

韓國家庭用 太陽熱 溫水器에 關한 研究

田 文 憲* 尹 錫 凡**

I. 緒 論

人間의 生活이 向上 되어감에 따라 日常 生活에 必要한 溫水의 量은 增加하게 되고 溫水를 얻기 위한 溫水器의 種類도 多樣해 지고 있다. 現在 世界的으로 알려진 太陽熱 溫水器는 密閉 汲置式 (Collector-cum-storage)¹⁾ 自然循環式 (Natural circulation solar water heater)²⁻⁵⁾ 그리고 강제순환식 (Forced circulation solar water heater)⁶⁻⁹⁾ 등이 있다. 本 研究에서는 우리 나라 各 地域에 따라 알맞는 太陽熱 溫水器를 設計하는데 目的을 두고 다음과 같이 세 가지로 나누어 연구하였다.

1) 우리 나라의 氣象條件을 考慮한 강제순환식 太陽熱 溫水器의 模型을 選擇하고 우리 나라에 適合한 集熱器의 傾斜角을 決定 하였으며,

2) 일인당 일일 所要溫水量을 60℃ 溫水 80 liter로 假定하여 市販 液體式 集熱器의 面積에 따른 溫水器의 太陽熱 依存率을 金海, 裡里, 江華 地域에 대해서 구하고,

3) 이것을 기초로 하여 年평균 일사량에 따라 全國을 A, B, C 地域으로 區分하여 各 地域에 대한 集熱器 枚數와 溫水器의 太陽熱 依存率과의 關係를 計算하였다.

II. 太陽熱 溫水器 設計에 必要한 基本要素

* 正會員 韓國科學院
** 正會員 韓國大學

II - 1. 本 研究에서 選擇한 溫水器 模型

本 溫水器는 液體式 平板型 集熱器를 使用하여 水를 集熱器에 의해서 直接加熱하는 方式을 택하였으며 Fig.1 系統圖에 表示된 補助히타는 溫水器가 計劃溫度에 도달하지 않을 때를 고려하여 설치 사용할 수 있다⁹⁾

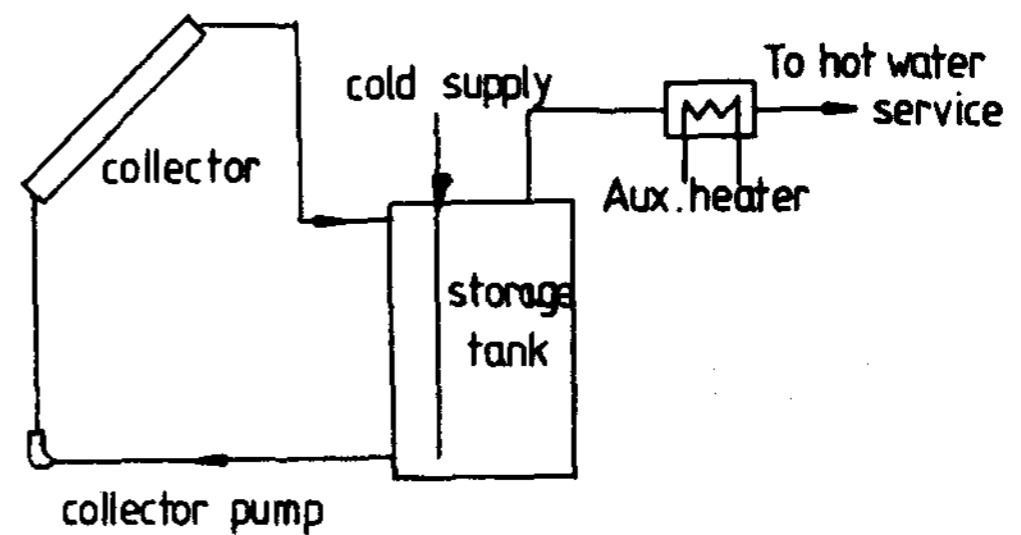


Fig1 Model system (Solar water heater with liquid collectors)

II - 2. 太陽熱의 收集

平板型 集熱器에 의해서 얻을 수 있는 有效集熱量 Q_u 는 ¹⁰⁾

$$Q_u = F_R [H_t (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] = (\dot{m} C_p)_c (T_o - T_i) \dots \dots \dots (1)$$

$$H_t = RH \dots \dots \dots (2)$$

$$R = (1 - \frac{D}{H}) R_D + \frac{D}{H} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \dots \dots \dots (3)$$

- $\frac{D}{H}$: 水平面 일사량에 대한 擴散일사량 (diffuse radiation)의 비율
- R_D : 水平面에 대한 傾斜面의 直達일사량 (beam radiation)의 비율
- β : 集熱器 傾斜角
- ρ : 地面反射率 (보통때 0.2, 1 inch 이상 눈 덮일 때 0.7)
- $\tau\alpha$: 투명체의 광선투과율과 吸收板의 吸收率의 곱
- F_R : 열제거계수 (집열기에서의 실제집열량과 吸收板의 온도를 집열기 입구유체 온도와 같은 온도로 作動하였을 때의 熱量의 비율)
- U_L : 총열손실계수

