

## 이중진공관형 태양열 집열기의 하절기 과열 방지에 대한 연구

### A study on reducing temperature rise of twin-glass evacuated tube solar collector during summer time

배상은\* · 배철호\*\*† · 남현규\*\*\* · 신기열\*\*\*\* · 유인호\*\*\*\*\*  
Bai Sang-Eun\*, Bai Cheol-Ho\*\*†, Nam Hyun-Kyu\*\*\* and Shin Ki-Yeol\*\*\*\*

(Submit date: 2013. 1. 18. Judgment date: 2013. 1. 28. Publication decide date: 2012. 04. 22.)

**Abstract :** The reflection plate in twin-glass evacuated tube solar collector is controlled to reduce the overheat during the summer time. The sliding type and folding types are suggested and tested. The sliding type changes the plate angle and the folding type changes the opening angle of the reflection plate. By scattering the focus of the reflected radiation from the reflection plate, the temperature rise of the working fluid can be reduced. The sliding type shows the best results in overheat reduction. When solar radiation is  $900 \text{ W/m}^2$ , the temperature rise in one sliding type collector is reduced about  $2^\circ\text{C}$  compared to that of the normal solar collector. When this method is applied to seven series-collectors in the field, the reduction of temperature rise during the summer time should be significant.

**Key Words :** Twin-glass evacuated tube solar collector(이중진공관형집열판), Folding type(폴딩형), Over heat(과열), Sliding type(슬라이딩형)

#### 기 호 설 명

#### 1. 서 론

$C_p$  : 열매유의 비열 ( $\text{kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$ )  
 $\Delta T$  : 집열판 입출구 온도차 ( $^\circ\text{C}$ )  
 $\dot{m}$  : 유량 ( $\text{kg/s}$ )

이중진공관형 집열기는 태양광을 집열하는 선택 흡수막이 코팅된 이중진공관 속에 집광한 열을 전달 할 수 있는 알루미늄 전열판과

\*\*† 배철호(교신저자) : 영남대학교 기계공학부  
E-mail : chbai@yu.ac.kr, Tel : 053-810-2575

\*배상은 : 영남대학교 기계공학부

\*\*\*남현규 : 영남대학교 기계공학부

\*\*\*\*신기열 : 대구미래대학교 캐드캠과

\*\*\*\*\*유인호 : 세한에너지(주) 연구소장

\*\*† Bai Cheol-Ho(corresponding author) : Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University.

E-mail : chabai@yu.ac.kr, Tel : 053-810-2575

\*Bai Sung-Eun : Department of Architecture Engineering, Yeungnam University.

\*\*\*Nam Hyun-Kyu : Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University

\*\*\*\*Shin Ki-Yeol : Department of CAD/CAM, Daegu Future College.

\*\*\*\*\*Yoo, In-Ho : Sehan Energy Co.,Ltd

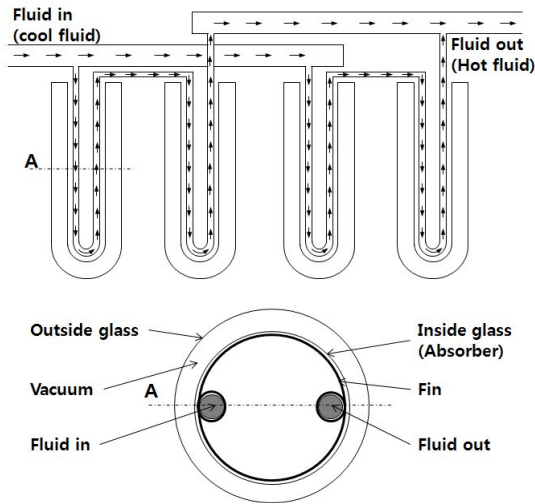


Fig. 1 Twin-glass evacuated tube solar collector structure

일체로 이루어진 집열기로서(Fig. 1), 유체 밀착되어 있는 U형의 작동 유체 전달관이 전달관은 입수관과 출수관이 분리되어 있어 집열 효율을 극대화시킬 수 있는 복합형 집열기이다.<sup>(1)</sup> 이중진공관형 태양열 집열기는 집열 효율이 좋을 뿐 아니라 생성되는 온수의 온도가 높기 때문에 온수 생성에서부터 중·고온의 산업공정에 이르기까지 다양하게 사용된다.<sup>(2)</sup>

