

평판형 집열기에서 일사성분의 유효성에 관한 연구

최성우[†]·정성식^{*}·하종률^{*}·河島陽介^{**}

Research on Effective Use of Radiation for Flat plate Type Collector

Sung Woo Choi, Sung Sik Chung, Jong Yul Ha and Yousuke Kawasima

Key Words: Global radiation(전천 일사량), Direct radiation(직달 일사량), Sky radiation(산란 일사량), Flat plate type collector(평판형 집열기)

Abstract

This study represented experimental research on the flat plate solar collector. For the flat plate Solar system, it is sensitive of the Global radiation. In Actually, it suppose to be dependent on the direct radiation. Also, the existing method's factors are depend upon Global radiation in the flat plate collector system. therefore it needs which is depend upon direct radiation. In this experiment, the flat plate collector is used for obtaining the method's factors of the direct radiation. As a result, the correct ($\tau\alpha$) is found out for practical value.

기호설명

I_H : 수평면전천일사량	[W/m ²]
I_{ND} : 법선면직달일사량	[W/m ²]
I_{HD} : 수평면직달일사량	[W/m ²]
I_{HS} : 수평면산란일사량	[W/m ²]
H_T : 경사면전조일사량	[W/m ²]
H_D : 경사면직달일사량	[W/m ²]
H_S : 경사면산란일사량	[W/m ²]
H_R : 경사면반사일사량	[W/m ²]
q_c : 집열량	[W/m ²]
q_a : 집열기가 흡수한 열량	[W/m ²]
q_l : 집열기에서의 방열량	[W/m ²]
$(\tau\alpha)_e$: 투명판의 태양광선투과율과 집열관의 태양광선흡수율의 곱	
J : 수열면 일사량	[W/m ²]

K_{up} : 집열기의 상부열투과율	[W/m ²]
K_{rear} : 집열기의 하부열투과율	[W/m ²]
K_{side} : 집열기의 측부열투과율	[W/m ²]
A_s : 집열기의 측부면적	[m ²]
A_c : 유효집열면적	[m ²]
t_p : 집열기 평균 온도	[°C]
t_a : 외기 온도	[°C]
W : 집열관의 핀치	[m]
D : 집열관의 외경	[m]
C_b : 집열관과 집열관의 열 컨덕턴스	[W/m ² K]
D_t : 집열관의 내경	[m]
f_w : 집열관과 열막의 열전도율	[W/m ² K]
λ_p : 집열관의 열전도율	[W/m ² K]
δ_p : 집열관의 두께	[m]
t_b : 집열관의 외벽 온도	[°C]
c_w : 열막의 비열	[kcal/kg K]
r_w : 열막의 비중량	[kg/m]
w : 단위 면적당 열막유량	[m ³ /m ² h]

† 동아대학교 기계공학과 대학원

E-mail : seagull_jon@hotmail.com

TEL : (051)200-6983 FAX : (051)200-7656

* 동아대학교 기계공학과

** 일본 히메지 공업 대학 산업기계공학과

1. 서 론

심각한 대기 오염 및 수질 오염, 기존의 화석 연료의 고갈화 등으로 인하여 환경 문제는 현대의 인류에게 가장 심각한 문제 중의 하나의 등장하였다. 그 때문에 여러 분야에서 기존의 화석 연료를 대신할 대체연료에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그 중에서도 태양에너지는 공급량이 무제한에 가까워 비 고갈성이라는 점, 석유와 같이 지역적으로 한곳에 편재되어 있지 않아 지구 어디서나 이용이 편리하다는 점, 석유나 가스, 전기등과 같이 비용이 들지 않는 장점 등으로 많은 관심을 가지고 개발이 진행되어 왔다.

태양에너지를 이용하는 여러 시스템 중에서 일사 성분은 크게 의존하는 경우, 사용 지역의 일사특성을 충분히 고려해 설계를 할 필요성이 있다. 그래서 선행 연구⁽¹⁾에서는 각지의 평균 일사량 자료를 바탕으로 집열기를 사용하는 경우에 대해서 최적 경사각, 전천 일사량 및 직달 일사량과 위도와의 관계를 평가해왔다.

태양 일사량은 크게 직달 일사량, 산란 일사량 그리고 직달 일사량과 산란 일사량의 합인 전천 일사량으로 구분할 수 있다. 그런데 평판형 집열기의 경우는 전천 일사량의 영향이 가장 큰 것으로 알려졌으나 실제적으로는 직달 영향의 영향이 큰 것으로 보여진다. 따라서 실제로 영향을 받는 일사량에 대해서 정확한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 평판형 집열기에 있어서 각 일사량 성분의 영향을 실제로 평가하고 그에 맞는 인자의 값을 찾는 것이 목적이다.