II - 3 . 溫水器의 性能

太陽熱 溫水器의 性能은 $F_R, A, U_L, (\tau\alpha) S$ 등의 영향을 받으므로 溫水生産에 필요한 熱量과 보조열원에 의한 열량, 集熱器에서 收集할 수 있는 열량과의 관계를 고려하면 다음과 같다. 溫水を 生産하는데 필요한 열량

$$Q_w = (\dot{m}C_p)_w (T_w - T_m) \dots\dots\dots (4)$$

보조 열원에 의한 熱量

$$E_w = (\dot{m}C_p)_w (T_w - T) \dots\dots\dots (5)$$

Δt 時間 동안의 열량은

$$L = \int^{\Delta t} Q_w dt \dots\dots\dots (6)$$

$$E = \int^{\Delta t} E_w dt \dots\dots\dots (7)$$

溫水器의 太陽熱 依存率을 f 라 하면

$$f = \frac{L - E}{L} \dots\dots\dots (8)$$

$$L - E = \int^{\Delta t} Q_u dt \dots\dots\dots (9)$$

$$f = F_{RA} / L \int^{\Delta t} (H_t (\tau\alpha) - U_L (T - T_a)) dt \dots\dots\dots (10)$$

윗식을 참고온도 T_{ref} 를 포함한 무차원수 X 를 사용하여 정리하면

$$X = \frac{T - T_a}{T_{ref} - T_a}$$

$$f = F_{RA} / L \int^{\Delta t} [H_t (\tau\alpha) - U_L (T_{ref} - T_a) X] dt \dots\dots\dots (11)$$

(11) 식은 다음과 같은 두 개의 무차원수로 이루어진다.

$$F_{RA} / L \int^{\Delta t} H_t (\tau\alpha) dt = F_{RA} / L S (\bar{\tau\alpha}) \dots\dots\dots (12)$$

$$F_{RA} / L \int^{\Delta t} U_L (T_{ref} - T_a) dt = F_{RA} / L U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t \dots\dots\dots (13)$$

III . 太陽熱 集熱器 傾斜角 決定

태양열 溫水器에 사용할 집열기의 경사각을 決定하기 위하여 지리적으로 우리나라 中央部에 위치한 이리地域에 대하여 경사각이 0도, 25도 緯度 (35° 55' N) 와 같은 각도, 45도, 60도, 90도 일때의 경사면 일사량을 구하여 Fig. 2 에 월별평균 일사량으로 표시하였다. 여기서 사용한 기상 자료는 중앙기상대에서發

