間 ΔU 는 Q_T, L 및 E 와 비교해보면 거의 무시될 수 있으므로 零으로 看做한다. 따라서(7)式은 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$f = (L - E) / L = Q_T / L \dots \dots \dots (8)$$

여기서 f 는 月間 太陽依存率이다.

(8)式의 f 값은 두 無次元變數와의 關係를 經驗的으로 구하여 계산할 수 있는데 두 無次元變數는

$$X = F_R U_L (F_R' / F_R) (T_{ref} - T_a) (\Delta t) (A / L) \dots \dots \dots (9)$$

$$Y = F_R(\tau\alpha)_n (F_R' / F_R) (\pi) / (\tau\alpha)_n H_T N (A / L) \dots \dots \dots (10)$$

이고, 또한 X, Y 와 f 의 關係式은 다음과

같이 表示된다.

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^2 \dots\dots\dots (11)$$

暖房負荷의 計算에 있어서 設計溫度는 18 °C

로 設定 하였으며 이와같은 方法으로 太陽熱住宅의 暖房性能을 評價하고 暖房面積에 대한 集熱面積比, β 에 따른 太陽熱 暖房率을 求하였다.

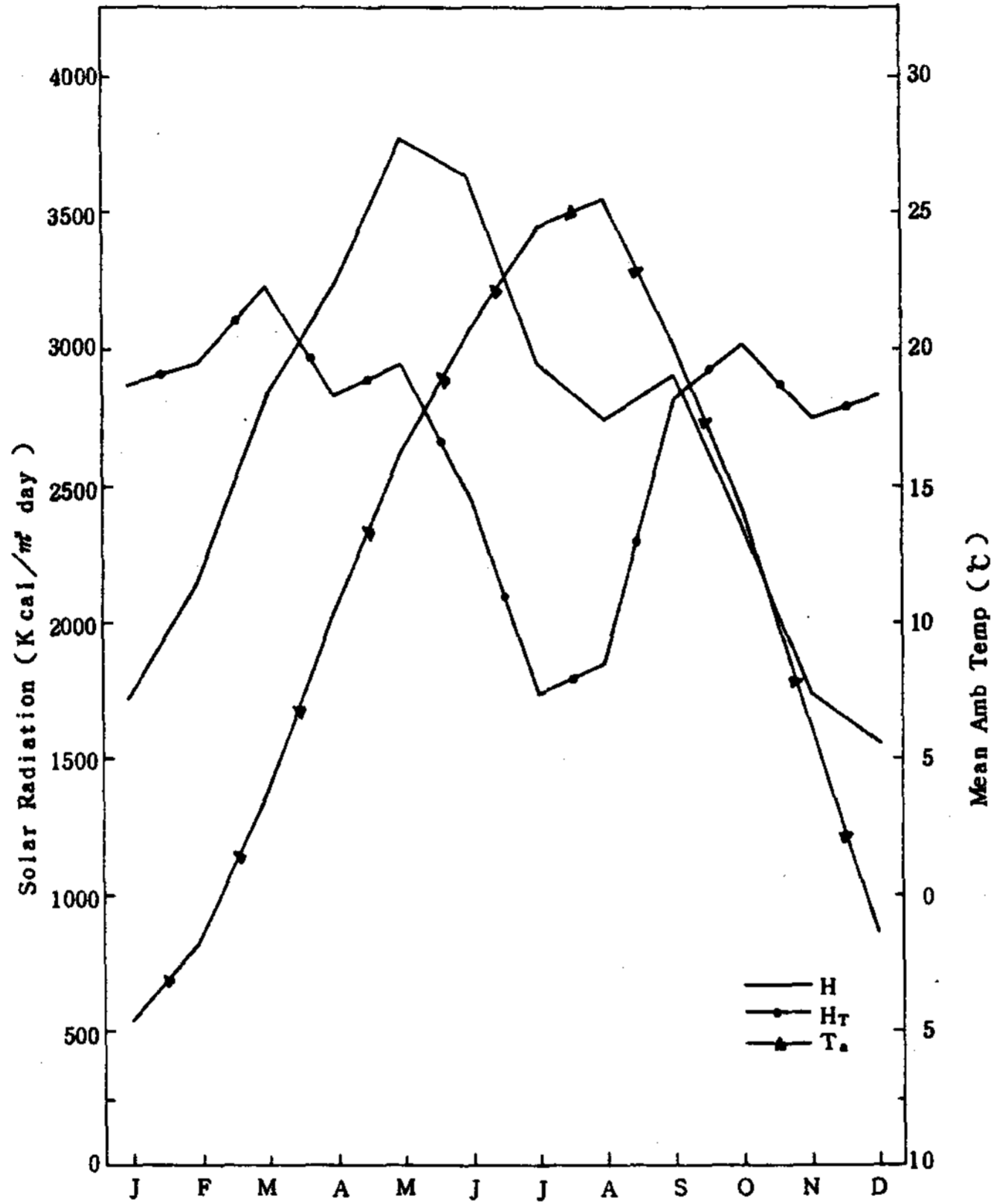


Fig.2 Solar radiation in Seoul

III. 結果 및 考察

1972 年에서 1976 年사이 서울地方의 1 年間的 平均 水平面 및 傾斜面 日射量 外氣溫度等 氣象條件을 Fig 2 에 圖示하였다. 그림에서 10 月부터 3 月까지 入射한 平均 水平面 日射量은 2081 (Kcal/m² day) 이고 平均 傾斜面 日射量은 2952 (Kcal/m² day) 로 水平面에 비해 1.42 배이고 水平面 日射量이 集熱面に 吸

収된 分布를 보면 直射熱量이 70 %, 擴散熱量이 20 %, 反射熱量이 2 % 로 構成되어 있다. 다음은 集熱面積이 增加할 때 集熱量의 變化를 Fig 3 에 圖示하였다. 이 그림에서 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. 이것은 集熱面積이 增加하면 集熱器의 效率이 減少하기 때문이다.

