

PTC와 평판형 태양열집열기의 성능평가 비교 연구

김인환*, 허남수*, 김만석**, 이정언***

*진주산업대학교 기계공학과, **부산대학교 기계공학학부
***부산대학교 에너지기술인력양성센터

The Comparative Study on Performance of PTC and Flat-plate Solar Collector

Kim, In-Hwan* Hur, Nam-Soo* Kim, Man-Seok** Lee, Jung-Eun***

*Dept. of Mechanical Eng., Jinju National University(inkim@jinju.ac.kr),
**Dept. of Mechanical Eng., Pusan National University(psyjs098@pusan.ac.kr)
***PEET, Pusan National University(jelee@pusan.ac.kr)

Abstract

Solar collectors to be applied are mainly flat-plate or vacuum tube collector which is used for hot water supply of house because of low heat value and low temperature. There are a necessity to expand applicable scope of solar collector into the industrial process heat source and air conditioner for coping with renewable energy policy of government and industrial trend. This study is to analysis the performance of PTC solar collector of concentrating type and flat-plate of non-concentrating. For this, temperature difference and heating value as insolation of air outside is measured from these two collectors mounted on 2-axial solar tracking system. It is investigated that temperature profile obtained from PTC solar collector is uniform and collecting heat per unit area is $6.8\text{kcal/m}^2\text{min}$ which is about 3 times with compare to flat-plate collector of $2\text{kcal/m}^2\text{min}$. Also the amount of heat to be produced from PTC solar collector is 3Mcal/m^2 which is about 2 times with compare to flat-plate collector of 1.5Mcal/m^2 as a result of operating these two collectors during one month. Therefore, it is obtained that heat collecting performance of PTC solar collector is superior to flat-plate.

Keywords : PTC 태양열 집열기(Parabolic trough collector), 평판형 태양열 집열기(Flat-plate solar collector), 집열효율(Heat collecting efficiency), 집광형(Concentrating type), 열량(Heat value)

1. 서 론

현재 국내에서 사용하는 대부분의 태양열집

열기는 가정용 온수급탕용에 주로 사용하고 있는 평판형 또는 진공관형 집열기에 한정하고 있는 실정이다. “국가에너지기본계획”에

투고일자 : 2010년 9월 1일, 심사일자 : 2010년 9월 15일, 게재확정일자 : 2010년 12월 7일
교신저자 : 이정언(jelee@jinju.ac.kr)

따르면 2030년 까지 신재생에너지 보급률을 15%로 목표하고 있으며, 2012년 이후 정부는 RPS(Renewable Portfolio Standard)제도를 시행할 계획이다.¹⁾ 이와 같이 국내의 신재생 에너지 정책 변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 태양열집열기의 적용 분야를 다각화할 필요가 증대되고 있다. 즉 중은 이상의 열원 확보를 통해 산업공정열이나 냉방 장치에 적용할 수 있는 태양열 집열장치 기술 개발의 필요성이 증대되고 있다.²⁾

태양열에 대한 다양한 연구는 2000년 이래 다양하게 추진되어 왔다. 특히 집광형 태양열 집광기인 Dish형 집광기의 실증연구가 수행되었고³⁾, 집열 튜브의 열성능에 대한 분석 연구⁴⁾도 수행되었다. 또한 집열관의 내부 형상 변화에 따른 집열특성에 대한 분해 연구⁵⁾가 진행되었다. 하지만 PTC 태양열 집열기에 대한 연구는 미진한 상태이며, 특히 본 연구와 같이 평판형 집열기와의 성능 비교 연구는 진행되고 있지 않다.

따라서 본 연구는 현재 온수 급탕용의 많이 적용되고 있는 평판형 태양열 집열기(flat-plate solar collector)와 PTC(parabolic trough collector)형 태양열 집열기에 대한 성능비교를 분석하여 PTC 태양열 집열기의 산업공정열 적용 가능성을 평가하고자 하는 것이다. 실제 평판형 집열기는 열손실 면적이 넓어 효율이 급격히 떨어지는 단점이 있어 열매체의 온도를 올려 필요 열량을 확보하는데 한계가 있다.⁶⁾ PTC집열기는 반사판에서 반사된 빛을 흡수부에서 50배 이상 집광하는 기술로 중고온의 열원을 확보하는데 효율적이다. 또한 평판형 태양열 집열기는 현재 보편적으로 사용되는 시설인 반면 PTC태양열 집열기는 보편화되고 있지 않아 상대 비교를 통해, 이 두 집열기의 상대 비교를 통해 PTC 태양열 집열기의 실제 적용 가능성을 평가하고자 한다. 이들 2 종류의 집열기에 대한 성능을 분석하기 위해 2축 태양열 추적기에 PTC와 평판형 집열기를 탑재하여 실시간 운전을 통해 자료를 확보하여

