

# 태양열주택 및 가정용 태양 온수시스템의 설계용 전산코드

## A Computer Code for an Optimum Design of Solar Space and Domestic Hot Water Heating System

임 동 주\* 전 문 현\*\* 윤 석 범\*  
(D. J. Im) (M. H. Chun) (S. B. Yoon)

### ABSTRACT

A computer code for an optimum design of solar space and domestic hot water heating system has been developed. The f-chart method developed by S.A. Klein et al. has been incorporated in the present computer code. The main conclusions obtained from the present work may be summarized as follows:

- (1) In Seoul area, about 46% of the total heating load can be obtained from the solar collectors whose total surface area is about one-third of the total heating floor area.
- (2) In Pusan area, total area of solar collectors should be about half of the total heating floor area in order to obtain an equivalent solar fraction of Seoul.
- (3) In cheju area, on the other hand, only about 42% of the total heating floor area of solar collectors is needed to get the same solar fraction as in Seoul and Pusan.
- (4) In order to get the first 50% solar fraction, only about 10-14 collectors (4'x8' collectors) are required, whereas about 48 collectors are needed to obtain the solar fraction of 100%. That is, roughly 3.5-4.5 times greater number of collectors are required to increase the solar fraction from 50% to 100%. Therefore, it can be concluded that it is relatively inefficient and less economical to build a solar system whose solar fraction exceeds more than 50%.

### I. 서 론

태양열에너지를 이용하는데 있어서 태양열 이용기술분야중 주택난방 및 급탕은 비교적 저온의 열에너지를 사용한다는 점에서 적용이 용이할뿐만 아니라 환경공해를 감소시켜 줄 수가 있다는 데 그 잇점이 있다고 볼 수가 있다. 본 논문에서 다루고져하는 연구 내용은 (1)난방 및 급탕을위한 비교적 저열원의 에너지에 관한 것으로 이의 활용도를 높이기 위하여 F-chart<sup>1)</sup>법을 이용하여 액체식 태양집열기에 대한 성능평가 및 설계

법을 수립하고자 하는 것과, 또 한가지는 (2) 난방 및 급탕에서 필요로하는 가정용 에너지의 효율적인 대체효과를 기하기 위한 것이다. 즉 본 연구의 주 내용은 (1)기본 지배방정식, (2) 열부하, (3)태양열 의존율 산출을 위한 전산프로그램의 개발 등에 관한 것이며 끝으로 이에대한 결과와 그 내용을 검토하였다.

### II. 기본 지배방정식

II - I. 경사면일사량, 성능 및 설치방향

액체식집열기에 의해서 얻을 수 있는 유효집열량  $Q_u$  는 일반적으로 다음과 같은 식에서 얻

\* 正會員 단국대학원

\*\* 正會員 한국과학원

을 수 있다.<sup>2)</sup>

$$Q_u = F_R A [ I_t (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_o) ] = AG C_p (T_i - T_o) \quad (1)$$

설비형 태양열시스템에서 태양열집열기는 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 적절한 방위 및 경사각으로 설치하여야 한다. 그러나 경사면 일사량에 대한 측정자료가 마련되어 있지 않으므로 수평면 일사량으로부터 계산할 수밖에 없다. 이의 계산방법으로서 Liu와 Jordan의 방법을 소개하면 다음과 같다.<sup>3)</sup>

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

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

$$K_t = H/H_o \quad (4)$$

$$H_o = (24/\pi) I_{sc} [ 1 + 0.033 \cos(360 n/365) ] \times [ \cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + (\omega_s / 2\pi) \sin \phi \sin \delta ] \quad (5)$$

$$H_d/H = 1.390 - 4.027 K_t + 5.531 K_t^2 - 3.108 K_t^3 \quad (6)$$

$$\delta = 23.45 \times \sin [ 360 \times (284 + n) / 365 ] \quad (7)$$

$$R_b = \frac{\cos(\phi - S) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (8)$$