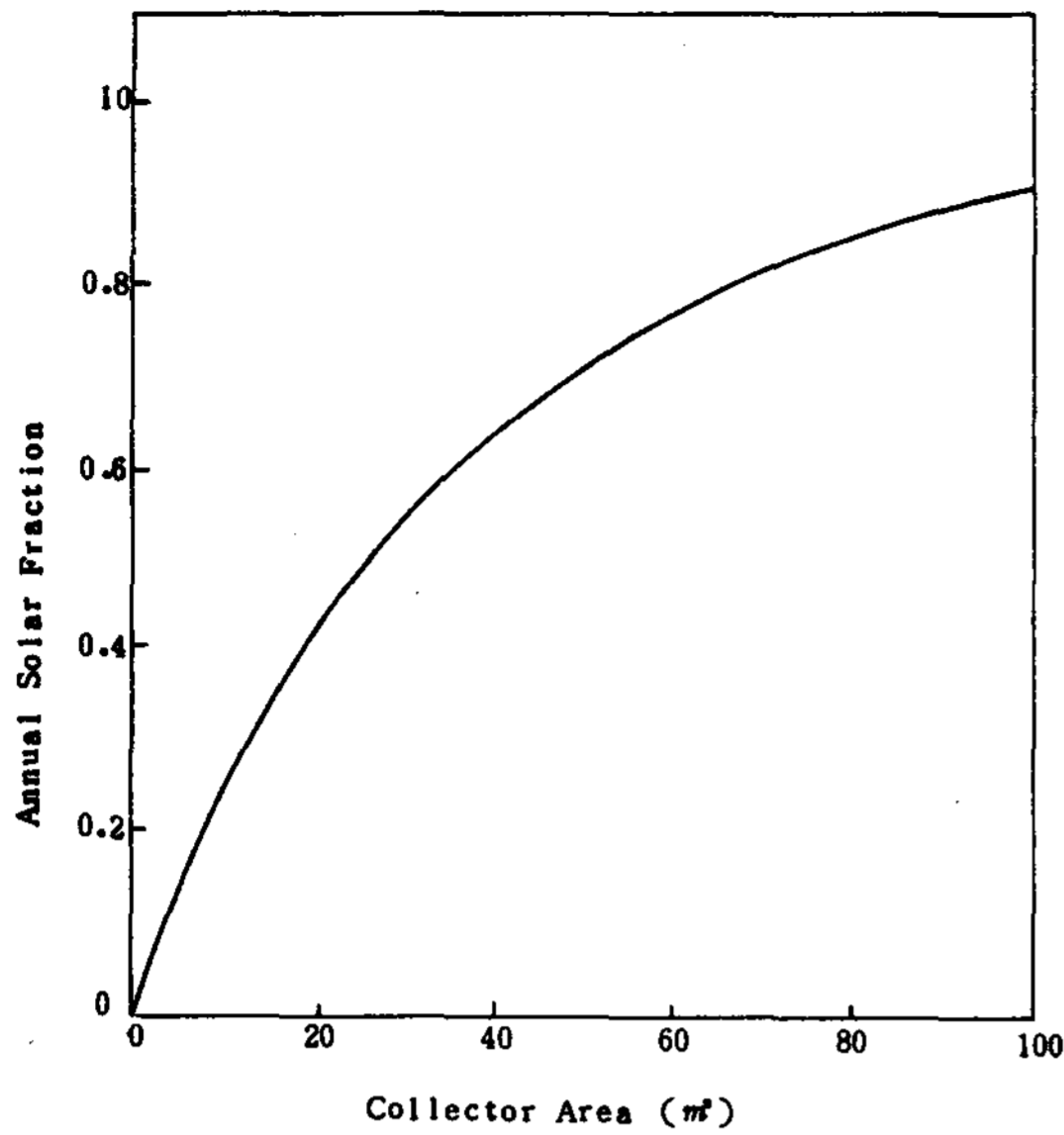


Fig.3 Annual Load Fraction Supplied by Solar Energy

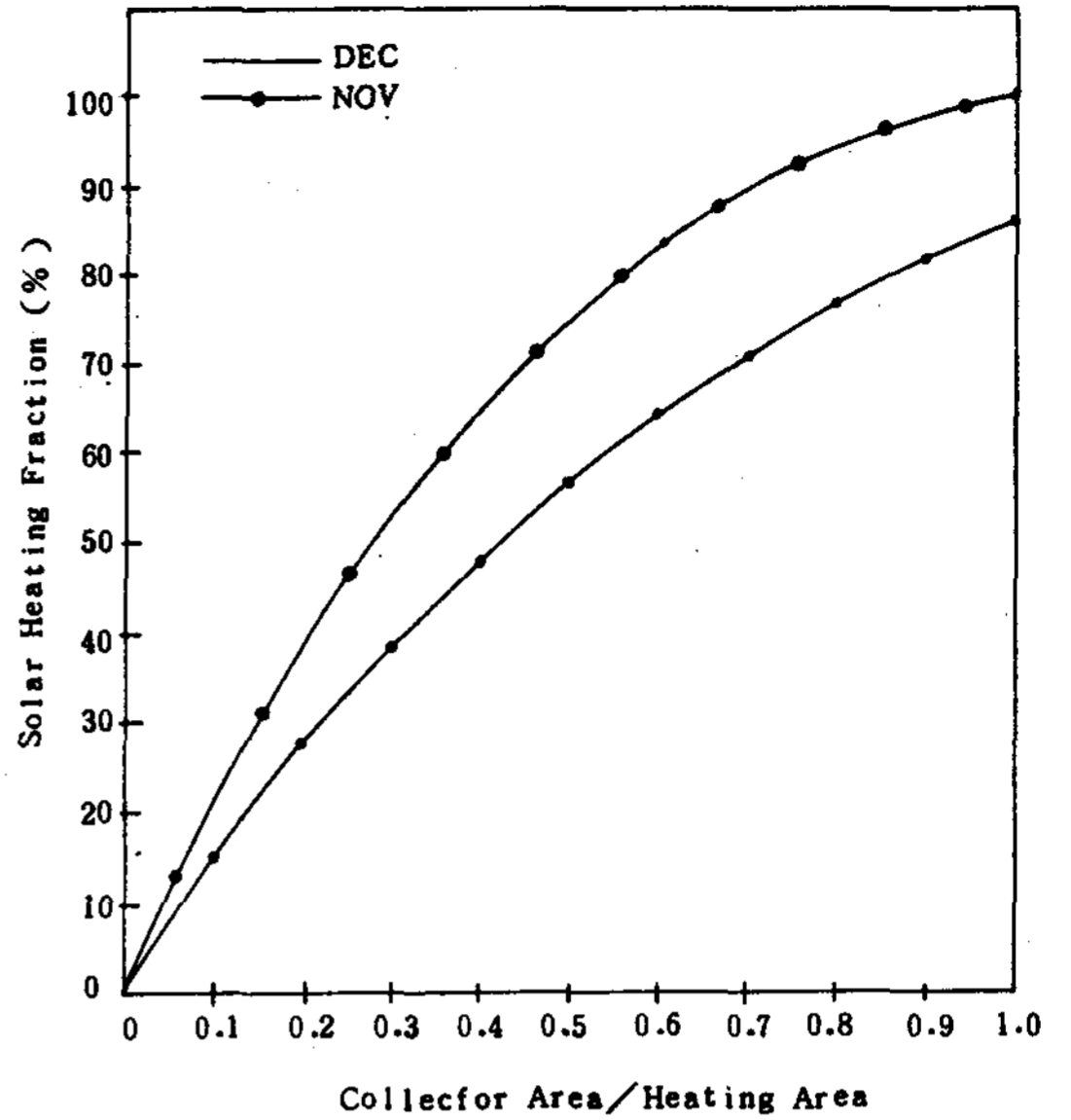


Fig.5 Solar heating ratio vs. Collector area

Fig.4, 5는 暖房面積에 對한 集熱面積比 β 에 따른 太陽熱 暖房率을 圖示한 그림이다. 이 그림에서 1月の 경우 太陽熱 暖房率의 曲線이 比較的 완만하게 增加하므로 $\beta=0.5$ 일 경우 53%에 이르며 $\beta=1.0$ 일 경우 82%

에 이르고, 2月과 12月の 경우는 $\beta=0.5$ 일 경우 58%, $\beta=1.0$ 일 경우 87%에 이른다. 또한 3月과 11月の 경우는 太陽熱 暖房條件이 良好하여 $\beta=0.5$ 일 경우 78%, $\beta=1.0$ 일 경우 99%에 이른다.