2. 이론적 배경

2.1 경사면 일사량의 추산

2.1.1 일사량의 성분

태양에너지를 평가할 때는 다음과 같이 몇 개의 성분으로 나누어 평가하는 것이 일반적이다.

I_H : 입체각 2π 의 전 방향에서 산란성분과 수평면에 입사하는 직달 성분의 합

I_{ND} : 대기 중에 아무런 영향을 받지 않고 입사방향에 수직인 평면에 직접 입사하는 일사성분

I_{HD} : 직달일사성분이 수평면에 입사하는 성분

I_{HS} : 입체각 2π 중에서 태양면이 차지하는 입체각을 뺀 모든 방향에서 수평면에 입사하는 일사성분

2.1.2 경사면 일사량의 성분

경사면에 입사하는 일사성분은 다음과 같이 직달 일사, 산란 일사, 반사 일사의 3가지 성분이 있다.

$$H_T = H_D + H_S + H_R \tag{1}$$

H_D, H_S, H_R 은 일사량의 기본성분이 되는 법선면 직달 일사성분, 수평면 산란 일사성분, 수평면 전천 일사성분을 이용해 나타낼 수 있다.

$$H_D = I_{ND} \cos \beta \tag{2}$$

$$H_S = I_{HS} (1 + \cos \epsilon) / 2 \tag{3}$$

$$H_R = I_H \cdot \rho (1 - \cos \epsilon) / 2 \tag{4}$$

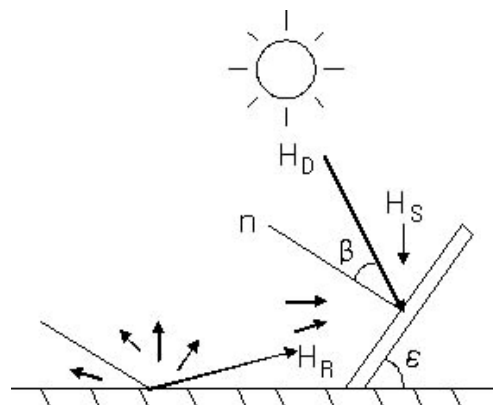


Fig.1 Component parts of radiation

2.2 평판형 집열기의 이론

2.2.1 기초식

Fig.2는 평판형 집열기의 열의 입출입을 나타낸 개략도이다. 집열량은 식(5)와 같이 집열기에 흡수한 열량과 집열기로부터 방열된 열량의 차로 표현할 수 있다.

$$q_c = q_a - q_l \tag{5}$$

집열량의 계산에서 일반적으로 측부 열투과율 K_{side} 는 무시한다. 또한 측부 열투과율을 제외한 상부열투과율, 하부열투과율 중에서도 상부열투과율이 대부분의 열손실을 차지하는 지배적인 요소이다. 따라서 식(6), 식(7)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_c = (\tau\alpha) J \tag{6}$$

$$q_l = \{K_{up} + K_{rear} + K_{side}(A_s/A_c)\}(t_p - t_a) \tag{7}$$

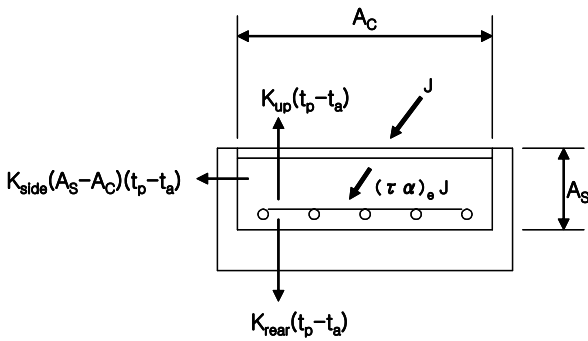


Fig.2 Heat loss of Flat plate type collector

그러나 식(8)에서와 같이 집열판 평균 온도를 측정해, 그 평균치를 구하는 것은 매우 힘든 일이다. 따라서 집열판 평균온도 t_w 혹은 집열판 입구온도 t_{in} 을 이용해서 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_c = (\tau\alpha) J - K_t(t_p - t_a) \tag{8}$$

$$K_t = K_{up} - K_{rear} \tag{9}$$

$$q_c = (\tau\alpha) J - K_t F(t_w - t_a) \tag{10}$$

$$q_c = (\tau\alpha) J - K_t F_R(t_{in} - t_a) \tag{11}$$

식(10)에 쓰인 F 는 집열기 효율인자로서 식(12), (13), (14)와 같이 표현할 수 있다.

