

고공에서 복사와 대류열교환에 의한 태양전지판의 온도변화

래 기 훈

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

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

성충권에서 직달태양복사만 있다는 가정하에서 낮시간 태양에너지복사량분포, 위도와 계절(날자와 시간)에 따르는 복사량을 연구하고 수평면과 경사면에서의 태양에너지자원량과 온도와 반사를 고려하여 전지의 출력이 고찰[1, 2]되었으며 태양에너지만을 리용하여 비행하는 시험[3]들이 진행되였다.

각이한 태양전지에서 양자에너지가 연구되었으며 태양전지판의 변환효율은 표준시험조건(태양복사량 $1\,000\text{W}/\text{m}^2$, $T_n = 25^\circ\text{C}$, 태양고도 41.8° , 입사각이 0°)에서 시험으로 결정되며 태양전지판의 출력은 온도증가에 따라 감소한다.[4]

여기서는 태양전지판은 상대적으로 얇고 두께에 따르는 온도는 균일하고 판의 아래면에서는 공기흐름이 없으며 효율 η_s 의 변화는 다음식으로 결정된다고 가정한다.[4]

$$\eta_s(T_s) = \eta_{sn}(1 + k_p \cdot \Delta T), \quad \Delta T = T_s - T_n \quad (1)$$

여기서 T_s 는 전지판의 온도, T_n 은 표준시험조건에서 전지판의 온도, η_{sn} 은 표준시험조건에서 전지판의 효율, $k_p(1/^\circ\text{C})$ 는 출력온도결수이다. 전지판의 열경계의 영향은 고려하지 않는다.

1. 전지판의 온도변화방정식

태양전지판의 온도는 전지판에서 열발생량, 전지판과 주위공기와의 복사열교환, 표면을 통한 공기와의 열교환량에 관계된다고 볼수 있다.

전지에 복사된 태양에너지중에서 출력과 반사에너지를 제외한 부분은 열에너지로 전환된다. 그러므로 전지판에서 단위면적에서 단위시간당 열발생량 \dot{q}_g 는

$$\dot{q}_g = (1 - \eta_{sn}(1 + k_p(T_s - T_n)))I_0\chi^m(1 - r)\cos\beta \quad (2)$$

로 놓을수 있다. 여기서 I_0 은 태양상수, χ 는 투과결수, m 은 빛경로의 공기질량비, r 는 태양에너지반사율, β 는 입사각이다.

전지의 윗면에서는 강제대류열교환이 기본이며 전지의 단위면적당 열방출량 \dot{q}_c 는

$$\dot{q}_c = h_c(T_s - T_{air}) \quad (3)$$

로 평가할수 있다.[5] 여기서 h_c 는 전지의 바깥면에서 강제대류열교환결수이고 T_{air} 는 공기의 온도이다. h_c 는 일반적으로 흐름의 레널즈수와 프란틀수의 함수이며 수평평판인 경우에

$$h_c = 0.66 \frac{\lambda}{L} \text{Re}_L^{1/2} \cdot \text{Pr}^{1/3}, \quad \text{Re}_L < 5 \cdot 10^5$$

$$h_c = 0.036 \frac{\lambda}{L} \text{Re}_L^{0.8} \text{Pr}^{1/3}, \quad 5 \cdot 10^5 < \text{Re}_L$$

로 된다.[5] 여기서 λ 는 공기의 열전도계수, L 은 판의 길이, $\text{Re}(=VL/\nu)$ 는 레널즈수, $\text{Pr}(=c_p\rho\nu/\lambda)$ 는 프란틀수, V 는 전지판에 대한 공기의 상대흐름속도, c_p 는 공기의 등압비열, ν 는 공기의 점성계수, ρ 는 공기의 밀도이다.

전지의 아래는 막혀있는 공간이므로 자연대류를 무시하면 열전도가 기본으로 된다. 그러므로 단위면적당 열흐름 \dot{q}_f 는 근사적으로

$$\dot{q}_f = \frac{\lambda(T_S - T_{air})}{b} \quad (4)$$

로 평가할수 있다. b 는 전지판의 평균두터이다.

전지판의 아래우표면에서 복사에 의한 열방출량은

$$\dot{q}_r = 2\sigma(\varepsilon_a T_{air}^4 - \varepsilon_s T_s^4) \quad (5)$$

으로 평가할수 있다. 여기서 $\sigma(=5.672 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4})$ 는 슈테판-볼츠만상수, ε_a 와 ε_s 는 각각 대기와 전지판의 복사계수이다.