온도변화, 열량, 효율 등을 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

그림 1은 평판형집열기와 PTC 집열기의 성능평가 비교를 위한 실험 장치를 나타낸 것이다. 2 종류의 집열기를 2축 태양 추적기 위에 탑재하였다. 열매체유인 물은 pump를 통해 2 lpm의 유량으로 집열기에 공급되고, 집열기로부터 열을 받은 고온은 물은 집열기 후단의 방열 Fan을 통해 냉각된 다음 탱크로 회수된다. 본 장치는 연중 지속적으로 운전되며, 운전시 집열기 입출구의 온도, 유량, 일사량 등을 측정하여 두 집열기의 성능을 비교 분석하였다.

표 1은 본 실험장치의 설계변수 및 운전인자를 나타낸 것이다. PTC 집열기는 반사판과 흡수기로 구성되어 있는데, 반사판은 Al재질의 표면에 반사율 확보를 위해 정밀 코팅하여 제작하였으며, 면적은 5m²이고 집광비율은 50 SUN으로 설정하였다. 최대 초점 온도는 300℃, 최대 운전 온도는 약 250℃이다. 그리고 흡수기는 진공관 Tube 내에 흡수 체와 U자관을 장착하여 반사판으로부터 반사된 태양빛을 흡수하여 열매체유에 열원을 전달한다. 그리고 비집광형인 평판형 집열기는 투과율 95%의 Glass Tube에 Cu재질의 흡수 Tube가 장착되어 태양열을 열매체유에 전달하며, 집광유효 면적은 2 m²로 제작하였다. 열매체유 공급 및 회수를 위해 최대 유량 4 lpm, 최대 양정 8m의 원심 펌프, 48L의 탱크, 8kw의 냉각 FAN을 설치하였다. 또한 2축 태양 추적기는 ±0.1°의 편차를 범위 내에서 태양을 추적하도록 구성하였다. 실제 평판형 태양열 집열기는 고정식이지만, 추적식인 PTC와의 동일 비교를 하기 위해 태양 추적기에 탑재하여 실험을 수행하였다.

2.2 실험 방법

PTC와 평판형 태양열 집열기의 집열 성능을 비교 평가하기 위해서는 실시간 운전을 통해

Data를 확보하는 것이 필요하다. 본 연구는 그림 1과 같이 구축한 실험 장치를 실외에 설치하여 일출 시간에 기동하고 일몰 시간에 정지하도록 설정하여 운전하였다. 실제 외기에서의 일사량은 200 w/m^2 에서 1000 w/m^2 까지 변할 뿐만 아니라 외기 온도 변화, 습도 등의 대기 상태에 따라 직달 일사량과 산란 일사량의 변화가 심하다. 따라서 이와 같은 외기조건 변화에 따른 성능의 변화를 분석하기 위해 약 30일간 지속 운전하여 효율의 변화를 추적하였다. PTC 집열기와 평판형 집열기의 면적이 각각 5 m^2 , 2 m^2 로 설계하였기 때문에 각 집열기로 흐르는 열매체의 유량도 각각 2 lpm과 0.7 lpm으로 다르게 하였다. 두 집열기의 성능을 분석하기 위해 집열기 입출구의 온도, 유량, 일사량, 외기 온도 등을 측정하였다. 이 측정 자료를 바탕으로 각 집열기의 단위 면적당 회수열량과 효율특성을 분석하였다.