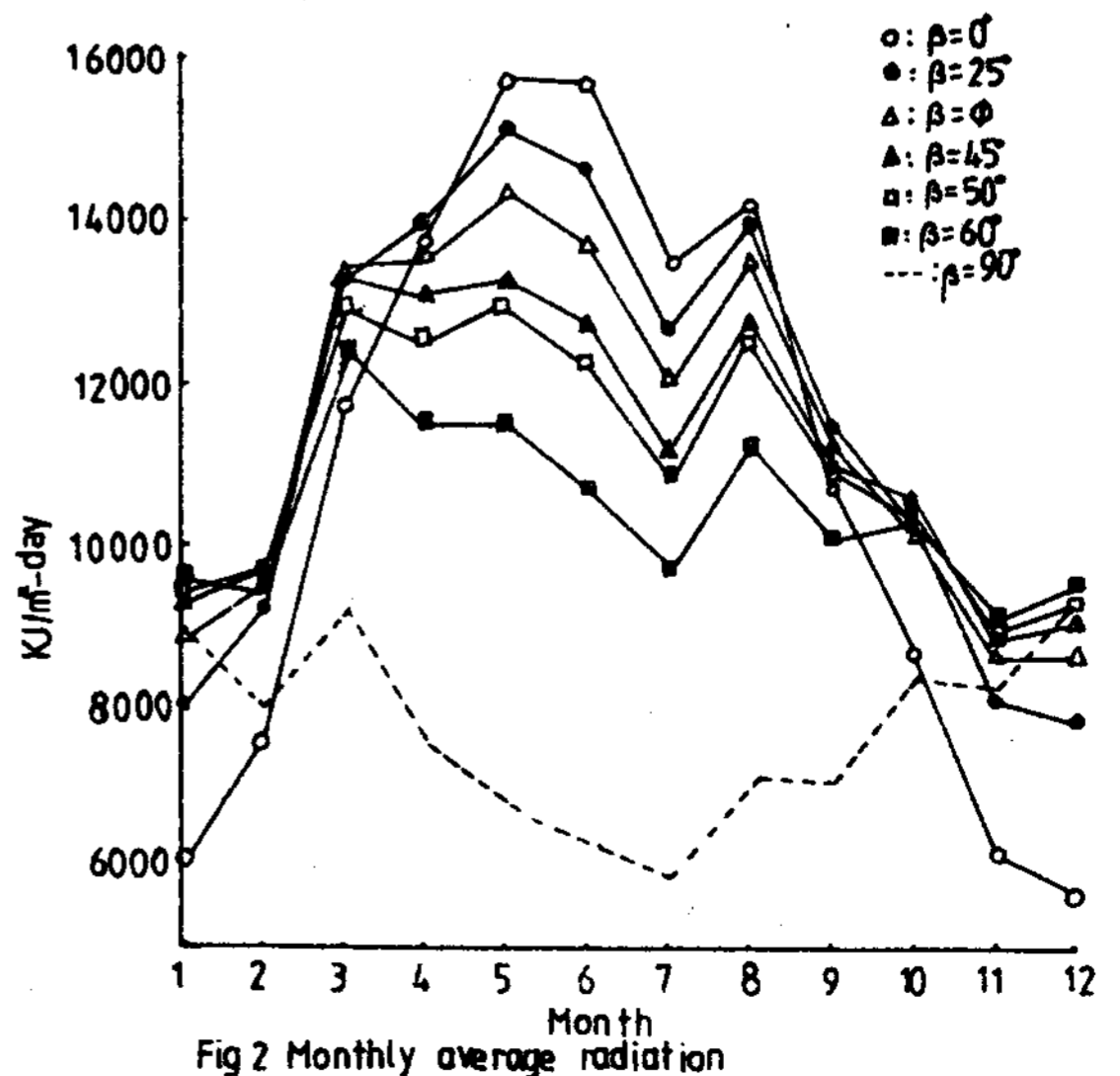


Fig 2 Monthly average radiation

表한 5년간의 평균값^{1D}을 사용하였다. Fig. 2에서 알 수 있는 것은 경사각이 0도 일때 여름철 일사량이 가장 많으며 傾斜角이 증가함에 따라 여름철 일사량은 감소하고 겨울철 일사량은 증가함을 알 수 있다. 다음의 Fig. 3은 경사각이 위도와 같을 때의 연간 총일사량을 100%로 했을 때 경사각도에 따른 연간 총일사량의 비율을 나타낸 것으로 경사각이 0도인 때는 94% 25도에서는 100.4% 50도에서는 96% 60도에서는 91% 90도에서는 67%를 나타낸다.

이상에서 알 수 있듯이 이리지역에 대해서 경사각이 50도까지는 연간 총 일사량이 위도와 같을 때 95% 이상 유지된다. 따라서 겨울철 일사량과 연간총일사량을 고려하면 온수기에 사용할 집열기의 각도는(β) 위도를 ϕ 로 할 때

$$\phi \leq \beta \leq (\phi + 15^\circ) \dots\dots\dots(14)$$

로 하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 集熱器의 경사각을 전국 어느

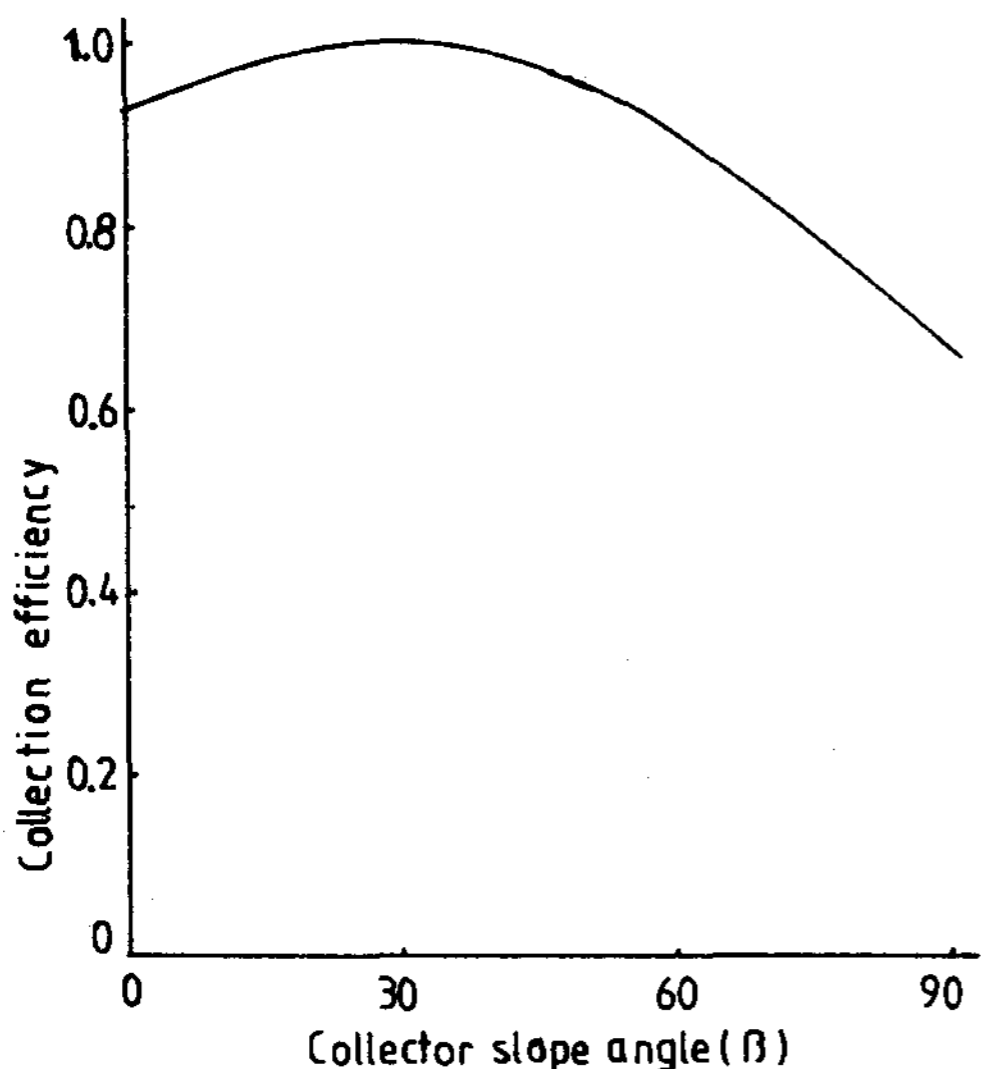


Fig 3 Yearly average collection efficiency

지역에서나 (14) 식의 범위에 속하는 45도의 경사각을 택하였다.