이상의 고찰로부터 전지판의 온도변화에 대한 방정식은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$C_S \frac{dT_S}{dt} = \dot{q}_g - \dot{q}_c - \dot{q}_f - \dot{q}_r = 2\sigma(\varepsilon_a T_{air}^4 - \varepsilon_s T_s^4) - h_c(T_S - T_{air}) - \frac{\lambda(T_S - T_{air})}{b} - (1 - \eta_{sn} k_P (T_S - T_n)) I_0 \chi^m (1 - r) \cos \beta \quad (6)$$

여기서 C_S 는 전지판의 단위면적당 열용량이다.

방정식 (6)에서 변수 m 과 r , β 들은 위도와 날자, 그 날자의 해비침시각의 함수로 되며 전지판의 방위각(γ)과 경사각(θ)에 관계된다.

전지판의 방위각 γ 와 경사각 θ 가 주어진 경우에 전지판에 입사되는 태양에너지는

$$I_0 \chi^m (1 - r) \cos \beta = I_0 \chi^m (1 - r) (a + b \cos(t) + c \sin(t)) \quad (7)$$

로 계산된다.[3] 여기서

$$a = \sin \delta (\sin \varphi \cos \theta + \cos \varphi \sin \theta \cos \gamma)$$

$$b = \cos \delta (\cos \varphi \cos \theta + \sin \varphi \sin \theta \cos \gamma)$$

$$c = -\cos \delta \sin \gamma \sin \theta$$

이며 t 는 태양의 시간각이다.[3]

해당 지역의 평균태양시 t_a 와 해당 경도의 평균태양시 t_L 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$t_L = t_a - \Delta t, \quad \Delta t = (\psi_0 - \psi_L) \times \frac{24}{360}$$

여기서 ψ_0 는 해당 지역의 기준경도선, $\psi_L(t)$ 는 전지판이 있는 위치의 경도이다. 전지판이 수평면이 아닐 때에는 해가 비치는 시각과 비치지 않는 시각이 수평면과 다르다는것을 타산하여야 한다.[1]

전지의 단위면적당 출력은 식 (1)과 (6)에 의하여

$$I(t) = I_0 \chi^m \eta_{sn} (1-r) (1+k_p \cdot (T_s - T_n)) (a + b \cos(t) + c \sin(t)) \quad (8)$$

로 결정되며 하루 해가 비치는 시간동안 얻어지는 단위면적당 전기에너지는

$$W = \int_{t_0}^{t_1} I_0 \chi^m \eta_{sn} (1-r) (1+k_p \cdot (T_s - T_n)) (a + b \cos(t) + c \sin(t)) dt \quad (9)$$

로 된다.

2. 계 산 실 험

계산은 고도 2 000m, 위도 39°N에서 동지와 춘(추)분, 하지날에 대하여 전지판이 수평으로 놓여있는 경우에 진행하였다.

고도 $H=20\text{km}$ 에서 공기의 밀도는 $\rho=0.0879\text{kg/m}^3$, 점성계수와 열전도계수는 $\nu=1.819 \cdot 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$, $\lambda=4.6617 \cdot 10^{-6}\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 온도는 $-56.5^\circ\text{C}(216.66\text{K})$ 이다. 전지판에 대한 공기의 상대속도를 30m/s , 전지판피막의 상대굴절률을 1.5, 전지판의 폭을 1m , 전지판의 평균두터이를 0.2m 라고 하고 미분방정식 (6)의 초기조건은 $t=0$ (해가 비치기 시작한 시점)에서 온도는 대기온도 $T_s(0)=T_{air}=216.66\text{K}$ 로 놓았다. 그리고 $\chi=0.93$, $\eta_n=20\%$, $k_p=-0.45\%/K$, $C_s=90\text{W/m}^2$, $\varepsilon_a=\varepsilon_s=1$ 로 가정하고 위도와 경도의 변화는 고려하지 않았다.

그림 1에 하루 전지판의 온도변화와 효율변화를 주었다. 시간축은 해가 비치기 시작 시각을 0으로 취하였다. 해비침시간은 동지날에는 9.26h이고 춘(추)분날에는 12h이며 하지에는 14.7h이다. 전지판의 온도는 동지날에 가장 낮으므로 전지판의 효율은 제일 높다.

계산결과는 모든 날자들에 효율이 4~7% 높아진다는것을 보여준다.