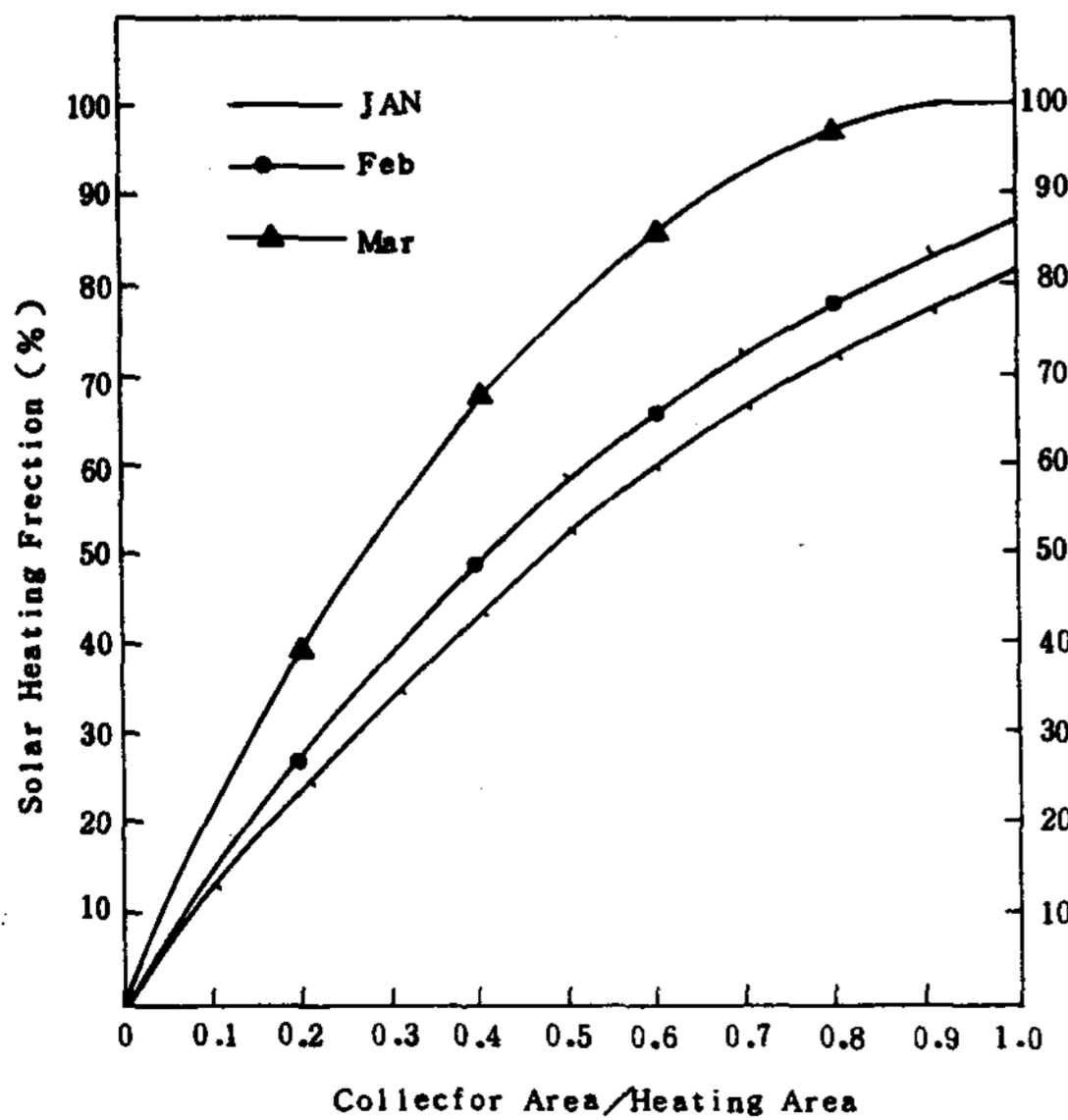


Fig.4 Solar heating ratio vs. Collector area

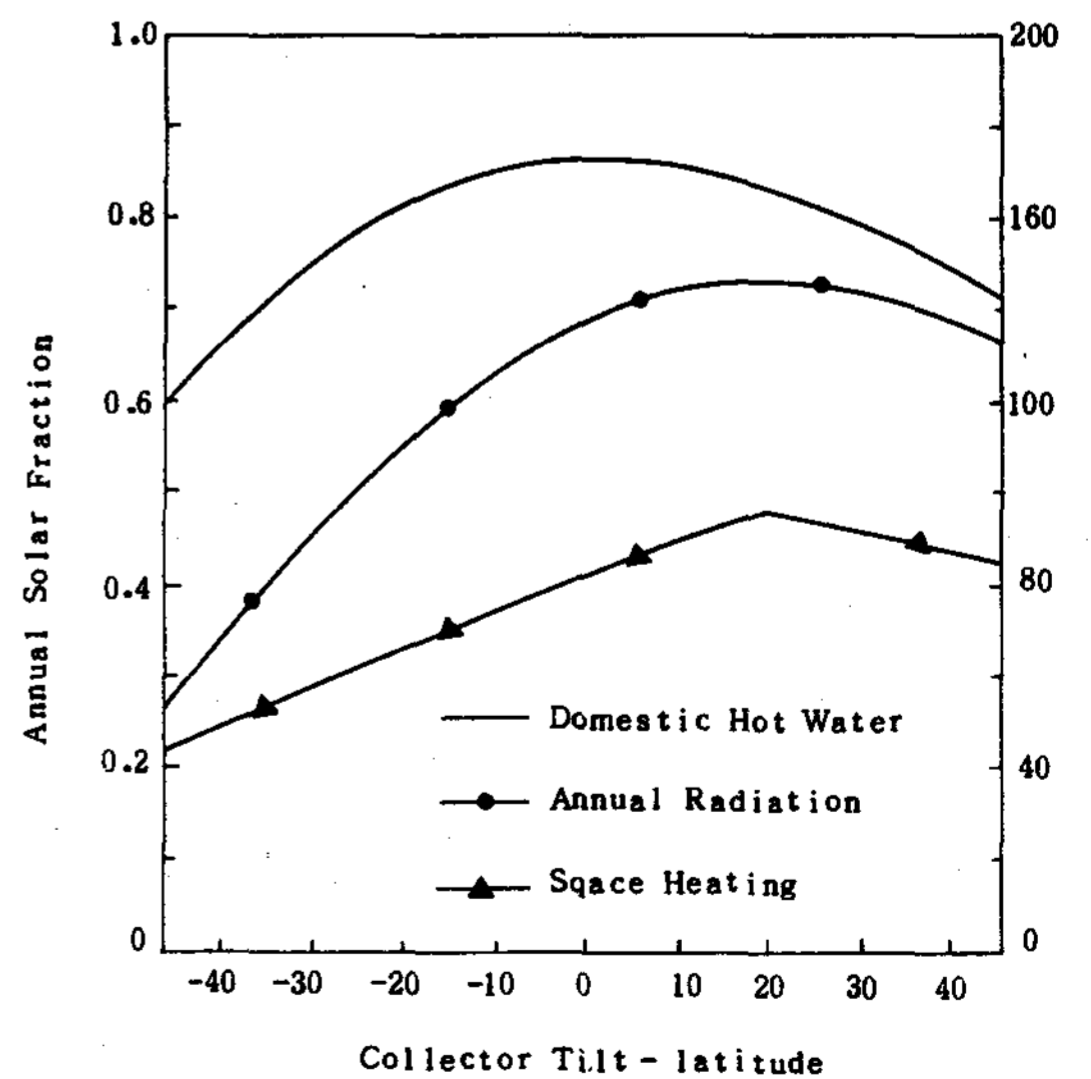


Fig.6 Effect of Collector Orientation

Fig. 6은 太陽熱 集熱器 向의 最適値를 나타낸 것으로 集熱器의 設置 方位角은 正남향이고 傾斜角은 緯度보다 10° 내지 15° 가량 더 큰 값이다. 고로 $\pm 15^{\circ}$ 범위내로 集熱器를 設置한다면 太陽熱시스템의 年間 集熱性能에는 거의 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다.

IV . 結 論

本 研究의 結論은 다음과 같다.

- (1) 集熱量은 集熱面積에 線型的으로 比例 하지 않으며 集熱面積이 $100 m^2$ 일 경우 集熱量은 比例值보다 약 27 % 정도 減少한다.
- (2) 暖房에 利用된 太陽熱의 量은 集熱面積과 暖房面積이 同一한 경우 약 90 %이었다.
- (3) 暖房期間중 透明板이 2 매인 경우 서울지역에서는 $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ 이 약 0.92 정도이다.
- (4) 集熱器 設置方向은 最適値에서 $\pm 15^{\circ}$ 범위 이내에서는 太陽熱시스템의 年間集熱性能에 있어서는 거의 차이가 나지 않는 것으로 간주된다.