그러나 이중진공관형 집열기는 상대적으로 부하량이 적은 하절기에는 과열이 되어 축열탱크의 온도가 급상승하게 되며, 이를 방지하기 위하여 방열 팬을 구동하거나 또는 천막으로 집열기 전체를 덮는 방법을 사용하고 있다.<sup>(3)</sup> 그러나 방열팬의 가동에 의한 전력량 증가 및 시스템 수명 단축, 열매체의 누수 등의 문제가 있으며, 천막의 경우 온수가 생성되지 않고 강풍에 천막이 제거되는 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 반사판의 반사각을 능동적으로 변화시키는 방안을 적용하여 하절기의 과열을 방지하고자 한다.

## 2. 반사판 조절 방안

지금까지의 일반적 연구 방안은 집열 효율을 증대시키기 위하여 집열관의 각도를 태양의 이동 방향에 따라 변화시켜주는 방식을 채택하고 있다<sup>(4-7)</sup>. 역으로 하절기 집열관의 각도를 조정하면 집열 효율을 떨어뜨리는 방향으로 작동하게 할 수도 있으나, 이 경우 집열관 전체를 움직여야 하므로 설치비 및 시스템 운영비가 증가하여 시스템 적용에는 제한적일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 집열관을 그대로 두고 집열관의 반사판을 조정하여 반사판에서 반사된 태양광의 초점을 집열기의 열전달관인 이중진공관에 생기지 않게 하여 집열량을 줄이는 방안을 제안하고 실험을 통해 효과를 검증하고자 한다.

집열관의 반사판을 변화시키는 방안으로 반사판의 초점을 변화시키는 방안(Folding type)과 집열관의 반사판의 기울기를 변화시키는 방안(Sliding type)에 대하여 고찰하였다. Folding 형의 경우에는 하절기에 반사판을 오므려 주는 방식이며, sliding 형은 반사판의 각도를 변화시켜 이중진공관 내의 열전달 관과의 초점을 이탈시키는 방식이다.

Fig. 2는 silding 형 사진이므로 sliding 형은 집열기의 아래쪽을 기준으로 열전달관인 이중진공관은 그대로 두고 반사판만을 0°에서 36°까지 변화시킬 수 있으며 반사판을 18° sliding 한 것이다.

Fig. 3은 folding 형의 반사판을 50% 닫은 상태의 장치 사진으로 folding형은 시험을 위하여 고안된 folding 컨트롤러에 의해 최대로 접혔을 경우 100% 닫힘이라 하고 반사판의 변형이 없을 때를 0%하여 그 사이를 나누어 시험 하였다.