$$F = \frac{1}{W \left[\frac{1}{K_t} \left\{ \frac{1}{K_t(D+(W-D)F)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D f_w} \right\} \right]} \tag{12}$$

$$F = \frac{\tanh U_b}{U_b} \tag{13}$$

$$U_b = -(W-D) \sqrt{K_t / \lambda_p \delta_p} \tag{14}$$

식(11)의 F_R 은 식(15), (16), (17), (18)과 같이 표현할 수 있다.

$$F_R = \frac{c_w r_w w (t_{out} - t_{in})}{(\tau\alpha) J - K_t (t_{in} - t_{out})} \tag{15}$$

$$F_R = \frac{c_w r_w w}{K_t} \left\{ 1 - \frac{\frac{(\tau\alpha) J}{K_t} - (t_{out} - t_{in})}{\frac{(\tau\alpha) J}{K_t} - (t_{out} - t_{in})} \right\} \tag{16}$$

$$F_R = \frac{c_w r_w w}{K_t} \left\{ 1 - e^{-\frac{K_t F}{c_w r_w w}} \right\} \tag{17}$$

$$t_{out} = t_{in} + \left(1 - e^{-\frac{K_t F}{c_w r_w w}} \right) \left(t_a + \frac{F(\tau\alpha) J}{F K_t} - t_{in} \right) \tag{18}$$

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험조건

실험은 북위34.8°, 서경134.7°에 설치되어 있는 법선면 직달일사계, 경사면전천일사계, 평판형 집열기를 이용하였다.

실험방법은 아침 8시30분부터 3시 30분까지 10분간격으로 물의 온도와 평판형 집열기 유리의 바깥면 온도, 안쪽면 온도, 집열관의 온도, 집열기 후부의 온도를 측정하였다.

3.2 실험장치

Fig.3은 평판형 집열기의 실험장치 개략도이다. 탱크(100 l)의 물은 펌프와 유량계를 통하여 집열기로 들어간다. 집열기로 들어간 물은 태양에너지에 의해 가열되어 다시 탱크로 보내어진다. 평판형 집열기의 설치 각도는 30°이며, 정남쪽을 향하게 설치되어 있다. Fig.3은 평판형 집열기의 실험장치 개략도이며, Fig.4는 평판형 집열기에 설치한 열전대의 개략도이다. 열전대는 유리판 상부, 유리판 하부, 집열관 상부, 집열기의 후부에 각각 6개씩 설치하였고 물이 집열기에 들어가는 입구와 나오는 출구에 각각 하나씩 설치하였다. Fig.5는 집열기의 실제 모습이다.

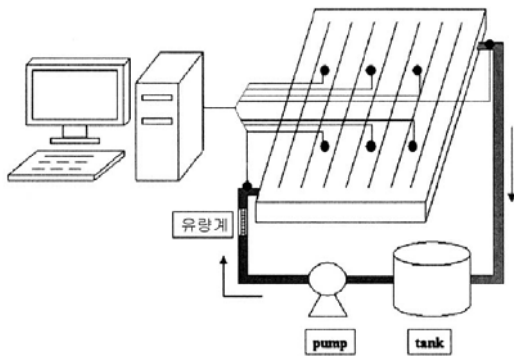


Fig.3 Schematic diagram of Flat plate type collector

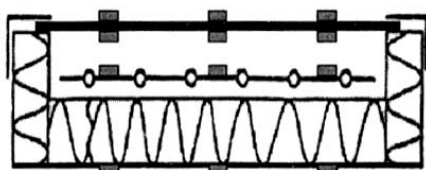


Fig.4 Thermocouple on collector



Fig.5 Flat plate type collector

3.3 실험방법

앞의 식(18)에서 J 는 경사면 전천 일사량이다. 그러나 선행의 연구에 의하면 평판형 집열기에 있어서 산란 일사량은 많은 영향을 미치지 않기에 전천 일사량 보다 직달 일사량을 적용하는 것이 타당하다.

따라서 여기서는 식(18)을 아래와 같이 정리하여 직달 일사량에 대한 새로운 $(\tau a)_e$ 의 값을 찾아야 한다.

$$(\tau a)_e = \left(\frac{t_{out} - t_{in}}{\frac{K_f}{c_a F_a W}} - t_a + t_{in} \right) \frac{K_t}{J} \quad (19)$$

기존의 $F(\tau a)_e$ 의 값을 Table 1에 나타내었다. 단, BP는 흑색도장, SS는 선택 흡수막의 처리를 나타내며 숫자는 유리관의 개수이다.

