대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집 pp. 570 ~ 575

07-W-090

공기식 흡수기를 이용한 5kW급 접시형 태양열 집열기의 열성능 해석

서 주 현*, 마 대 성*, 김 용*, 서 태 범**†, 강 용 혁***, 이 상 남***, 한 귀 영****

*인하대학교 대학원 기계공학과, **인하대학교 기계공학부,
***한국에너지기술연구원 태양열,수력연구센터, ****성균관대학교 화학공학과

Thermal Performance of Air Receiver filled with Porous Material for 5kW$_t$ Dish Solar Collector

Joo-Hyun Seo*, Dae-Sung Ma*, Yong Kim*, Tae-Beom Seo**†, Yong-Heack Kang***, Sang-Nam Lee***, Gui-Young Han****

*Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Inha University, Incheon 402-751 Korea
**Dept. of Mechanical Eng., Inha University, Incheon 402-751 Korea
***Solar Thermal Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343 Korea
****Dept. of Chemical Eng., Sungkyunkwan University, Suwon 440-746 Korea

ABSTRACT: The thermal performance of the air receiver filled with porous material for 5kW$_t$ dish solar collector installed in Inha University, Korea, is experimentally investigated. The diameter of the parabolic dish is 3.2 m, and its focal length is 2 m. It consists of 10 small pieces of glasses which have their own curvatures, and the effective reflecting area is 5.9 m^2. The reflectivity of the glass is 0.95, and the thermal capacity of the system is about 5 kW thermal. The aperture diameter of the cylindrical-shape receiver which is made of stainless steel is 100 ㎜, and the height is 210 ㎜. A quartz window is installed at the receiver aperture to minimize the convective heat loss and prevent air leakages. In order to increase the heat transfer area, porous material (nickel-alloy) is inserted into the receiver. Air flows into the upper part of the receiver, which is the opposite side of the aperture. After the air flows through the inside receiver, that goes out of the receiver through 3 exits which are located near the aperture. The volumetric flow rates of air are varied from 600 to 1200 L/min. The thermal efficiency of the receiver ranges from 82% - 92% depending upon the flow rate. The results show that the system efficiency and receiver efficiency increase as the volume flow rate increases as expected. These results from the experiment will be useful for the applications to air heating receivers and solar reactors.

Key words: Dish solar collector(접시형 태양열 집열기), Reflector(반사경), Air Receiver(공기식 흡수기), System efficiency(전체 효율), Receiver efficiency(흡수기 효율)

기 호 설 명

$\dot{m}$: mass flow [kg/s]
c_p : specific heat of ambient air [J/kg·℃]
$T_{air,i}$: temperature of a receiver inlet air [℃]
$T_{air,o}$: temperature of a receiver outlet air [℃]

그리스 문자

η : system efficiency

1. 서 론

최근 유가의 급등과 더불어 신재생에너지는 환경친화적인 청정에너지로서 기후변화협약과 화석에너지 고갈에 대한 적극적인 대응방안으로 관심을 모으고 있다. 현재 정부의 국내 신재생에너지 보급 목표는 2006년 에너지소비량의 3%, 2011년 5%로 설정하고 있으며, 이를 위해 기술개발, 보급정책 및 지원제도 개선 등 다양한 활동을 펼치고 있다.[1] 다양한 신재생에너지 분야 중에서도 태양열을 이용한 발전시스템은 화석연료를 대체할 가장 가격 경쟁력이 있는 분야중의 하나로 기대되고 있다.[2]

태양열 발전을 실현시키기 위해서는 낮은 밀도의 태양열을 반사경과 같은 장치를 통해 높은 밀도의 에너지로 만들기 위한 태양열 고집광 관련 기술이 필요하다. 현재 태양열 고집광 관련 기술은 매우 빠른 성장기에 있으며 향후 중장기적인 관점에서 태양열 이용의 극대화를 달성하기 위해서는 보다 새로운 개념의 고효율 집광기술 개발과 설계, 그리고 이용기술의 최적화가 필요하다. 이러한 고효율 고집광 기술의 대표적인 것이 바로 접시형 고온 태양열 시스템이다.[3]

일반적으로 산업용 공정열이나 전력을 생산하기 위해 접시형 고온 태양열 시스템이 이용되고 있으며, 세계적으로 이에 대한 많은 연구가 진행중에 있다.[4] 지금까지 성공적으로 개발된 접시형 고온 태양열 시스템으로는 호주 Canberra에 Australian National University(ANU)에 의해 제작된 ANU SG3 dish(400 kWth)가 있다. 미국 Huntington Beach에 Boeing/Stirling Energy Systems Dish Engine Critical Components(DECC)에 의해 Phase II(25 kWe)가 있고, Colorado와 Phoenix에 second USA project에 의해 제작된 SAIC/STM(30kWe)가 있다. 스페인 Plataforma Solar de Almera (PSA)에 SBP와 DLR에 의해 설치된 DISTAL(9kWe) I이 있다.[5]