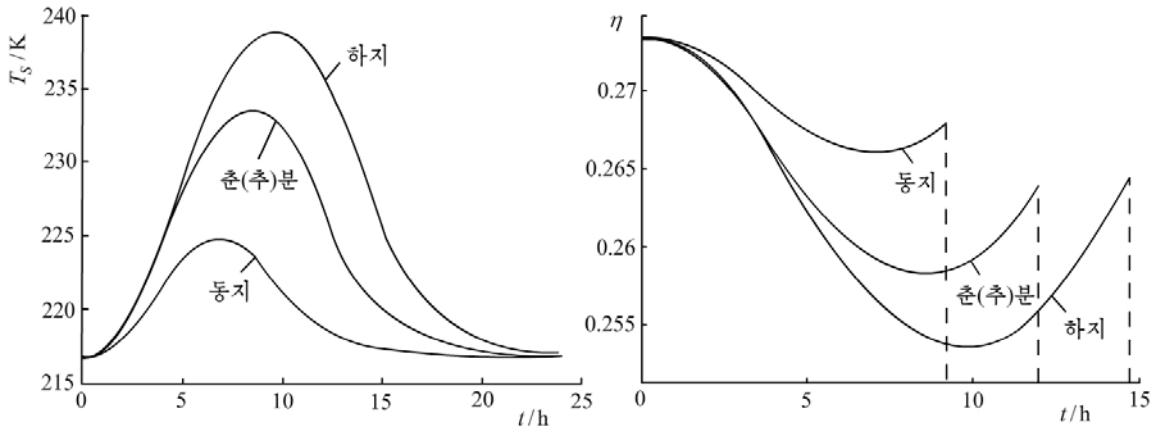


그림 1. 전지판의 온도와 효율의 하루변화

그림 2에 강제대류열교환과 열전도열복사에 의하여 태양전지판으로부터 단위시간동안 방출되는 단위면적당 열량의 시간에 따르는 변화와 출력변화를 보여주었다. 그림 2에서 보는것처럼 강제대류열교환에 의한 열방출이 가장 크고 전지판밀면에서 열전도에 의한 열방출은 매우 작으며 복사에 의한 열방출도 대류열교환에 비하여 작다.

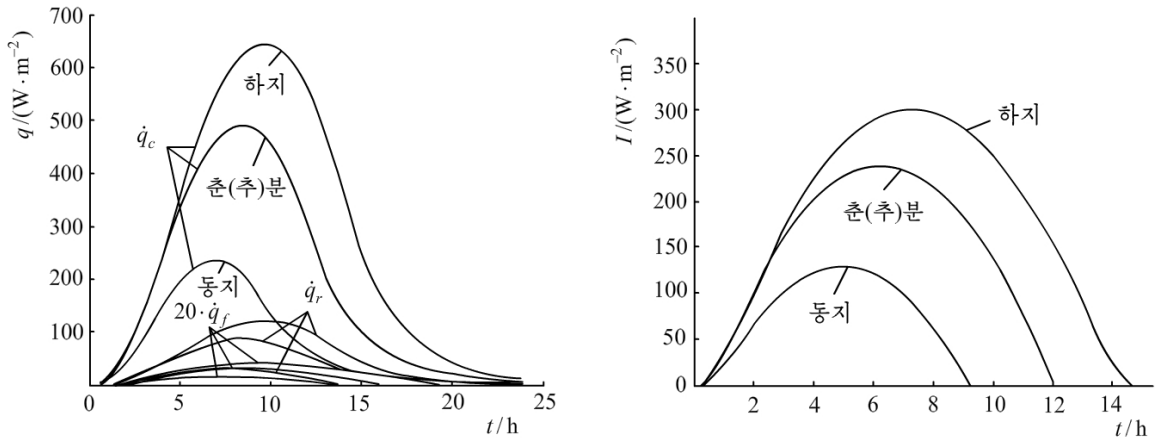


그림 2. 전지판의 열방출과 출력의 하루변화

출력은 하지날에 가장 높으며 하루적산값은 동지날에 0.746kWh/m^2 , 춘(추)분날에 1.837kWh/m^2 , 하지날에 2.692kWh/m^2 이다.

맺 는 말

계산은 전지판의 온도변화는 전지판재료의 열용량과 공기의 상대속도에 크게 관계되며 열용량이 크면 밤시간에 전지의 온도가 주위대기온도까지 팽각되지 않는다는것을 보여주었으며 낮시간에 온도가 크게 높아지지 않는다는것을 보여준다. 이것은 항성간 공간과는 달리 희박하지만 대기가 존재하며 강제대류와 자연대류에 의한 열교환과 복사열교환이 진행된다는것과 관련된다.

참 고 문 헌

- [1] 태기훈; 조선력학학회지, 1, 13, 주체106(2017).
- [2] 황덕진, 리재일; 태양열자원과 그 리용, 농업출판사, 29~48, 119~128, 1989.
- [3] G. R. Heliplat; Journal of aircraft, 41, 6, 1505, 2004.
- [4] A. Jones, et al.; Solar Energy, 70, 4, 349, 2001.
- [5] Eduardo Cao, Heat Transfer in Process Engineering, McGraw-Hill, 41~68, 2010.

주체107(2018)년 9월 8일 원고접수

The Temperature Variation of a Solar Panel by Radiation and Convective Heat Transfer at a High Altitude

Thae Ki Hun

In this paper, we determined the power and the temperature variation of a solar panel in accordance with date and time on a high altitude.

Key words: solar cell, solar panel, high altitude