윗 식에서  $H_d/H$ 는 수평표면의 일사량에 대한 확산일사량의 비율이며  $R_b$ 는 수평표면에 대한 경사표면의 직달일사량의 비율을 나타낸다. Liu와 Jordan은  $R_b$ 를 대기권 밖 일사량에 대한 경사면상의 일사량비율로서 계산할 수 있다고 하였다. 지면반사율  $\rho$ 는 Klein<sup>4)</sup>의 실측에 의하면 Liu와 Jordan이 제안한 것과 같이 보통 때는 0.2로 하고 눈이 1 inch 이상 덮일 때는 0.7로 하는 것이 바람직하다고 하였다. 또한 태양열집열기 성능시험결과는 보통 집열효율  $\eta$ 로 표시하며 다음과 같다.

$$\eta = Q_u / AI_t$$

또한 태양열 집열기 설치방향은  $(\tau \alpha)_n$ 에 대한 실제 월평균 투과흡수율  $(\tau \alpha)$ 의 비로 표시되며 일사량을 구성하고 있는 직달복사, 확산복사, 및 지면반사복사의 성분별로 다음과 같이 표시된다.

$$(\tau \alpha) / (\tau \alpha)_n = (1 - H_d/H) (R_b / R) \{ (\tau \alpha)_b / (\tau \alpha)_n \} + (H_d/H) (1/R) (1 + \cos S) / 2 \{ (\tau \alpha)_d / (\tau \alpha)_n \} + \rho (1/R) (1 - \cos S) / 2 \{ (\tau \alpha)_r / (\tau \alpha)_n \} \quad (9)$$

### II-2 열 부 하

F-Chart법을 이용하여 태양열시스템의 장기성능을 산정하기 위하여 월별 열부하를 계산하여야 한다. 열부하는 건물이 위치한 지역, 건물의 형태, 설치방향 및 구조와 밀접한 관계가 있으므로 정확한 계산을 하기 위해서는 상세한 자료들이 필요하다. 본 연구에서는 표준주택으로 선정한 20평주택<sup>5)</sup>을 서울, 부산, 제주지방에 건축한다고 가정하여 다음과 같은 식으로 난방부하를 계산하였다.

$$L_s = UA \times DD \quad (10)$$

여기에서 난방도일값(DD)는 일일중 최고 및 최저 외기온도의 산술평균값과 실내온도 18°C의 차이로 계산했으며, 실내쾌적온도는 22°C로 보았다. 그 이유는 전등, 취사, 인체 등에서 발생하는 열과 창문을 통하여 입사되는 태양열의 영향 때문이다. 급탕부하는 생활양식에 따라 많은 차이가 있겠으나 3개지역 공히 하루 일인당 50 liter를 사용하는 것으로 하여 다음식으로 계산하였다.

$$L_w = V \rho C_p (T_w - T_o) \quad (11)$$

### II-3 시스템 열적성능

태양열시스템의 월간 에너지평형식은 다음과

같다.

$$\Delta U = \theta_T - L + E$$

태양열시스템에 사용되는 축열조의 크기로는 월간  $\Delta U$ 가  $\theta_T$ ,  $L$ , 및  $E$ 에 비하여 대단히 적으므로 0으로 간주된다. 이렇게 될 경우 소요 열부하를 담당한 태양열 즉 태양열 의존율  $f$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$f = (L - E) / L = \theta_T / L \quad (12)$$

식 (12)는  $\theta_T$ 가 기상조건 및 열부하와 함수관계에 있으므로 직접 계산될 수는 없다. 이 식에서  $f$ 는 두무차원 변수의 함수이다. 이 두무차원 변수는 다음과 같다.

$$X = F_R U_L \cdot (F_{R'} / F_R) \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \cdot A / L \quad (13)$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \cdot (F_{R'} / F_R) \cdot (\tau \alpha) / (\tau \alpha)_n \cdot H_T \cdot A / L \cdot N \quad (14)$$

태양열 의존율  $f$ 와 두 무차원변수  $X$ 와  $Y$ 의 관계를 그래프나 식으로 나타내어 태양열시스템의 성능을 구할 수 있도록 한 것이 F-Chart법인데 액체식의 경우 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (0 < Y < 3, \quad 0 < X < 18) \quad (15)$$

여기서  $f$ 의 값은 월별 태양열 의존율이므로 년간 태양열 의존율은 월별 태양열 의존량의 합산 값을 년간 열부하로 나누어 구한다.