### 3. 실험 장치 및 실험

실제 시스템에 적용되는 집열관은 7장을

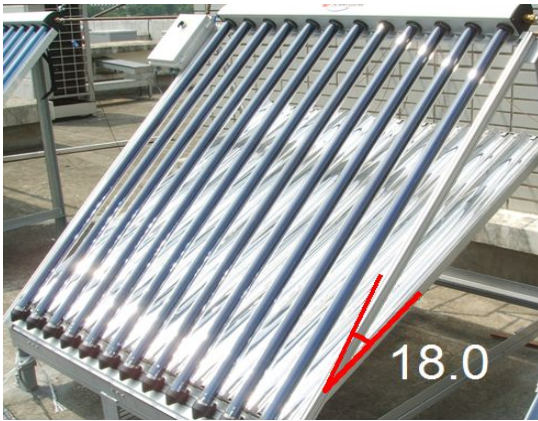


Fig. 2 Sliding type reflection plate

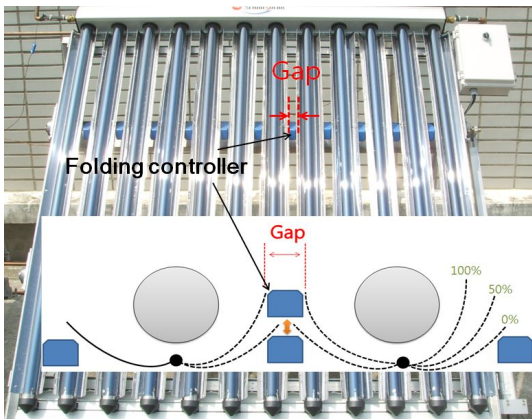


Fig. 3 Folding type reflection plate

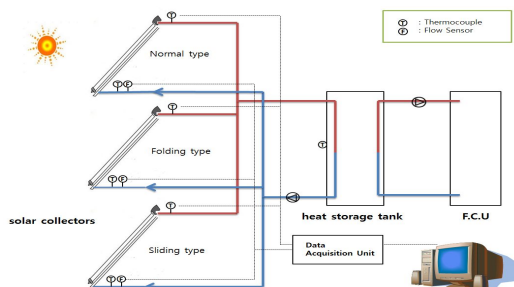


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

직렬로 연결하여 사용하지만, 성능 특성을 제한하기 위하여 원래 형태의 이중진공관형 집열관, folding 형 및 sliding 형 집열관 각 1개씩을 이용하여 실험 장치를 구성하였다(총면적 : 2.28 m<sup>2</sup>, 흡수면적 : 2m<sup>2</sup>, 적정 유량 : 0.03 kg/s~0.05 kg/s, 설치각 : 45°, 설치 방향 : 정남향). 축열조에서 열매유를 동일한 유량으로 집열관에 공급하고, 각각의 집열관 입출구에서 T 형 열전대를 이용하여 온도 상승을 측정하였다. 각 집열관의 열매유 유량은 0.041 kg/s이다. 집열량 Q는 다음의 식으로 구하였다.

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

여기서  $\dot{m}$ 은 유량,  $C_p$ 는 열매유의 비열이고  $\Delta T$ 는 집열관 입출구 온도차이다. 일사량은 산란일사계를 사용하여 측정하였다(LP PYRA 12 정밀 일사계). Fig. 4는 실험장치의 개략도이다.

대구 지역 하절기(6월 ~ 9월) 하루 평균 일사량이 4.07 kWh/m<sup>2</sup>·day이고 6월은 4.67 kWh/m<sup>2</sup>·day로 하절기 중 가장 일사량이 높은 6월의 맑은 날 실외에서 실외온도 26°C ~ 28°C 일 때 일사량을 측정하면서 folding 형의 반사판 닫힘 정도 및 sliding 형의 반사판 기울기를 변화시키면서 수행하였다.

### 4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 folding 형을 완전히 편 상태(원형 상태)와 sliding 형의 반사판 각을 원형과 동일하게 하여(반사판 각도 0°), 즉 변화를 주지 않은 상태에서 집열관을 통한 온도 상승을 나타낸다.

그림에서 보듯이 일사량이 증가하면서 집열관 입출구의 온도 차이가 증가하고 있으며, 3개의 집열관 모두 거의 동일한 온도 상승을

나타내고 있다.