국내의 경우 직달일사량이 청명일 연평균 약 4,400 kcal/㎡로, 중고온 이용 분야에 적용이 가능한 일사조건을 갖추고 있다.[6] 이러한 일사 조건을 바탕으로 1996년 12월부터 국내에서 처음으로 접시형 태양열 집열기 개발에 착수하여 접시형 고온 태양열 시스템 KIERDISH Ⅰ, KIERDISH Ⅱ를 개발 및 설치·운영하고 있다.[2] 그러나 다양한 흡수기 형상 및 작동 조건 변화에 따른 연구와 개발은 아직 미진한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 작동 조건 변화에 따른 접시형 고온 태양열 시스템의 성능 변화를 실험을 통해 연구하였다. 이를 위해 내부에 니켈 합금으로 이루어진 다공성 물질(porous metal)을 삽입한 형태의 흡수기를 제안하였으며, 작동 유체는 공기를 사용하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

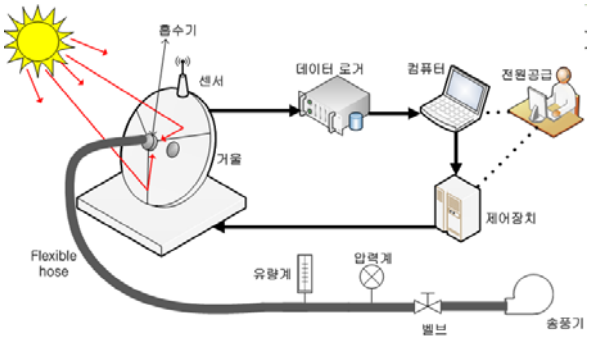
2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 접시형 태양열 집열기 및 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다.

(a)

† Corresponding author
Tel.: +82-32-874-7327; fax: +82-32-868-1716
E-mail address: seotb@inha.ac.kr

(b)



(c)

Fig. 1 접시형 태양열 집열기 및 시스템 개략도

Fig. 2 조각거울 형상

태양열 집열기의 총 용량은 5 kW_{th}이며, Fig. 2와 같은 포물선형 반사경 10개를 사용하였다. 지면으로부터 중심까지 거리는 1.83 m이고, 최대높이는 4.11 m이다. 사용된 거울의 반사율은 95% 이상이고, 거울의 직경은 3.2 m, 초점 거리는 2 m이다. 또한, 거울의 총면적은 5.90 ㎡이다. 모든 거울의 초점은 흡수기의 개구부 중심과 일치한다. 현재 인천 송도신도시에 설치되어 가동 중이다.

Fig. 3 직달일사량계(pyrheliometer)

Fig. 3은 직달일사량을 측정하기 위해 사용한 직달일사량계(pyrheliometer)이다. 센서는 NIP (Normal Incidence Pyrheliometer) 모델이며, solar tracker는 태양을 자동으로 추적할 수 있는 ST-1모델을 사용하였다.

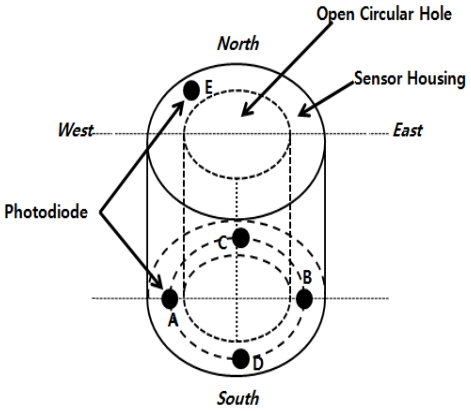


Fig. 4 태양센서 구조[7]

Fig. 4는 접시형 태양열 집열기 상단에 위치한 센서이다. 5개의 광센서(photodiode)를 사용하여 태양의 유무, 태양의 방위각 및 고도각 변화에 따른 태양의 위치를 판별하기 위한 센서이다.

센서 하우징 외부에 설치된 광센서 E는 태양이 일시적으로 구름에 가려있거나 또는 흐린 날씨를 판별하기 위한 것이며, 광센서 A와 B는 태양 방위각 변화에 따른 태양추적을, 광센서, C와 D는 태양 고도각 변화에 따른 태양추적을 수행하기 위한 것이다.

태양센서의 의한 태양추적은 광센서 E에 입사되는 태양빛의 세기(intensity)가 추적 조건에 적

합할 경우, 태양추적용 광센서 A, B 및 C, D를 사용하여 추적을 수행하며, 태양이 일시적으로 구름에 가려 있거나 하는 경우와 같이 광센서 E로부터 생성되는 신호가 추적조건을 충족시키지 못할 경우, 시스템을 추적대기모드로 전환시켜 추적을 중지시킨다.[7]

Fig. 5 흡수기 외부 형상

Fig. 6 석영유리

Fig. 7 다공성 물질

Fig. 5는 공기식 흡수기 외부 형상이다. 흡수기의 외부 재질은 고온에 견딜 수 있는 SUS 306로 제작 하였으며 흡수기의 입구는 태양복사열을 90%이상을 흡수할 수 있도록 100 ㎜로 정하였다. 또한 흡수기의 대류 열손실을 최대한으로 줄이기 위해 흡수기 입구에 Fig. 6과 같이 투과율이 좋고, 고온에서 견딜 수 있는 석영유리(quartz glass)를 설치하였다. 그리고 흡수기 내부를 지나는 공기의 거주시간 및 열전달 면적을 최대한 늘리기 위해서 Fig. 7과 같이 니켈 합금으로 이루어진 다공성 물질(porous metal)을 채워 넣었으며, 흡수기 외부 출구의 단열을 하기 위해 세라믹 섬유(thermal ceramic fiber)를 사용하였다. Fig. 8, 9는 흡수기 형상 및 내부 단면이다.

