

태양복사와 대기온도시계열에 따르는 태양집열기의 집열성능예측에 대한 연구

류광성, 은경호, 정국철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《풍력과 조수력, 생물질과 태양에너지에 의한 전력생산을 늘이며 자연에너지의 리용범위를 계속 확대하여야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 50페이지)

태양열리용체계의 장기성능을 정확히 예측하는것은 체계의 설계와 운영에서 나서는 중요한 문제이다.

선행연구[2, 3]에서는 태양에너지리용지역의 태양복사특성을 밝히는데 기초하여 태양 열리용체계의 장기성능을 예측하고 체계의 리용률을 높이고있다.

본문에서는 평양지방에서 태양복사와 대기온도시계열에 따르는 태양집열기의 월평균 하루효률을 예측하였다.

1. 태양집열기의 집열성능

태양집열기의 순간효률에 대한 정상상태모형은 다음과 같다.[1]

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{F_R [I_T (\tau\alpha)_{av} - U_L (T_i - T_a)]}{I_T} = F_R \left[(\tau\alpha)_{av} - \frac{U_L (T_i - T_a)}{I_T} \right] \quad (1)$$

여기서 Q_u 는 유효열생산성 (W/m^2)이며 G_T 와 T_a 는 각각 경사면태양복사밀도 (W/m^2)와 대기온도 ($^{\circ}C$)로서 조절할수 없는 파라미터들이며 F_R 와 U_L 은 각각 집열기열이동인자와 집열기열손실결수 ($W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$)로서 집열기의 구조와 재료 및 류체흐름속도에 관계되는 량들이다. 또한 $(\tau\alpha)_{av}$ 는 평균투과흡수적으로서 집열기의 광학적특성을 나타내는 조절가능한 량이다.

집열기열이동인자들은 다음과 같다.

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (2)$$

$$F' = \frac{1}{U_L} \frac{1}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{\tanh m(W - D)/2}{m(W - D)/2} \\ m &= \sqrt{U_L / k\delta} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

식 (2)에서 \dot{m} 는 집열기에서 열전달류체의 질량흐름속도 (kg/s)이며 C_p 는 정압비열용량 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$), A_c 는 집열면적 (m^2), F' 는 집열기효율인자이다. 식 (3)에서 W 는 집열기흡수판의 너비(m), D 는 집열관의 외경, C_b 는 흡수판과 집열관의 접촉열전도도 ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), D_i 는 집열관의 내경, h_{fi} 는 집열류체와 집열관벽사이의 대류열전달계수 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)이며 F 는 집열기흡수판의 록폴효율로서 식 (4)와 같다. k 와 δ 는 각각 흡수판의 열전도도와 두께이다.

$F_R(\tau\alpha)_{av}$ 는 태양에너기가 집열기에 얼마나 흡수되는가 그리고 $F_R U_L$ 은 집열기에서 손실이 얼마인가를 나타낸다. 이 2개의 파라미터는 가장 실제적인 집열기모형을 구성한다. 세번째 파라미터는 태양빛입사각의 영향을 반영한것으로서 입사각보정인자 $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ 이며 이것은 직달복사의 입사각 θ_b 의 함수이다.

태양집열기의 장기성능을 예측하기 위해서는 월평균하루효율을 평가하여야 한다. 즉

$$\eta_{\text{하루}} = \frac{\sum q_u}{\sum I_T} \quad (5)$$

$$\bar{\eta}_{\text{하루}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_{\text{하루}} \quad (6)$$

집열기의 성능예측을 위한 태양집열기의 특성은 표와 같다.

식 (1)에서 경사면태양복사 I_T 를 시간별태양복사 I_T^i 로 표시하면 다음과 같다.

$$I_T^i = I_b^i \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d^i \frac{1 + \cos \beta}{2} + I_{\rho_g}^i \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (7)$$

I_T^i , I_b^i , I_d^i , I^i 는 각각 i 번째 시각의 경사면태양복사밀도, 수평면직달복사흐름밀도, 수평면산란복사흐름밀도, 수평면총복사흐름밀도이며 ρ_g 는 지면반사도, θ , θ_z , β 는 복사수집면에 대한 태양빛입사각, 태양천정각, 면의 경사각이다.