IV . 集熱器 所要面積 算出

II - 3에서 論의 한 것을 토대로 하여 (12)식을 무차원수 Y(13)식을 무차원수 Z로 했을 때 온수기의 태양열 의존율 f는 Klein¹²⁾에 의해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f = 1.029 Y - 0.065 Z - 0.245 Y^2 + 0.0018 Z^2 + 0.0215 Y^3 \dots\dots\dots(15)$$

온수기에 사용한 집열기는 市販用 Lennox LSC 18 - 1 S($F_R(\bar{\tau}\alpha) = 0.84 F_{RU} = 16.35 \text{KJ} / \text{hr} - \text{m}^2 - ^\circ\text{C}$)의 液體式 집열기를 사용하는 것으로 假定하였으며 전국의 일사량은 지역에 따라 다양하므로 전국을 년평균 일일 일사량의 分布에 따라 A, B, C 세 구역으로 구분하여 일사량이 가장 많은 C구역 (년평균 수평면 일일 일사량 $11,500 \sim 15,000 \text{KJ} / \text{m}^2 - \text{day}$)중에서 강화 중간값, B구역 ($9,500 \sim 11,500 \text{KJ} / \text{m}^2 - \text{day}$)에서는 이리, 가장 적은 구역인 A구역 ($7,500 - 9,500 \text{KJ} / \text{m}^2 - \text{day}$)에서는 김해지역을 擇하여 각 지역에서 일인당 부하에 따른 집열기의 집열면적과 태양열 의존율과의 관계를 구하였다.

IV-1 . 金 海

다음의 Fig. 4는 김해 지역에서 일일 일인당 온수량을 60°C 온수 80 liter로 했을 때 집열면적에 따른 월별 평균 태양열 의존율을 나타낸다.

IV-2 . 裡 里

다음의 Fig. 5는 김해에서와 같은 방법으로 구한 일인당 집열면적에 따른 월별 평균 태양열 의존율이다.