#### II-4 성능수정계수

Klein이 제시한 설비형 태양열시스템의 설계 기준은 F-Chart 개발에 일정한 값이 적용된 것이므로, 각 성능인자가 태양열시스템에 미치

는 영향을 고려할 필요가 있다. 액체식태양열시스템에 미치는 인자는 크게 집열액체유량, 수조식축열용량 및 부하열교환기용량 등이 있다.

#### (1) 집열액체유량

태양열시스템의 성능을 최대로 하기 위한 집열액체유량은 무한대이다. 그러나 집열액체유량과 집열성능과의 관계는 점근선적이다. 집열액체유량을 적게 하면  $F_R$  또는  $F_{R'}$ 의 감소로 집열량도 현저히 줄어든다. 특히 이 경우에는 집열액체의 비등으로 인한 열손실도 초래된다. 보통 집열액체의 열용량은 집열면적 1  $m^2$ 당 43 Kcal /  $hr^\circ C$  이상만 된다면 집열성능에 큰 영향을 미치지 않으므로 집열액체유량이 0.015  $l/s m^2$  이상에 대하여는 별도의 수정계수를 정할 필요가 없다.

#### (2) 수조식 축열조용량

F-Chart는 수조식 축열조용량을 집열기 설치면적  $m^2$ 당 75  $l$ 로 개발된 것이다. 액체식 태양열시스템은 축열조 용량에 의하여 그 성능이 크게 좌우될 수도 있다. 그러나 적정용량의 결정은 경제성이 감안되어야만 가능하다. 수조식 축열조용량이 75  $l/m^2$ 으로 하지 않을 경우에는 무차원변수  $X$ 를 다음과 같이 수정하여 F-Chart에 적용한다.

$$\begin{aligned} \text{축열조용량 수정계수} &= X_c / X \\ &= (M / 75)^{0.25} \quad (16) \\ &\quad (37.5 < M < 300) \end{aligned}$$

태양열 의존율이 낮은 경우에는 축열조용량이 성능에 크게 영향을 미치지 않으나 태양열 의존율이 높은 경우에는 축열조용량이 적으면 성능이 크게 저하된다.

#### (3) 부하열교환기용량

부하열교환기용량은 무차원변수  $\epsilon_L C_{min} / UA$ 로 표시된다. F-Chart는 열교환기 용량을 2로 개발되었다. 만일 열교환기용량이 이 값과 다를

때는 무차원변수 Y를 다음과 같이 수정하여 F-Chart에 적용한다.

$$\begin{aligned} \text{부하열교환기의 수정계수} &= Y_c / Y \\ &= 0.39 + 0.65 \text{EXP}\left(\frac{-0.139}{\epsilon_L C_{\min} / UA}\right) \quad (17) \\ &\quad (0.5 < \epsilon_L C_{\min} / UA < 50) \end{aligned}$$

### III. 태양열 의존율산출을 위한 전산프로그램

위에서 설명한 기본지배방정식을 이용하여 태양열시스템의 적정규모를 태양열집열기의 설치면적으로부터 구할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 사용한 컴퓨터는 HP-9845 B 시스템으로 용어는 HP-BASIC이다. 이 프로그램에서는 기상자료, 시스템설계자료가 입력자료로서 필요한데, 기상자료는 중앙기상대 관측자료인 월별 수평면 일사량(1972~1976)<sup>6)</sup>에서 일사량을 얻었고 외기온도는 한국기후표(1951~1980)<sup>7)</sup>에서 얻었다. 서울, 부산, 제주지방의 기상자료는 표 1~표 3과 같다.