參 考 文 獻

1. S.K.RAO and R.K. SURI, Optimization of Flat-Plate Solar Collector Area, Solar Energy, Vol.12, PP.531-535, 1969
2. D.S.Ward and G.O.G.Lof, Design and Construction of a Residential Solar Heating and Cooling System, Solar Energy, Vol.17, PP.13-20, 1975
3. 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
4. M.C. Pereira and A.Rabl, Simple Procedure for Predicting long term average Performance of Non concentrating and of Concentrating Solar Collectors, Solar Energy, Vol.23, PP.235-253, 1979
5. D.J.Close, A Design Approach for Solar Process, Solar Energy, Vol.11, No.2, 1967
6. W.A.Beckman, S.A.Klein and J.A. Duffie, Solar Heating Design by the f-chart method, John Wiley Inc, 1977
7. J.A. Duffie and W.A. Beckmann, Solar Engineering of thermal Process, John Wiley Inc, 1980
8. S.A.Klein, Calculation of Monthly Average insolation on tilted Surface, Solar Energy, Vol.19, PP.325-329, 1977
9. S.A. Klein, W.A. Beckman and J.A. Duffie, A Design Procedure for Solar Heating Systems, Solar Energy Vol.18, PP.113-127, 1976
10. ASHRAE Handbook 1981 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc.

Appendix I

Solar Heating Load Fraction

Month	c.X/A	c.Y/A	$\beta = 1$				0.9			
			X	Y	F		X	Y	F	
Dct	0.172	0.063	16.72	6.12	1.00	903500	15.05	5.51	1.00	903500
Nov	0.093	0.029	9.04	2.82	1.00	1740600	8.14	2.54	0.98	1705788
Dec	0.065	0.019	6.32	1.85	0.86	2400088	5.69	1.66	0.82	2288456
Jan	0.058	0.017	5.64	1.65	0.82	2664918	5.07	1.49	0.78	2534922
Feb	0.062	0.019	6.03	1.85	0.87	2321856	5.42	1.66	0.83	2215104
Mar	0.079	0.028	7.68	2.72	1.00	2169800	6.91	2.45	1.00	2169800

0.8				0.7				0.6			
X	Y	F		F	Y	F		X	Y	F	
13.37	4.90	1.00	903500	11.70	4.29	1.00	90500	10.03	3.67	1.00	903500
7.23	2.26	0.95	1653570	6.33	1.97	0.90	1566540	5.42	1.69	0.84	1462104
5.05	1.48	0.77	2148916	4.42	1.29	0.71	1981468	3.79	1.11	0.65	1814020
4.51	1.32	0.72	2339928	3.95	1.16	0.67	2177433	3.38	0.99	0.60	1949940
4.82	1.48	0.78	2081664	4.22	1.29	0.72	1921536	3.62	1.11	0.69	1841472
6.14	2.18	0.97	2104706	5.38	1.91	0.92	1996216	4.61	1.63	0.86	1866028

0.5				0.4				0.3			
X	Y	F		X	Y	F		X	Y	F	
8.36	3.06	1.00	903500	6.69	2.45	1.00	903500	5.02	1.84	0.92	831220
4.52	1.41	0.77	1340262	3.62	1.13	0.67	1166202	2.71	0.85	0.55	957330
3.16	0.92	0.57	1590756	2.53	0.74	0.48	1339584	1.90	0.55	0.38	1060504
2.82	0.83	0.53	1722447	2.26	0.66	0.44	1429956	1.69	0.50	0.35	1137465
3.01	0.92	0.58	1547904	2.41	0.74	0.49	1307712	1.81	0.55	0.38	1014144
3.84	1.36	0.78	1692444	3.07	1.09	0.68	1475464	2.30	0.82	0.55	1193390

0.2				0.1			
X	Y	F		X	Y	F	
3.34	1.22	0.73	659555	1.67	0.61	0.44	397540
1.81	0.56	0.39	678834	0.90	0.28	0.21	365526
1.26	0.57	0.27	753516	0.63	0.18	0.14	390712
1.13	0.33	0.24	779976	0.56	0.17	0.13	422487
1.21	0.27	0.27	720576	0.60	0.18	0.14	373632
1.54	0.54	0.39	846222	0.77	0.27	0.21	455658