Fig. 6은 sliding 형의 반사판 각도가 18°이고, folding 형의 반사판을 50% 정도 닫은

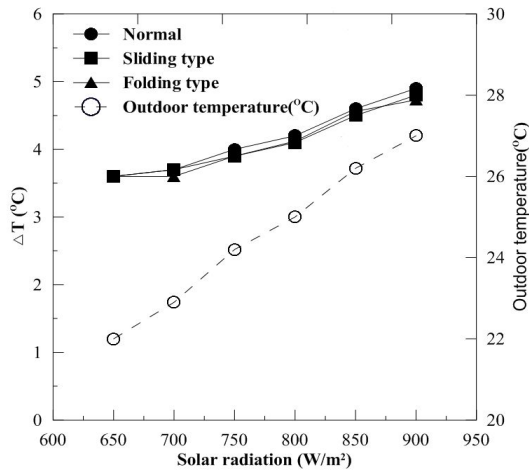


Fig. 5 Temperature rise of the solar collector in the original state

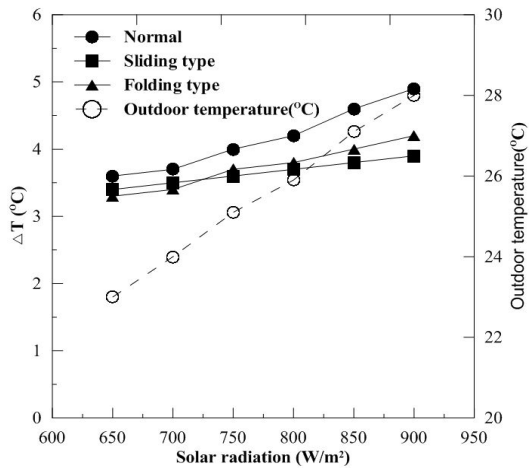


Fig. 6 Temperature rise of the solar collector when sliding-type reflection plate 18°, folding-type 50% closed

상태에서의 실험 결과이다. 정상인 경우최종 온도 차이가 5°C 정도인데 반해 folding 형과 sliding 형의 경우에는 4°C, 3.7°C 정도이며,

일사량이 증가하더라도 온도 상승 기울기가 완만한 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 7은 sliding 형의 반사판 각도가 27°이고, folding 형의 반사판을 80% 정도 닫은 상태에서의 실험 결과이다. Folding 형에 비해 sliding 형의 온도 상승이 훨씬 작으며, 일사량의 증가에도 거의 영향을 받지 않고 있다. Folding 형의 경우에 반사판을 80% 정도

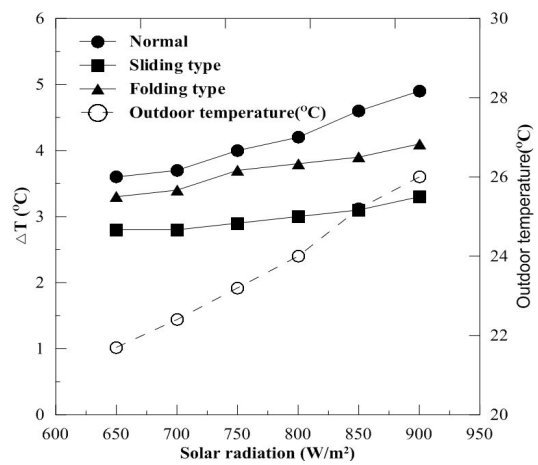


Fig. 7 Temperature rise of the solar collector when sliding-type reflection plate 27°, folding-type 80% closed

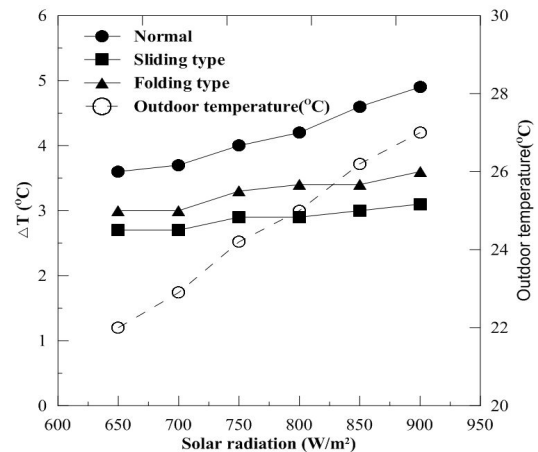


Fig. 8 Temperature rise of the solar collector when sliding-type reflection plate 36°, folding-type completely closed (100% of the closing)