IV-3 . 江 華

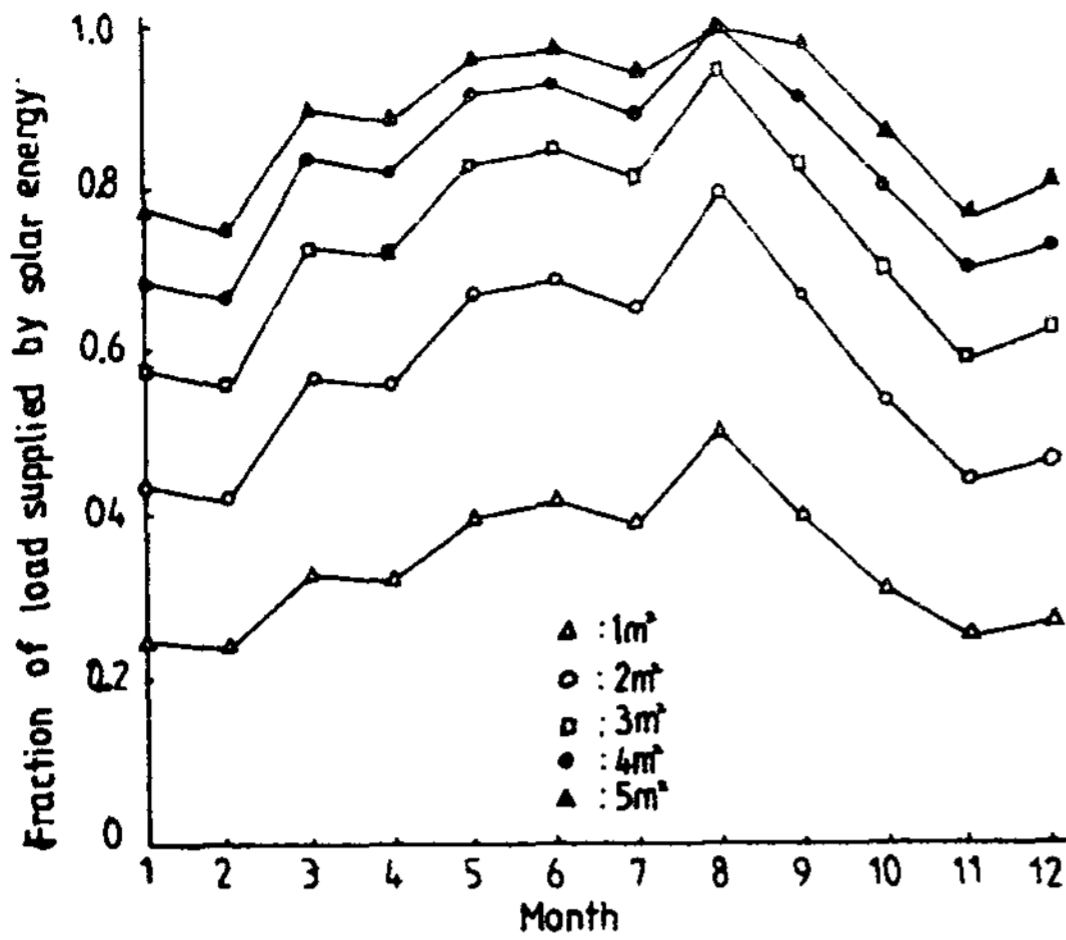


Fig 4 Monthly average fraction of load

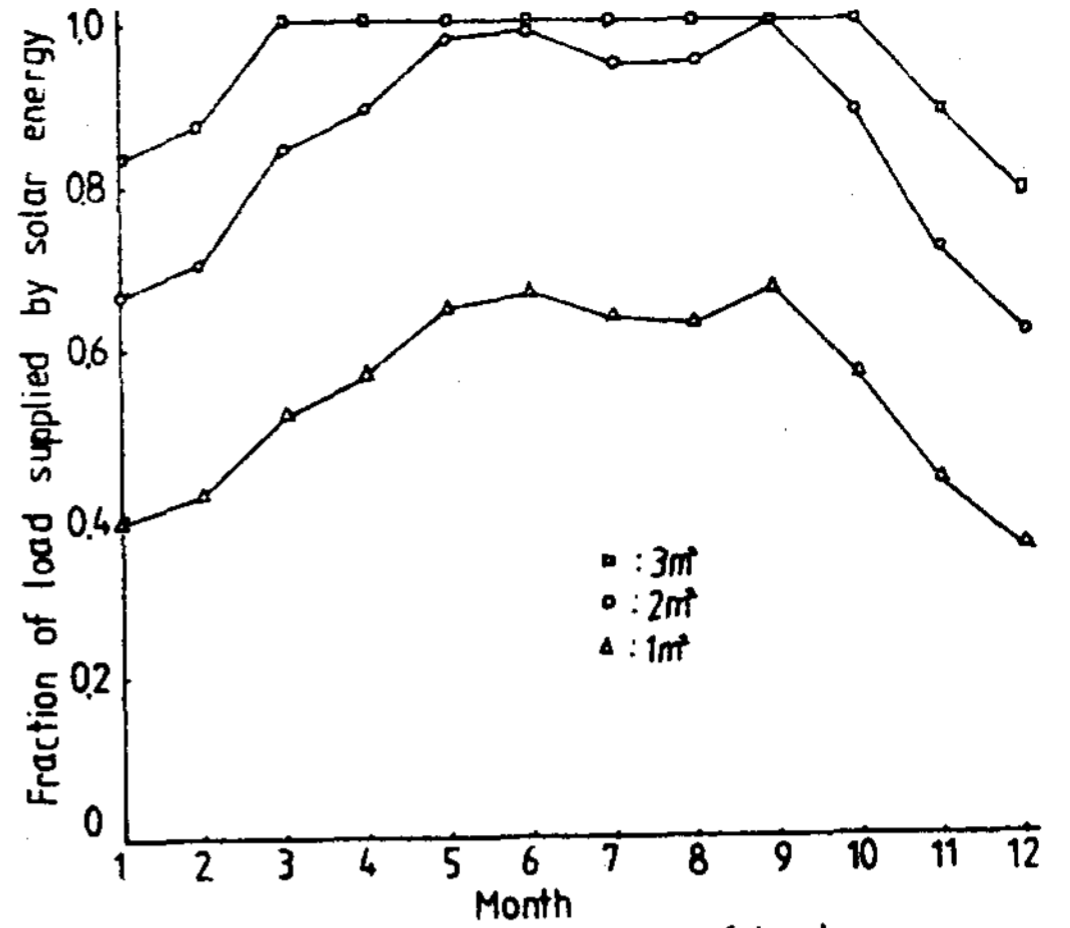


Fig 6 Monthly average fraction of load

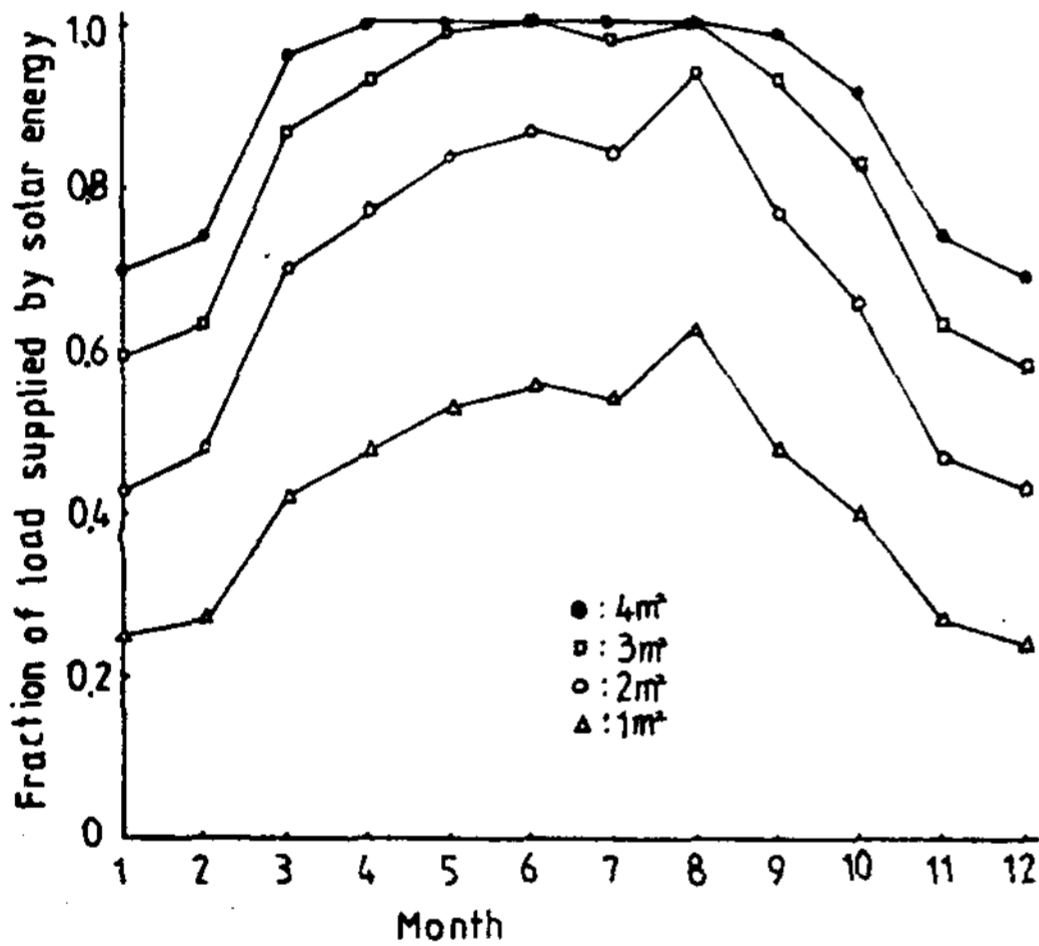


Fig 5 Monthly average fraction of load

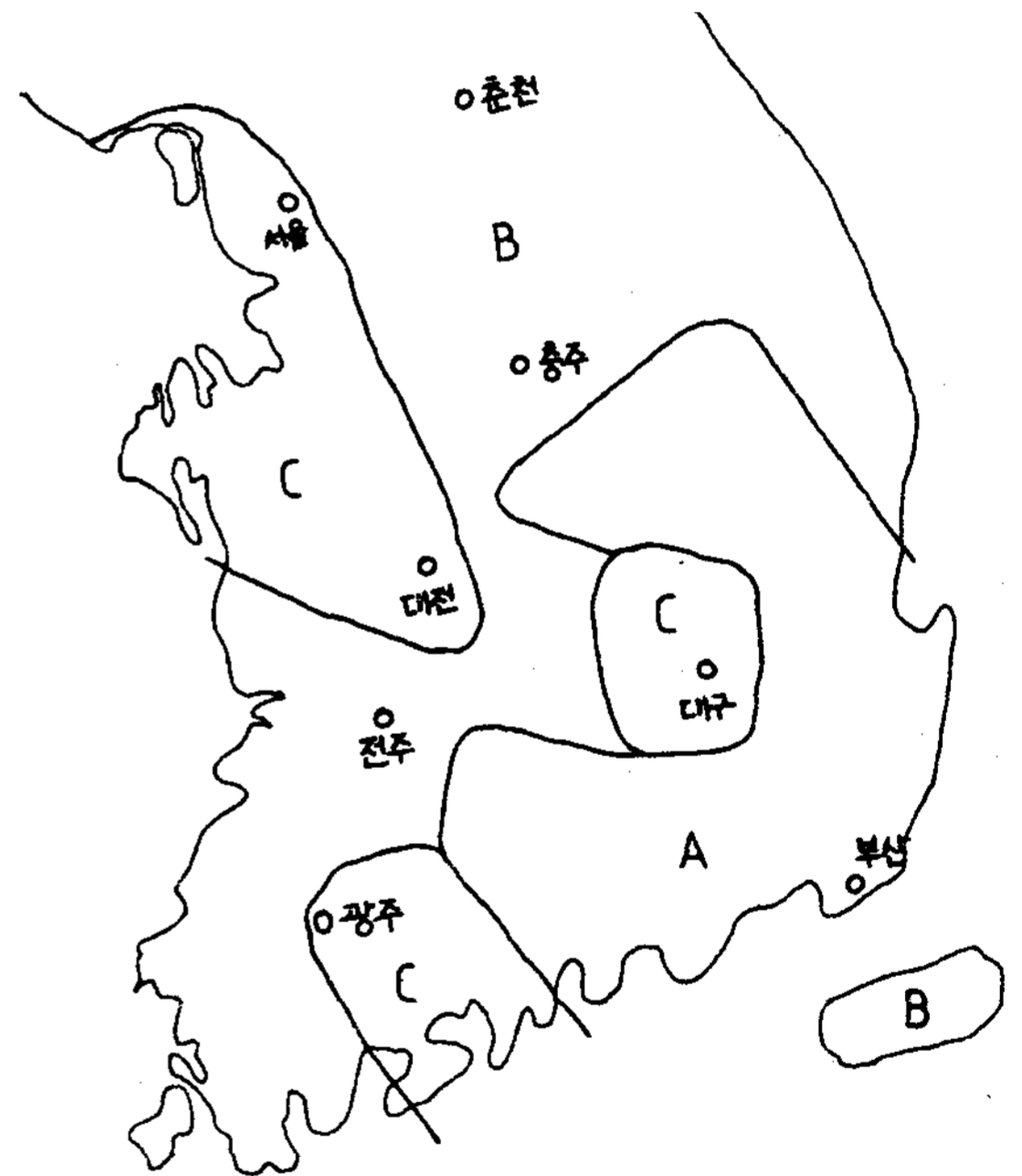


Fig 7 Distribution of insolation

Fig. 6는 위 두지역에서와 같은 방법으로 구한 월별 태양열 의존율이다.

IV - 4 . 全國의 구역별 소요면적

앞에서 가정한 바와 같이 전국을 일사량에 따라 A, B, C 세 구역으로 구분할 때 년평균 일일 일사량분포는 다음의 Fig. 7 과 같다.

각 구역의 부하에 따른 집열면적에 대한 온수기의 태양열 의존율을 계산하기 위하여 전국의 년평균 대기온도를 12°C로 가정하고 집열기 1枚의 면적을 1.43m²로 한 부하별 년평균 태양열 의존율은 다음과 같다.

Table 1. Relationship between the number of collectors and fraction of load supplied by solar energy in Korea(size : 1.43 m²/sheet)

hot water load	80 ℓ / day - family					
No. of collectors	1	2	3	4	2	3
A	0.37~0.48	0.61~0.76	0.76~0.90	0.85~0.95	0.37~0.48	0.50~0.64