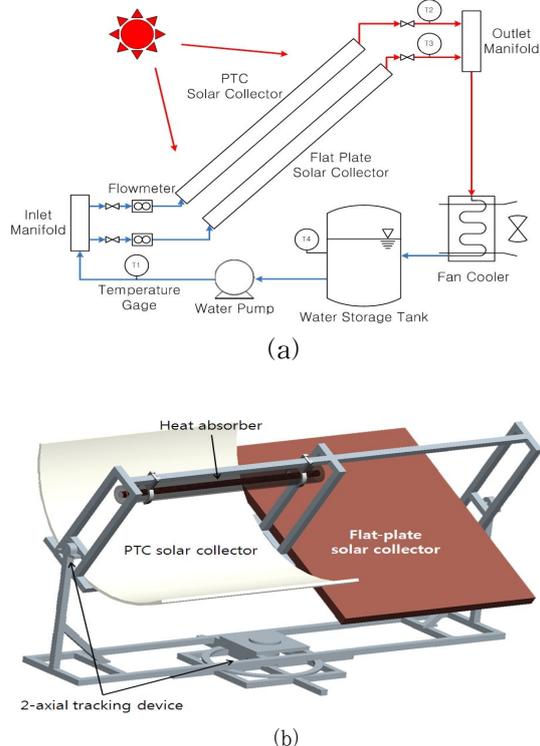


그림 1. PTC와 평판형 집열기 성능평가 장치 개념도: (a) Schematic Diagram, (b)태양 추적기 탑재 형상

표 1. 실험장치의 운전 및 설계조건

Item	Value	Note	
PTC solar collector	Collecting area	5 m ² Concentration ratio: 50 SUN	
	Reflector	Al Reversibility: 90%	
	Max operating temp.	250 °C Max temp. of focus: 300 °C	
	Flow rate	2 lpm	
Flat-plate solar collector	Collecting area	2 m ² Non-concentrating	
	Absorber tube	Cu Penetration ratio: 95%	
	Glass tube	3.2mm	
	Flow rate	0.7 lpm	
Aux. unit	Pp	Flow rate	4 lpm
		Max head	8 m
	Water tank	48 L	
	Cooling fan	8 kW Forced draft type	
Accuracy of tracking system	±0.1°	2-axial solar tracking system	

3. 결과 및 고찰

태양열 집열기의 성능평가는 집열기 입·출구 온도차와 집열기 단위 면적당 얻은 열량, 그리고 집열기의 효율곡선 비교를 통해 파악할 수 있다. 그림 2는 일사량 1000 w/m^2 , 당일 평균 외기온도 11.8°C 인 조건에서 시간의 변화에 따른 PTC와 평판형 집열기의 집열특성을 나타낸 것이다. 실제 실험에서는 일사량이 200 w/m^2 에서 1000 w/m^2 까지 변하는 외기 조건에서 실험을 수행했지만, 대표적으로 당일 평균 일사량이 1000 w/m^2 의 경우에 대해 정리하였다.

그림 2(a)는 시간의 변화에 따른 각 집열기의 입·출구 온도차분포를 나타낸 것으로, PTC 집열기의 입·출구 온도차는 $12\sim 14^\circ\text{C}$ 로 일정하게 분포하고 있으며 평균 온도는 약 13°C 로 측정되었다. 반면 평판형 집열기의 경우 입·출구 온도차 변화가 심하게 나타났으며, 평균 온도차는 약 10°C 로 측정되었다. 그림 2(b)는 집열기 단위 면적당 얻은 열량은 나타낸 것으로, 평균 집열량은 PTC 집열기 $6.8 \text{ kcal/m}^2\text{min}$, 평판형 $2 \text{ kcal/m}^2\text{min}$ 로 분석되었다. 즉 집열 온도와 열량의 분석을 통해 PTC 집열기는 평판형에 비해 입·출구 온도차 분포가 균일하며, 평균 집열량은 약 3배 이상임을 알 수 있다.

그림 2(c)는 집열기 효율곡선을 통해 집열특성을 분석한 것으로, PTC 집열기의 투과 흡수율이 0.494인 반면, 평판형 집열기의 투과 흡수율은 0.369로 분석되어 PTC의 투과 흡수율이 높았으며, PTC 집열기의 열손실 계수는 0.278인 반면 평판형의 열 손실 계수는 4.376로 분석되어, PTC의 열 손실이 낮은 것으로 파악되었다. 이와 같은 실험 결과를 통해 PTC는 평판형에 비해 입·출구온도차가 크고 그 분포가 균일하며 평균 집열량이 높았을 뿐만 아니라 투과 흡수율이 높고, 열 손실이 적은 것으로 분석되어 장치의 성능이 우수한 것으로 파악되었다.