Table 1 Value of $F(\tau a)_e$

집열관 종류	$F(\tau a)_e$
BP-0	0.97
BP-1	0.83
BP-2	0.73
SS-1	0.80
SS-2	0.70
진공원통형	0.46

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 평판형 집열기에 있어서 전천 일사량, 직달 일사량, 산란 일사량과 물의 온도 관계

맑은 날과 흐린 날의 실험을 통해 평판형 집열기의 전천 일사량, 직달 일사량, 산란 일사량과 물의 관계를 Fig.6, Fig.7에 나타내었다.

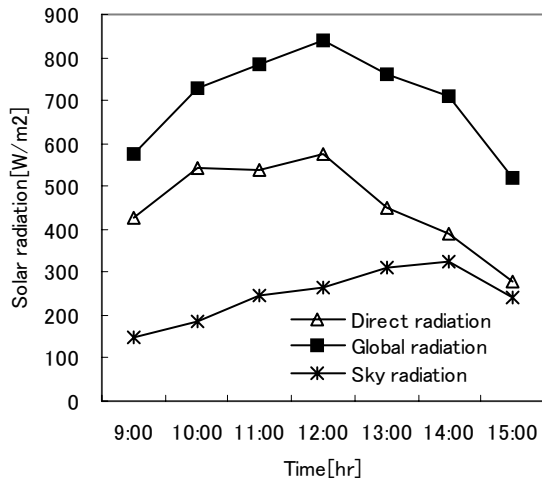


Fig.6(a) Graph of clear sky

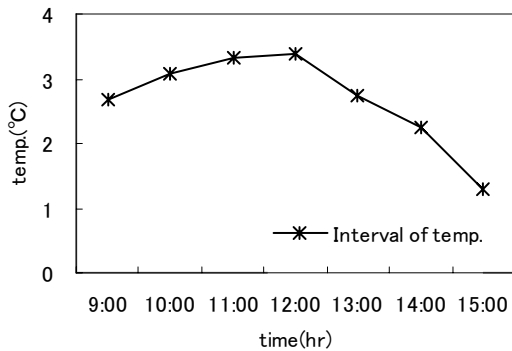


Fig.6(b) temperature of water

Fig.6(a)에서는 직달 일사량이 증가한 12시까지는 물의 입구 온도와 출구 온도의 차이는 크지만, 직달 일사량이 작아지는 12시 이후에는 산란 일사량이 증가하여도 물의 온도차는 작아짐을 알 수 있다.

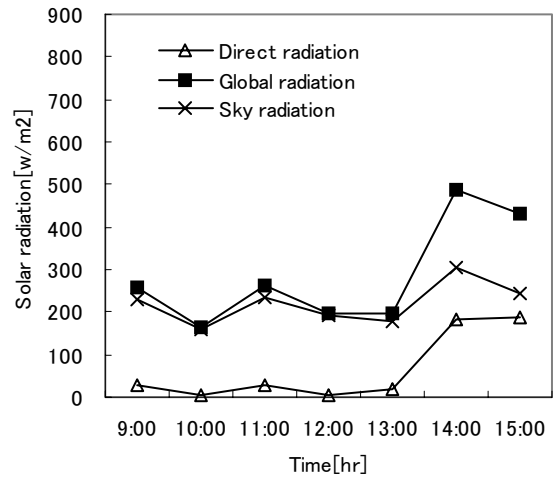


Fig.7(a) Graph of cloud sky

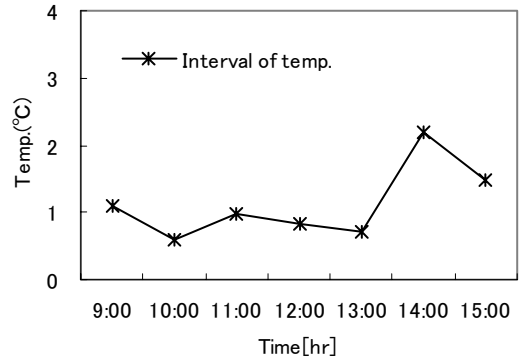


Fig.7(b) Temperature of water

Fig.7에서는 13시까지 흐린 날씨가 계속되었기 때문에 직달 일사량이 작고 산란 일사량이 많았다. 이 경우, 물의 온도차가 1°C 이하였으나 13시 이후에는 직달 일사량이 증가됨에 따라서 물의 온도차는 커짐을 알 수가 있다. 따라서 평판형 집열기에서 실제적으로 전천 일사량보다 직달 일사량의 영향이 큰 것을 확인할 수 있다.