B	0.48~0.58	0.76~0.88	0.90~0.99	0.95~0.99	0.48~0.58	0.64~0.76
C	0.58~0.75	0.88~1.00	0.99~1.00	0.99~1.00	0.58~0.75	0.76~0.94

hot water load	160 ℓ / day - family			240 ℓ / day - family		
No. of collectors	4	5	6	3	4	5
A	0.61~0.76	0.69~0.84	0.76~0.90	0.37~0.48	0.46~0.60	0.54~0.69
B	0.76~0.88	0.84~0.95	0.90~0.99	0.48~0.58	0.60~0.71	0.69~0.80
C	0.88~1.00	0.95~1.00	0.99~1.00	0.58~0.75	0.71~0.89	0.80~0.98

hot water load	320 ℓ / day - family					
No. of collectors	6	7	5	6	7	8
A	0.61~0.76	0.67~0.82	0.44~0.57	0.50~0.64	0.56~0.71	0.61~0.76
B	0.76~0.88	0.82~0.93	0.57~0.68	0.64~0.76	0.71~0.82	0.76~0.88
C	0.88~1.00	0.93~1.00	0.68~0.86	0.76~0.94	0.82~1.00	0.88~1.00

hot water load	400 ℓ / day - family					
No. of collectors	9	6	7	8	9	10
A	0.65~0.81	0.43~0.55	0.48~0.61	0.53~0.67	0.57~0.72	0.61~0.76
B	0.81~0.92	0.55~0.66	0.61~0.73	0.67~0.78	0.72~0.83	0.76~0.88
C	0.92~1.00	0.66~0.84	0.73~0.91	0.78~0.97	0.83~1.00	0.88~1.00