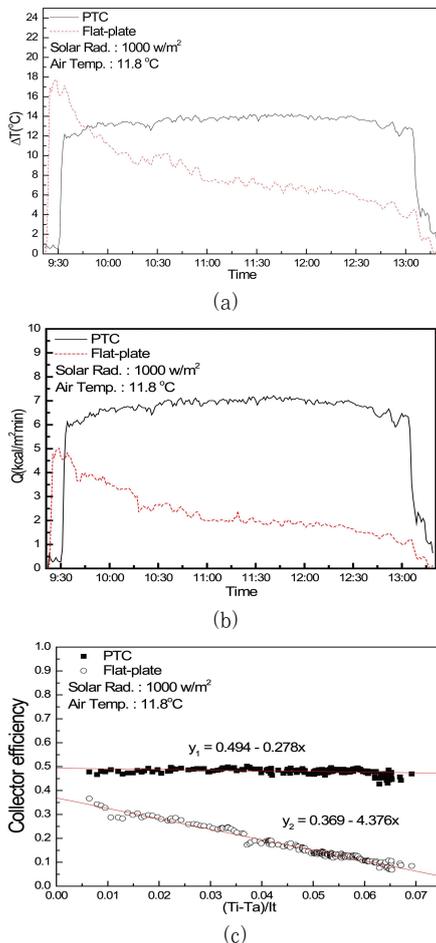


그림 2. 일사량 1000w/m²일 때 태양열 집열기의 집열특성 비교: (a) 온도변화, (b) 열량변화, (c) 집열효율

그림 3은 일사량에 따른 각 집열기의 입·출구 온도 변화를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 일사량이 500 w/m²이하 일 때 PTC와 평판형 집열기의 입·출구 온도 변화는 미미하지만 일사량이 600 w/m²이상 일 때 온도는 급격히 상승하면서 두 집열기 간의 온도차도 크게 나타나는 것을 알 수 있다. PTC와 평판형 집열기의 출구 온도 분포가 거의 비슷한 것은 표 1에서 설명한 바와 같이 유량을 각각 2 lpm과 0.7 lpm으로 차이를 두었기 때문이다. 즉 상대적으로 PTC의 유량이 평판형에 비해 약 3배 이상 많고 출구 온도가 비슷하므로, PTC가 생성하는 열량이 3배 높다는 것을 의미한다.

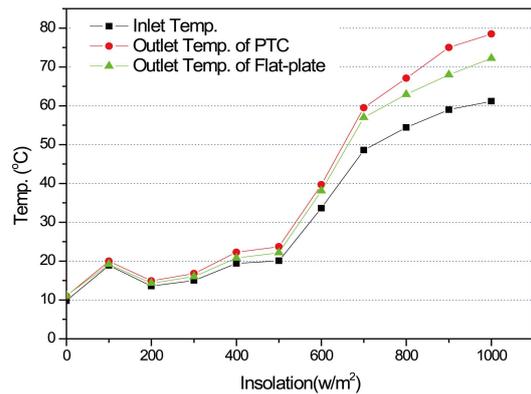


그림 3. 일사량의 변화에 따른 집열기 입 출구 온도분포

그림 4는 일사량 변화에 따른 PTC와 평판형 집열기로부터 생성되는 열량을 분석한 것이다. PTC 집열기는 일사량 600 w/m²일 때 약 2kcal/m²min의 열량을 생성하였으나, 일사량이 증가함에 따라 생성되는 열량이 급격히 증가하여 일사량이 1,000 w/m²일 때 열량이 약 8 kcal/m²min으로 조사되었다. 반면 평판형 집열기의 경우 일사량 600 w/m²일 때 열량은 1 kcal/m²min이었으며 일사량이 1,000 w/m²일 때 열량은 2.5 kcal/m²min에 불과하였다. 즉 집열기의 온도 변화와 그에 따른 생성 열량을 비교 분석한 결과 비집광식인 평판형 집열기보다 집광식

인 PTC 집열기로부터 발생하는 단위면적당 얻은 열량이 약 3배 정도로 많은 것으로 분석되었다. 통상적으로 PTC 태양열 집열기는 직달 일사량이 높은 1000w/m^2 이상의 일사량에서 성능이 우수한 것으로 평가되고 있지만 본 그림에서 보는 바와 같이 일사량이 700w/m^2 정도에서도 생성 열량이 상대적으로 높은 것으로 평가되었다.