표 1. 서울지방의 기상자료

위 치: 서울      위 도: 37.5  
설계외기온도: -10.5      시수온도: 13.7

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
일 사 량	1720	2155	2378	3250	3792	3613	2958	2791	2914	2383	1772	1576
월평균외기온도	-3.5	-1.1	4.1	11.4	17.1	21.1	24.5	25.3	20.5	13.9	6.6	-0.6
난 방 도 일	666.5	534.8	430.9	198	27.9	0	0	0	0	127.1	342	576.6

표 2. 부산지방의 기상자료

위 치: 부 산      위 도: 35.1  
설계외기온도: -5.4      시수온도: 16.2

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
일 사 량	1419	1635	2264	2330	2813	2799	2341	2739	2219	1745	1398	1384
월평균외기온도	2.2	3.8	7.7	12.7	17.1	20.0	23.9	25.5	21.8	17.0	11.1	5.1
난 방 도 일	489.8	397.6	319.3	159	27.9	0	0	0	0	31	207	399.9

표 3. 제주지방의 기상자료

위 치: 제 주      위 도: 33.5  
설계외기온도: 0.3      시수온도: 16.6

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
일 사 량	1355	1470	2996	3401	3883	4271	3886	4387	3116	2232	1819	1335
월평균외기온도	5.2	5.6	8.4	13	16.9	20.7	25.5	26.4	22.4	17.4	12.3	7.7
난 방 도 일	396.8	347.2	297.6	150	34.1	0	0	0	0	18.6	171	319.3

그리고 집열기설치각은 위도 ± 15 °C 범위내에서는 태양열시스템의 성능에 큰 차이가 나지 않

는다는 연구결과를 이용하여 45 °C로 하였으며, 지면반사율은 0.2로 하였고  $F_R(\tau\alpha)_n$  과  $F_R U_L$ 의 값은 0.77과 5.4로 하였다. 열부하중에서 난방부하는 표 1~표 3의 외기온도를 사용하여 계산하였다. 그 결과를 소개하면 서울지방은 41114.7 Kcal/hr, 부산지방은 3623.80 Kcal/hr, 제주지방은 2820 Kcal/hr이고 급탕부하는 한가족이 일일 200 liter를 사용하는 것으로 하였다. 위에 제시한 자료들을 이용한 전산프로그램의 순서도는 그림 1과 같다.