V. 算出 結果에 대한 考察

V-1. 適正 太陽熱 依存率

김해, 이리, 강화지역의 일인당 집열 면적에 따른 년평균 태양열 의존율은 다음의 Fig. 8과 같다.

먼저 김해지역의 적정 태양열 의존율을 조사하면 Fig. 4에 의하면 일인당 집열면적이 4m²까지는 월별 태양열 의존율이 100%를 초과하지 않게 됨을 알 수 있으며 이때의 운수기의 년평균 태양열 의존율은 Fig. 8에 의해서 83

%가 됨을 알 수 있다. 이리 지역에서는 김해에서와 같은 방법으로 Fig. 5에 의해서 월별 태양열 의존율이 집열면적 3m²까지는 100%를 초과하는 달이 없으며 이때의 년평균 태양열 의존율은 Fig. 8에 의해서 83%가 됨을 알 수 있다. 같은 방법으로 강화에 대해서 조사하면 Fig. 6에 의해서 집열면적 2m²까지는 월별 태양열 의존율이 100%를 초과하는 달이 없으며, 이때의 년평균 태양열 의존율은 85%임을 알 수 있다. 이상의 고찰로 보아 운수

기의 태양열 의존율을 85% 이하로 하게 되면 집열기에서 수집한 태양열을 전부 유효하게 이용할 수 있다는 결과를 얻는다.

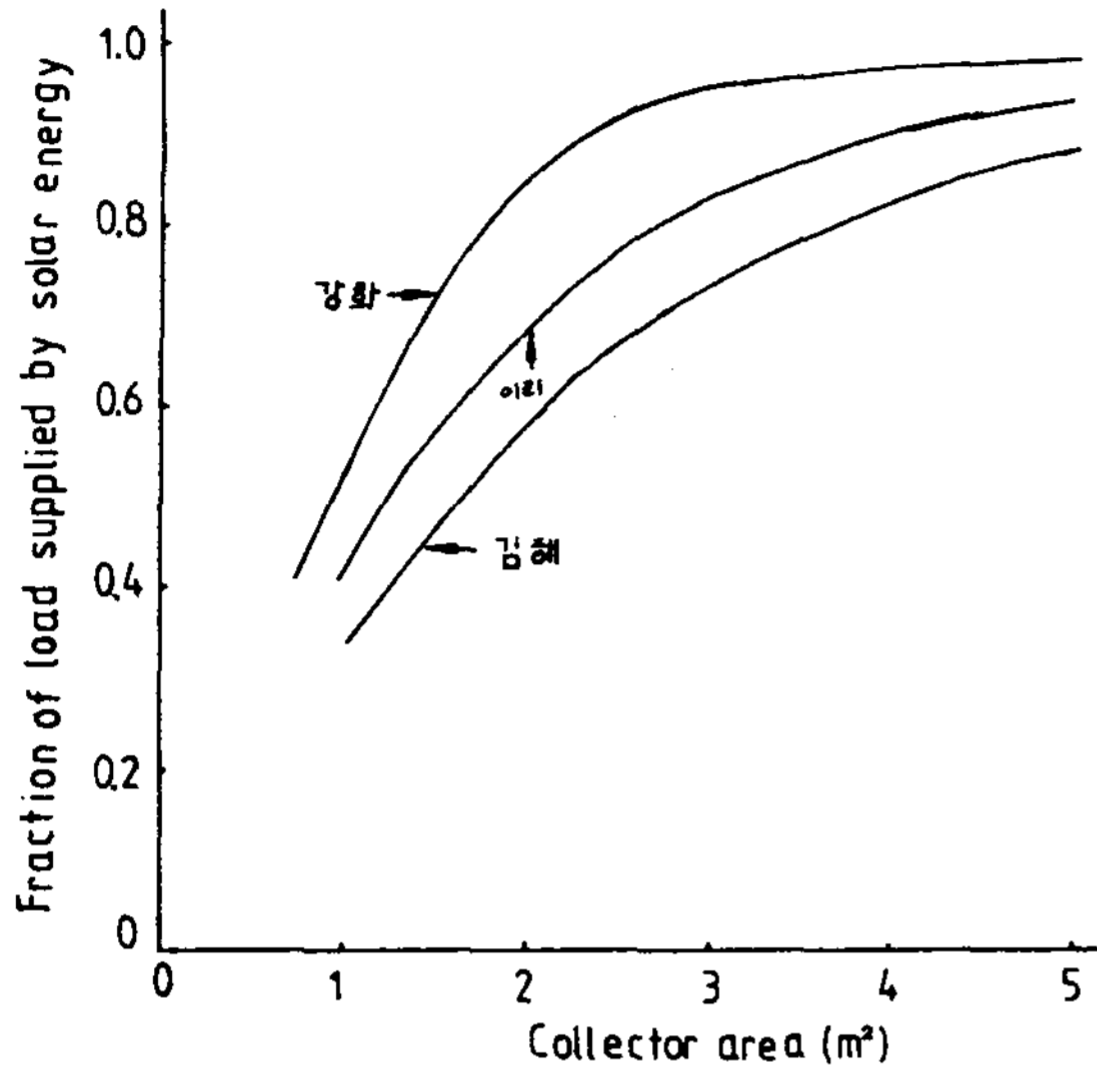


Fig8 Yearly average fraction of load

V - 2 . 집열면적과 태양열 의존율과의 관계

Fig. 8에 의하면 집열면적이 증가함에 따라 년평균 태양열 의존율 곡선의 경사가 완만해 짐을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 일정부하시 집열면적이 증가하게 되면 집열온도의 상승으로 인한 열손실이 증가하여 집열판의 집열 효율이 감소 되는 것으로 생각된다.