닫았음에도 불구하고 반사되는 태양광이 열 전달관에 흡수되어 그 효과가 제한적이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 위의 상태에서의 일사량에 따른 집열관 입출구 온도차를 나타낸다. Sliding 형의 경우 반사판의 각도를 36°로 27°보다 크게 하더라도 온도 상승 제한 효과는 더 크게 나타나지 않았으며, folding 형의 경우에는 온도 상승이 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. Folding 형의 경우 반사판과 이중진공관

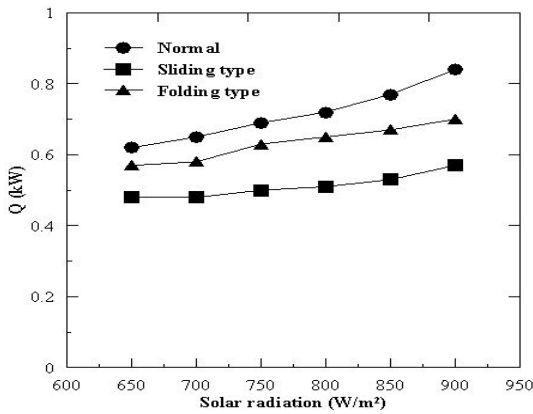


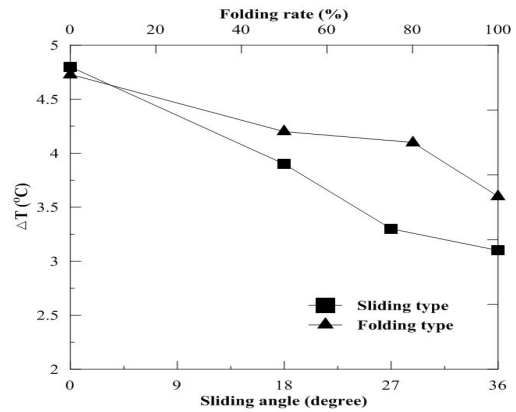
Fig. 9 Quantity of heat of the solar collector when Sliding-type reflector 27°, folding-type 80% closed

사이의 간격이 크지 않기 때문에 반사판을 닫아줄 수 있는 정도에 한계가 있으며, 따라서 반사판을 최대한 닫아주더라도(100%) 일부 태양광은 반사판에서 반사되어 이중진공관에 흡수되므로 그 효과는 sliding 형보다는 제한된다고 판단된다.

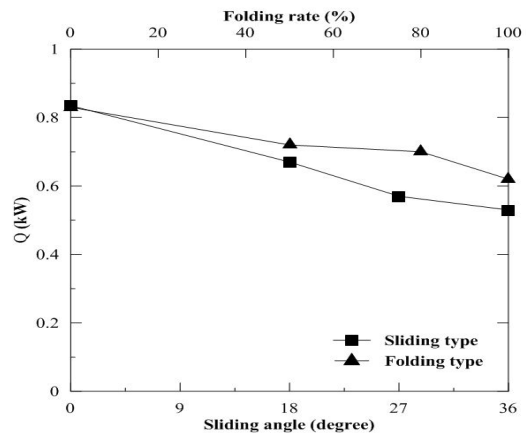
Fig. 9는 sliding 형의 반사판 각도가 27°이고, folding 형의 반사판을 80% 정도 닫았을 때 집열관을 통해 획득한 열량을 나타낸다. 일사량이 900 W/m<sup>2</sup> 일 때 정상적인 이중진공관형 태양열 집열기의  $\dot{Q}$ 는 0.84 kW을 얻을 수 있다. Sliding형 집열기와 folding 형 집열기의  $\dot{Q}$ 는 0.57 kW 와 0.7 kW로서 sliding 형의

획득 열량이 가장 적었으며, 정상적인 이중진공관형 태양열 집열기에 비해 획득 열량이 sliding 형은 32%, folding 형은 16% 감소하였다.