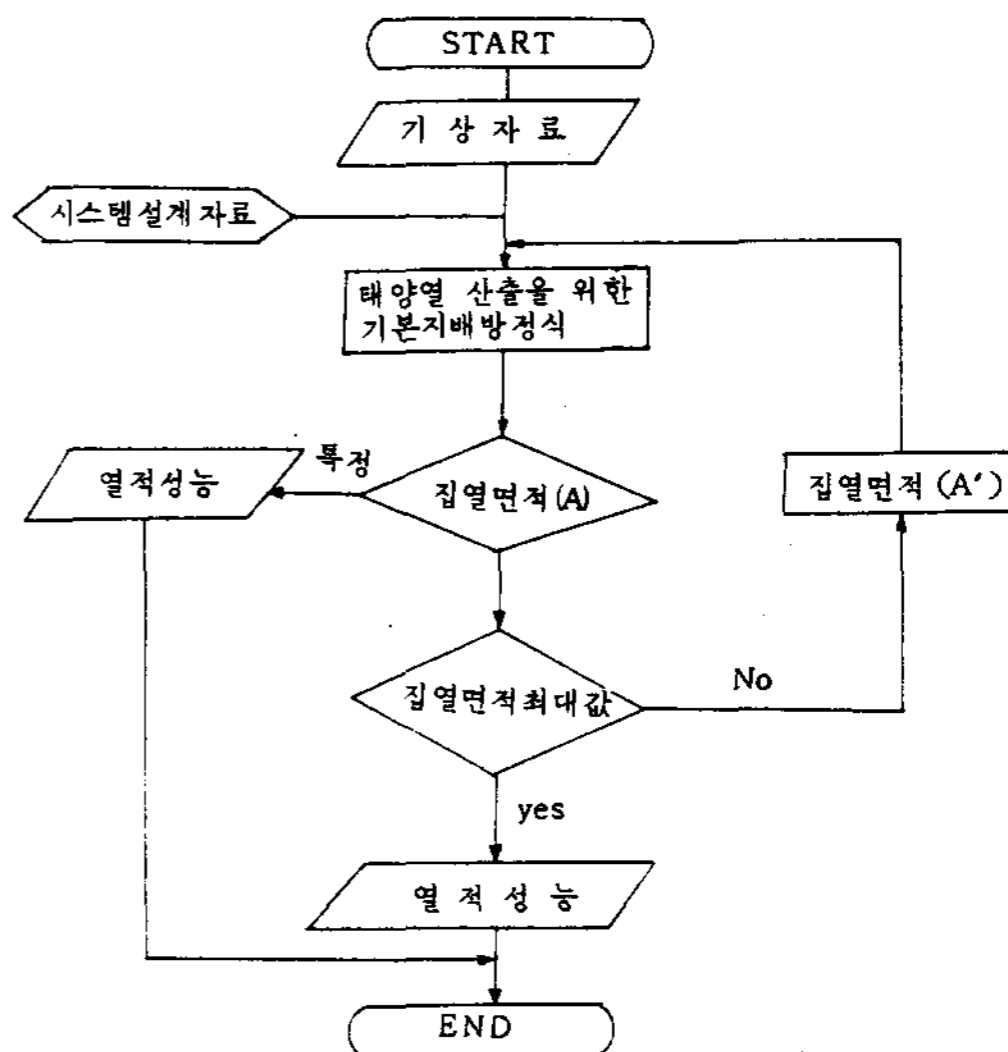


그림 1. 태양열 의존율 산출 프로그램 순서도

### IV. 결과 및 토의

위에서 언급한 입력자료에 의하여 집열기면적을 증가시키면서 태양열의존율과의 관계를 나타낸 것이 표 4와 같다. 여기에서 난방면적의 1/3에 해당하는 23.4 m<sup>2</sup>의 집열기면적에 대하여 살펴보면 태양열의존율은 서울이 46%, 부산이 35.5%, 제주가 43.8%인 것으로 나타났다. 총열부하와의 관계를 보면 서울이 총열부하가 12122Mcal인데, 태양열의존율은 46%로 다른지역에 비해 가장 좋게 나타났고, 부산지방은 9646 M cal의 총열부하에 태양열의존율이 35.5%인 것으로 나타났다. 제주지방은 총열부하가

9215 M cal 인데 태양열의존율이 43.8%이다. 이것은 그만큼 서울지방이 천공일사량이 많다는 것을 의미하는데, 부산과 제주지방의 경우는 태양열의존율이 35.5%와 43.8%로 큰 차이를 나타냈다. 그만큼 기상조건이 태양열주택을 건설하는데 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

표 4. 집열매수별 태양열 의존율

지 역 집열판매수(면적: m <sup>2</sup> )	지 역		
	서 울	부 산	제 주
4 (11.5 m <sup>2</sup> )	27.8%	18.7%	29 %
8 (23 m <sup>2</sup> )	46.0	35.5	43.8
12 (34.6 m <sup>2</sup> )	57.4	45.6	52.1
16 (46 m <sup>2</sup> )	66.1	53.7	59.5
20 (57.5 m <sup>2</sup> )	73.4	62.3	66.3
24 (69.2 m <sup>2</sup> )	78.9	70.8	69.6
28 (80.74m <sup>2</sup> )	84.4	77.9	77.9
32 (92 m <sup>2</sup> )	89.0	84.4	83
36 (103.5m <sup>2</sup> )	92.3	89.7	88.7
40 (115 m <sup>2</sup> )	95.9	94.8	95.2
44 (126.6m <sup>2</sup> )	98.9	98.8	98.3
48 (138.4m <sup>2</sup> )	100	100	100