V - 3 . 한국의 일사량에 대한 검토

다음은 參考文獻 [13]에 의한 Oklahoma의 일사량과 중앙기상대자료¹¹⁾에 의한 이리지역의 수평면 일사량의 비교이다.

이리의 위도는 35°55' N Oklahoma의 위도는 35°24' N로 위도 상으로는 거의 비슷한 지역인데도 일사량은 이리지역의 것에 비하여 Oklahoma가 거의 두배에 가까운 양이다. 이것은 \bar{K}_T 의 값에서도 잘 나타나 있다.

또 Fig. 7에 의하면 우리나라의 일사량 분포는 남쪽지방이 북쪽에 비해 적은 것으로 나타나 있다. 따라서 한국의 일사량을 정확히 측정해볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

Table 2. Meteorological data at Oklahoma and Iri

Month		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Oklahoma	\bar{H}	10,651.9	13,543.2	17,423.5	21,001.8	22,769.0	26,743.4
	\bar{K}_T	0.580	0.571	0.576	0.570	0.558	0.629
이 리	\bar{H}	6,043.8	7,530.6	11,726.4	13,704.6	15,754.2	15,712.2
	\bar{K}_T	0.344	0.334	0.407	0.389	0.399	0.382
Month		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Oklahoma	\bar{H}	25,821.3	25,108.1	20,658.8	16,007.4	12,328.1	10,190.9
	\bar{K}_T	0.618	0.505	0.628	0.614	0.588	0.608
이 리	\bar{H}	13,410.6	14,170.8	10,693.2	8,664.6	6,165.6	5,565.0
	\bar{K}_T	0.333	0.385	0.345	0.356	0.329	0.345

$\bar{K}_T = \bar{H} / H_0$ \bar{H} : 수평면 일사량 H_0 : 대기권밖 수평면 일사량

VI. 結 論

本 研究를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 한국에서의 가정용 태양열 온수기에 대한 집열기 경사각은 연간 총일사량과 겨울철 일사량을 고려할 때 $\phi \leq \beta \leq (\phi + 15^\circ)$ 로 하는 것이 바람직하다.

2) 에너지 浪費를 막기 위한 온수기의 년평균 태양열 의존율은 85% 이하로 하는 것이 바람직하다.

3) 5人家族이 하루 400 liter의 溫水를 必要로 할 때 A구역에서 10枚의 집열기를 사용한 온수기를 設置하면 년평균 61~76%의 태양열 의존율을, B구역에서는 10枚를 사용하여 76~88%의 태양열 의존율을, C구역에서는 10枚를 사용하여 88~100%의 에너지를 태양열에 의존할 수 있을 것이다. 그러나 여기서의 태양열 의존율은 년평균값이므로 月別 태양열 의존율은 이보다 훨씬 적은 값을 가지는 달도 있을 것이다.

REFERENCE

- 1) R.S Chauhan and V Kadambi "Performance of a collector - cum - storage type of solar water heater" Solar energy Vol. 18 . 327 - 335(1976)
- 2) D. J Close "The performance of solar water heaters with natural circulation" Solarenergy, Vol .6, Jan, 33~ 40 (1962)
- 3) C.L ,Gupta and H.P, Garg "System design in solar water heaters with natural circulation" Solar energy Vol .12 , 163~182(1968)
- 4) J.T. Czarnecki "Performance of experimental solar water heaters in Australia" Solar energy, Vol . 2 July, 2~6 (1958)
- 5) A. Shitzer and etc. "Experiments with a flat -plate solar water heating system in thermosyphonic flow," Solar - energy Vol . 22, 27~35(1979)
- 6) D .J .Close "A design approach for solar processes" solar energy Vol . 11, 112 ~ 122(1967)
- 7) 國崎六男, 他, "太陽熱利用溫水供給 システムのシミュレ-ション" 冷凍, Vol. 51, No 587. pp 760 ~ 769(昭和 51)
- 8) S.T Liu and A.H. Fanney "Comparing experimental and computer predicted performance of solar hot water system" Ashrae J. Vol. 22 No 5. 34 ~ 41 (1980)
- 9) G.Gutierrez and etc. "Simulation of forced circulation water heaters: effects of auxiliary energy supply, load type and storage capacity" Solarenergy, Vol. 15. No 4 287 ~ 298(1974)
- 10) A. Whillier and G. Saluja "The thermal performance of solar water heaters Solar energy, Vol. 9. No 1 (1965)
- 11) 중앙기상대, "農業氣象觀測分室의 單期 平年값 (1972 ~ 1976) 4月 (1978)
- 12) S.A. Klein and etc. "A design procedure for solar heating systems" solar energy, Vol . 18, 113~127(1967)
- 13) B. Y .H. Liu and R. C, Jordan "A vailability of solar energy flat -plate solar heat collection" Applications of solar energy for heating and cooling of buildings" section 2 (1977)