Fig. 10은 일사량이 900 W/m<sup>2</sup> 일 때 sliding 형 및 folding 형 집열관의 온도 상승효과 및 획득 열량을 반사판의 기울기 및 닫힌 정도에 따라 나타내었다. Sliding 형은 반사각 각도가 27°에서 온도 상승 및 열량 감소폭이 줄어들며 folding 형은 닫힌 각도가 80% 이상에서 온도상승 및 열량 감소폭이 늘어난다.



a) Temperature rise



b) Quantity of heat

Fig. 10 Temperature rise and Quantity of heat Comparison of Solar radiation 900 W/m<sup>2</sup>

#### 4. 결 론

온수 등의 부하가 상대적으로 적은 하절기 이중진공관형 집열기의 과도한 온도 상승을 방지하기 위하여 반사판을 조정하는 방안을 제안하고 실험을 통해 결과를 확인하였다.

정상적인 집열판과 sliding 형 및 folding 형의 반사판을 각각 1개씩 설치하고 실험을 수행한 결과 sliding 형의 경우가 집열판을 통한 열매체의 온도 상승 제한에 가장 효과적임을 알 수 있었다. 1 개 집열판에 대해 일사량  $900 W/m^2$ , 집열기 입구 열매체 온도를  $38^\circ C$  로 유지 하였을 경우 정상적인 집열판에 비해 반사판의 각도를  $27^\circ$  정도로 한 sliding 형의 온도 상승이  $2^\circ C$  정도 낮았다. 실제 시스템의 경우 집열판을 7장 정도 직렬로 연결하여 사용하고 집열 시간동안 열매체가 순환하기 때문에 본 실험보다 실제 시스템에서의 온도 상승 제한 효과는 상당히 클 것으로 생각된다. Sliding 형의 경우 반사판의 각도를  $27^\circ$  정도로 하면 획득 열량 또한 30% 정도 줄일 수 있었다.

Folding 형의 경우 온도 상승 제한 효과가 sliding 형보다 낮았으며, 또한 제작하기가 상당히 어려워 실제 시스템에 적용하기는 어렵다고 판단된다. 그러나 sliding 형의 경우 제작 및 제어가 비교적 간단하기 때문에 본 연구의 동기와 같이 하절기 집열판의 온도 상승을 억제해야할 경우 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

1. 서 태범, 권 영식, “고성능 이중진공 유리관 태양열 집열기의 개발”, 설비공학논문집, Vol. 2, no. 3, pp.16-22, 2008.
2. Lin, Q. and S. Furbo, Solar heating systems with evacuated tubular solar collector. In Proc. of the Eurosun '98 Conf. on CD-ROM. Portoroz, Slovenia, 1998.
3. 이 동원, “태양열시스템의 개요 및 현황”, 설비저널, Vol.40, no.5, pp.5-1, 2011.
4. Yun, S. E., Kim, Y. and Seo, T. B., Numerical study of thermal performance of the sun tracking evacuated CPC collector, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 445-450, 2004.
5. Kim, J-M., Kim, Y. and Chung, K-S., Study of solar radiation of fixed and tracking solar collectors for various locations in Korea, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp.949-954, 2007.
6. Cho, Y., Kim, Y. and Chung, K-S., A study of optimum slope angles of fixed and azimuth tracking solar collectors by region, period and year, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 1012-1017, 2010.
7. Abdallah, S. and Nijmeh, S., Two axes sun tracking system with PLC control, Energy conversion and Management, Vol. 45, pp. 1931-1939, 2003.