4.2 직달 일사량의 ($\tau \alpha$)

이상의 결과에 의해 평판형 집열기에서 전천 일사량보다 직달 일사량의 영향이 큰 것을 알았다. 그에 따라서 식(19)를 이용해 직달 일사량의 ($\tau \alpha$)_e값을 Fig.8과 같이 구하였다.

Fig.8에서 보는 바와 같이 유량이 2 l/min.의 경우에는 ($\tau \alpha$)_e의 값이 0.515에서 0.578까지 변화였고 유량이 5 l/min.일 경우에는 ($\tau \alpha$)_e의 값이 0.907에서 1.029까지 변화였다.

$(\tau \alpha)_e$ 는 투명판의 태양광선투과율과 집열판의 태양광선흡수율의 곱이기 때문에 유량에 따라서 그 값이 바뀌지 않음을 알 수 있다.

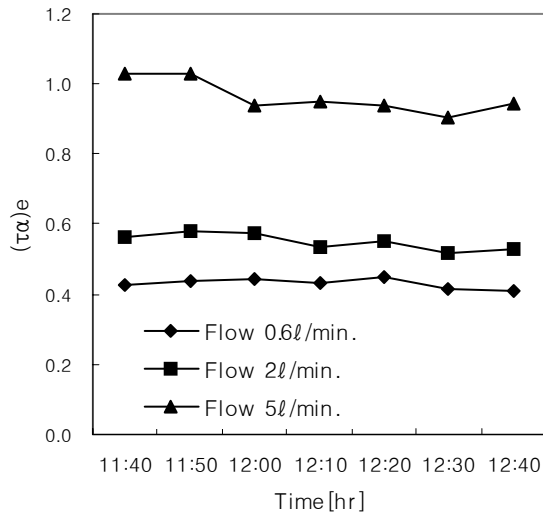


Fig.8 Graph of Flux and $(\tau \alpha)_e$

평판형 집열기의 경우 유속이 빠르면 빠를수록 물의 입구 온도와 출구 온도는 내려간다. 그에 따라 집열기 자체의 효율이 증대된다. Fig.8에서와 같이 유량에 변화에 의해 $(\tau \alpha)_e$ 의 값이 변하는 것은 유량의 감소에 따른 오차가 커짐을 예상할 수 있다.

또한 앞에서 정의한 바에 의하면 $(\tau \alpha)_e$ 는 투명판의 태양광선투과율과 집열판의 태양광선흡수율의 곱이기 때문에 유량 5 l/min.의 $(\tau \alpha)_e$ 의 값이 1을 넘는 것은 여러 가지 측정 오차가 포함되었기 때문이라고 보여진다.

5장 결론

본 연구는 평판형 집열기에 있어서 여러 일사 성분 중 영향이 큰 일사 성분을 실험적으로 찾고, 기존의 식에서 영향이 큰 일사 성분에 알맞은 $(\tau \alpha)_e$ 인자의 값을 분석한 것이며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평판형 집열기의 경우, 경사면 전천 일사 성분, 경사면 직달 일사 성분, 경사면 산란 일사 성분 중에서 실제로는 경사면 전천 일사 성분보다 경사면 직달 일사 성분이 가장 큰 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다.

2. 기존의 식에서 전천 일사 성분 대신에 직달 일사 성분을 적용할 경우, $(\tau \alpha)_e$ 인자의 값을 수정할 필요가 있었다. 그에 따라 실험을 통하여 새롭게 $(\tau \alpha)_e$ 의 값을 구하였다.

3. 유량에 따라 새롭게 구한 $(\tau \alpha)_e$ 의 값이 변하는 이유는 유량에 따라서 측정치에 측정 오차가 포함되기 때문이라고 보여진다.

참고문헌

- (1) Takitani Akinori. 2002. Estimation of Solar Radiation and Simulation of use for a year. Himeji Institute of Technology pp.1-15
- (2) Editing committee of The solar system. 1985. Handbook of The solar system. pp.1-48
- (3) Japan solar energy society. 1978. basic and application of the solar energy. pp.59-84
- (4) E.H.Roch, K.H.Choi, J.S.Kim, B.C.Kim, J.R.Kim. 1991. Research on the solar absorption cooling/heating system using liquid desiccant. Solar energy. vol. No.1 pp.46-52
- (5) Kirk D.Hagen. 1999. Heat transfer and applications. Prentice Hall. pp.409-421, pp693-715