복사수집면에 대한 태양빛입사각 θ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cdot \cos \beta + \sin \theta_z \cdot \sin \beta \cdot \cos(\omega - \gamma) \quad (8)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (9)$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (10)$$

표. 태양집열기의 특성

특성량	값
집열기경사각 $\beta/(^\circ)$	50
면방위각 $Y/(^\circ)$	0(남향)
투과흡수계수 $(\tau\alpha)_{av}$	0.850
열손실계수 $U_L/(\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1})$	1, 4, 8
효율인자 F'	0.841
질량흐름속도 $\dot{m}/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	0.03
류체입구온도 $T_i/^\circ\text{C}$	20~40
집열기열이동인자 F_R	0.797

식 (8)에서 ω 와 γ 는 각각 태양의 방위각(시간각)과 복사수집면의 방위각으로서 남향면에서 $\gamma=0^\circ$ 이고 정오때 $\omega=0^\circ$ 이다. 식 (9), (10)에서 ϕ 와 δ 는 지역의 위도와 적위이며 n 은 루제날자수이다.

2. 태양집열기의 집열성능예측결과

평양지방의 1월 태양복사와 대기온도시계열자료를 집열성능예측에 리용하였다. 먼저 수평면복사와 경사면 ($\beta=50^\circ$) 복사를 예측하고 비교하였다.(그림 1)

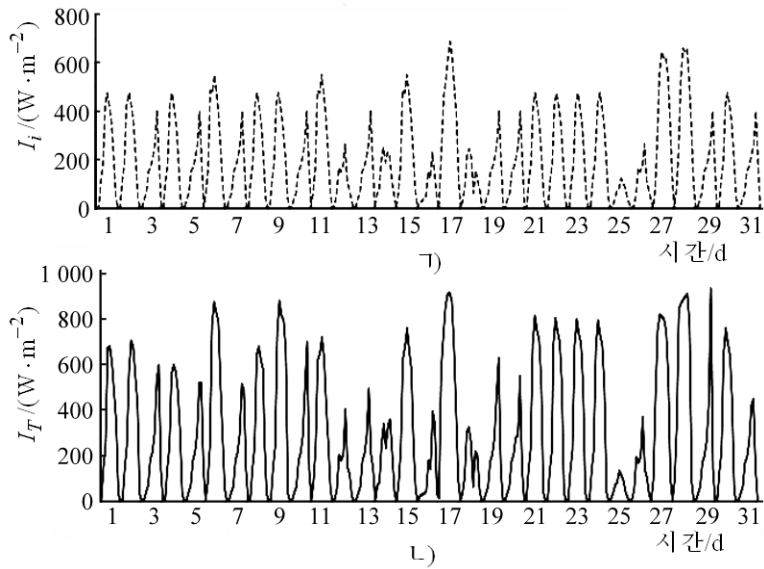


그림 1. 수평면복사(Γ)와 경사면복사(L)

평양지방에서 1월 수평면복사량은 267MJ, 경사면복사량은 325MJ로서 50° 경사면이 받는 복사량은 수평면보다 22% 더 많다.

다음으로 집열기의 열손실계수와 입구온도의 변화에 따르는 태양집열기의 열생산성과 월평균하루집열효율을 예측하였다.

평양지방에서 1월 하루경사면태양복사량에 따르는 각이한 특성을 가진 태양집열기들의 열생산성은 그림 2와 같다.