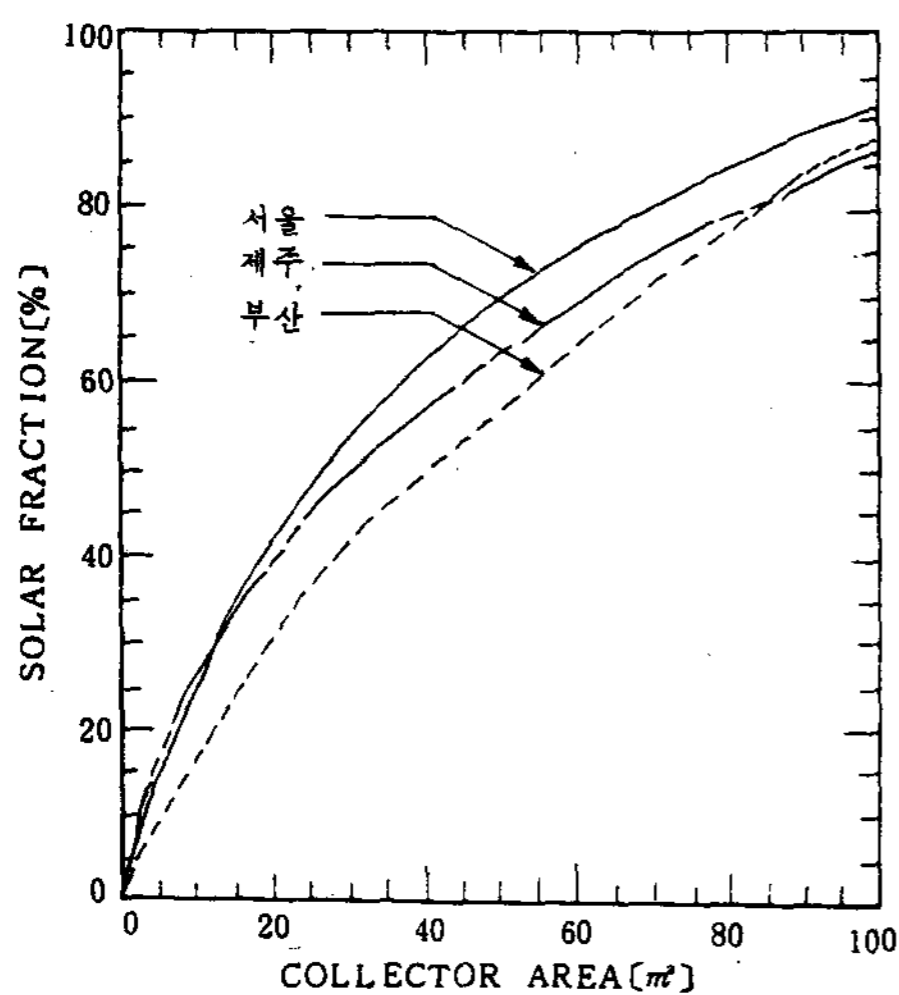


그림 2. 집열기 면적당 태양열 의존율

## V. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론을 종합하면 다음과 같다.

(1) 서울지방에서는 난방면적의  $\frac{1}{3}$  정도에 해당하는 집열기면적으로 46% 정도의 태양열 의존율을 얻을 수 있다.

(2) 부산지방은 서울과 비슷한 정도의 태양열의존율을 얻기 위하여 난방면적의 0.5에 해당하는 집열기면적이 필요하다.

(3) 제주지방에서는 서울, 부산과 같은 정도의 태양열의존율을 얻기 위하여 난방면적의 0.42에 해당하는 집열기면적이 필요하다.

(4) 처음 50% 정도의 태양열 의존율을 얻기 위하여 10매~14매 정도의 집열기매수가 필요하나, 50%가 증가한 100%의 태양열 의존율을 얻기 위하여는 3.5~4.5배가 증가한 48매의 집열기매수가 필요하다. 그러므로 50% 이상의 태양열 의존율을 얻기 위한 태양열주택을 건설하는 것은 비효율적이라고 할 수 있다.

## References

1. W. A. Beckman, S. A. Klein and J. A. Duffie, "Solar Heating Design by the F-Chart Method", John Wiley and Sons, Inc New York, 1977
2. J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Energy Thermal Process", John Wiley and Sons, New York, 1974
3. B. Y. Liu and R. C. C. Jordan, "Daily Insolation on Surface Tilted towards the Equator", Trans. ASHRAE, pp526, 1926
4. S. A. Klein, "Calculation of Monthly Averages Insolation on Tilted Surface", Solar Energy, Vol1, 19 No.4 pp325 ~ 329, 1977

5. “에너지절약형 주택설계를 위한 연구”, 한국종합에너지연구소.
6. “1972 ~ 1976년 월별 수평면 일사량”, 중앙기상대
7. “한국기후표(1951 ~ 1980)”, 중앙기상대