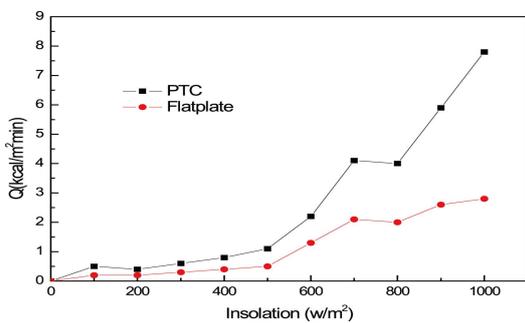


그림 4. 일사량의 변화에 따른 집열기 열량 변화

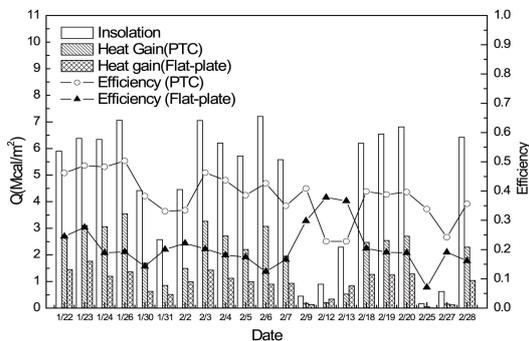


그림 5. 1개월 간 측정된 각 집열기의 효율 특성

그림 5는 1개월간 PTC와 평판형 집열 장치에 대하여 단위 면적당 일사량과 생성열량을 바탕으로 한 효율 특성을 분석한 결과이다. PTC와 평판형 집열기의 생성 열량의 변화가 일사량의 변화와 유사한 궤적을 따르고 있으며, PTC 집열기의 일평균 생산열량은 3000kcal/m^2 로 파악되었고, 평판형 집열기의 일평균 생산열량은 1500kcal/m^2 로 분석되어 PTC의 일평균 열량이 약 2배인 것으로 파악

되었다. 그리고 일사량 대비 PTC 집열기의 생성 열량의 비율, 즉 집열 효율은 40% 이상으로 분석되었고, 평판형 집열기의 집열효율은 약 20%로 분석되었다. 또한 일사량이 적은 날은 대부분이 산란일사량이기 때문에 주로 직달 일사로 집열 하는 집광형인 PTC보다 직달 및 산란 일사량을 모두 집열 할 수 있는 평판형 집열기의 집열효율이 더 높은 것으로 파악되었다.

4. 결 론

집광형인 PTC 태양열 집열기와 비집광형인 평판형 태양열 집열기의 집열 성능을 평가하기 위해 집열기의 입·출구 온도차, 열량, 집열효율 등의 평가 항목에 따라 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 외기 일사량 1000w/m^2 기준, PTC와 평판형 집열기의 집열특성을 분석하였는데, PTC 집열기는 평판형 집열기에 비해 온도변화 균일하며, 평균 집열 량은 $6.8\text{kcal/m}^2\text{min}$ 로 평판형에 비해 약 3배 이상 많은 것으로 분석되었다.
- (2) 집열기의 효율곡선을 통해 집열특성을 분석한 결과 PTC 집열기의 투과 흡수율이 0.494로 평판형 집열기의 투과 흡수율 0.369에 비해 우수하였으며, PTC 집열기의 열손실 계수는 0.278로, 평판형에 비해 낮은 것으로 분석되었다.
- (3) 일사량에 따른 PTC와 평판형 집열기로부터 생성되는 평균 열량을 분석한 결과 PTC 집열기로부터 발생하는 평균 열량이 평판형 집열기로부터 생성되는 열량에 비해 약 3배 정도 많은 것으로 분석되었다.
- (4) 약 1개월 동안 PTC와 평판형 집열기를 운전하여 생성된 열량을 분석한 결과, PTC 집열기의 일평균 단위면적당 생산열량은 3000kcal/m^2 로 파악되었고, 평판형 집열기의 일평균 단위면적당 생산열량은 1500kcal/m^2

로 분석되어 PTC의 일평균 집열량이 약 2배 정도 높았다.

후 기

이 논문은 2010년도 진주산업대학교의 기성회 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략 로드맵(총괄), 지식경제부, 2009.
2. Y.Hang, R. Radermacher, A.A.Ali, I. Kubo, "Review of Solar Cooling Technology", HVAC&Research, 2008, Vol.14, No.3, pp.507-528.
3. 강명철, 강용혁, 윤환기, 유성연, "Dish형 태양열 집광시스템 실증연구를 위한 집열특성 분석", 한국태양에너지학회논문집, 2006, Vol.26, No.1, pp.7-12.
4. 현준호, 천원기, "진공관식 태양열 집열 튜브의 열성능 비교 분석", 한국태양에너지학회논문집, 2003, Vol.23, No.3, pp.15-22.
5. 최은용, 김용, 서태범, "이중 진공관형 태양열 집열기의 집열관 내부 형상과 운전조건이 성능변화에 미치는 영향", 한국태양에너지학회논문집, 2005, Vol.25, No.1, pp.19-25.
6. J.A.Duffie, W.A.Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes, Jhon Wiley & Sons Inc., New York, 1991.