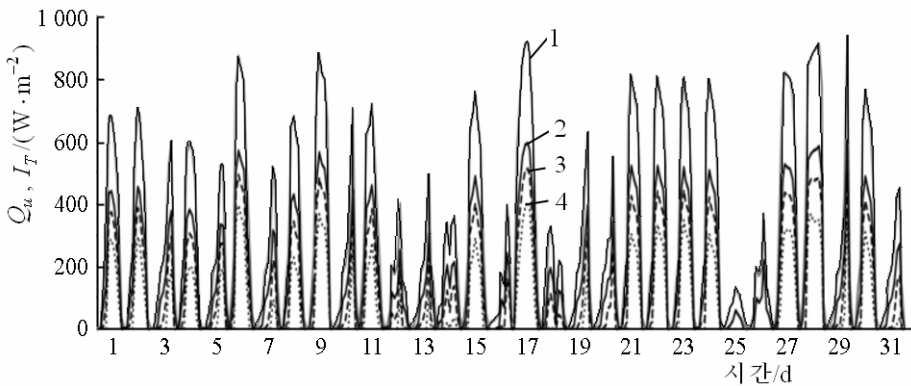


그림 2. 태양집열기들의 열생산성

1은 I_T , 2-4는 U_L 이 각각 1, 4, 8W/(m²·°C) 인 경우의 Q_u

그림 2에서 보는바와 같이 열손실계수가 작은 집열기에서는 태양복사가 작은 날들에도 열생산성이 있다는것을 알수 있다.

결국 각이한 특성을 가지는 태양집열기들의 1월평균하루효율은 집열기의 열손실계수와 류체입구온도가 증가할수록 감소한다.(그림 3,4)

이와 같이 해당 지역의 태양복사시계열특성을 반영하여 태양집열기의 성능을 정

확히 예측함으로써 열부하특성에 따르는 태양열체계의 설계를 최적화하고 리용률을 높일수 있다.

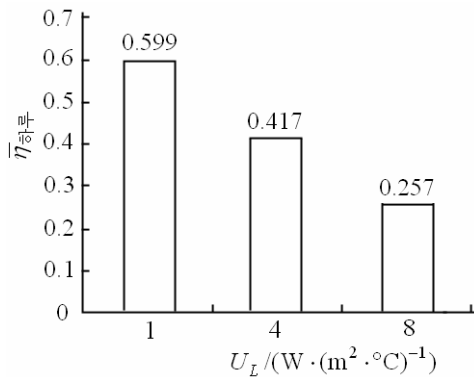


그림 3. 집열기열손실계수에 따르는 월평균하루효율 ($T_i = 30^\circ\text{C}$)

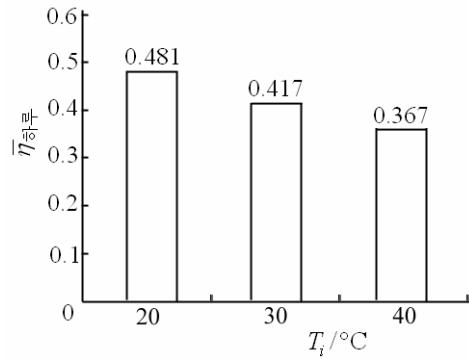


그림 4. 집열기류체입구온도에 따르는 월평균하루효율 ($U_L = 4\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

맺는 말

태양복사와 대기온도시계열에 따르는 태양집열기의 월평균하루효율을 예측한 결과 태양집열기의 집열성능은 평양지방에서 1월 평균하루효율이 열손실특성에 따라 25~60%이고 운영온도가 20~40°C일 때 37~48%이다.

참고 문헌

- [1] S. Kalorgi; Solar Energy Engineering, Springer, 25~134, 2009.
- [2] D. Janne et al.; Solar Radiation and Thermal Performance of Solar Collectors for Denmark, 21~45, 2012.
- [3] T. Khatib; International Journal of Photoenergy, 1, 2015.

주제 107(2018)년 6월 5일 원고접수

On the Estimation of the Thermal Performance of Solar Collector Corresponding to Solar Radiation and Time Series of Atmosphere Temperature

Ryu Kwang Song, Un Kyong Ho and Jong Kuk Chol

We estimated solar collector's daily efficiency averaged monthly corresponding to solar radiation and time series of atmosphere temperature.

Key words: solar collector, solar radiation, efficiency