Fig. 8에서와 같이 1번에 위치한 흡수기 입구로 공기가 유입되어 2번으로 표시된 세 방향으로 나간다. 3번으로 표시된 흡수기 안쪽에 다공성 물질이 채워져 있으며 석영유리는 4번 위치에 설치되어 있다.

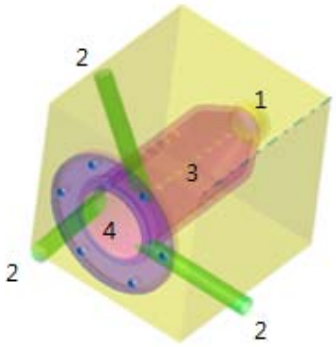


Fig. 8 흡수기 형상

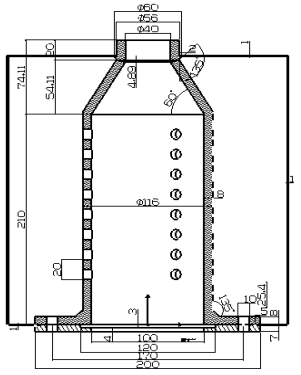


Fig. 9 흡수기 내부 단면

공기가 유입되는 흡수기 입구에는 유연성 및 고온에 견디는 재질의 배관이 필요하기 때문에 -200 ~ 800 ℃에서도 견딜 수 있는 SUS 304 재질의 flexible hose를 사용하였다.

Fig. 10은 흡수기 안쪽으로 공기를 불어 넣는 송풍기이다. 송풍기의 용량은 10.5 ㎥/min이다. 또한, 접시형 태양열 집열기에서 최대 효율을 구하기 위해서는 공기의 정확한 유량을 측정하는 것이 매우 중요하기 때문에 Fig. 11과 같이 0 ~ 300 ㎏/h의 범위를 측정할 수 있고, 정확도가 ±0.5% 인 질량 유량계(Sage Metering, SIG-05-06-DC24-AIR)를 설치하였다. 흡수기의 입구 온도를 25℃, 출구 온도를 200℃로 가정하였을 때 유량 범위에 따른 압력의 변화도 매우 중요하기 때문에, Fig. 12와 같이 압력계(Allsensor, P201-H-003-B-G)를 설치하였다. 압력계의 정확도는 ±0.5% 이며, 측정범위는 0 ~ 3 bar이다.

Fig. 10 송풍기

Fig. 11 질량 유량계

Fig. 12 압력계

2.2 실험방법

본 실험은 접시형 태양열 집열기에 설치된 공기식 흡수기 안쪽으로 작동 유체인 공기를 송풍기로 불어넣었다. 다공성 물질(porous metal)로 채워진 흡수기 안쪽으로 공기가 흡수기를 통과한 후 출구를 통해 빠져나가게 된다. 흡수기 안쪽 공기 흐름을 와류로 만들기 위해 출구를 세 방향으로 제작하였다. 접시형 태양열 집열기의 성능을 분석하기 위해서는 흡수기의 입구 및 출구의 온도 측정이 매우 중요하다. 따라서 흡수기의 입구와 출구 쪽에 K-type 열전대를 각각 2개, 6개를 설치하여 입·출구사이의 평균 온도차를 구하였다. 또한, 하루의 일사량 측정이 시스템의 전체 효율을 구하는 부분에 있어서 매우 중요하다. 따라서 앞서 언급한 직달일사량계를 정남쪽에 위치시켜, 일출 시간부터 일몰 시간까지의 일사량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과 처리 방법

시스템의 효율은 식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p(T_{air.o} - T_{air.i})}{\text{거울 획득열량}} = \frac{\dot{m}c_p(T_{air.o} - T_{air.i})}{\text{평균일사량} \times \text{거울면적}} \quad (1)$$

3.2 실험결과 및 분석

Fig. 13~15는 시간에 따른 일사량과 공기식 흡수기의 입·출구 공기 온도 변화를 나타내었다. 일사량이 일정하게 측정되다가 값이 떨어지는 경우에 흡수기 출구의 온도도 떨어지는 것을 알 수 있다. 일사량이 일정하게 측정되지 못한 이유에는 여러 가지가 있겠지만, 구름으로 인한 태양복사의 산란이 가장 큰 이유이다. 따라서 이 실험에서 일정한 일사량의 측정이 가장 중요한 요소이다. Table 1은 유량변화에 따른 시스템의 평균 효율을 구한 표이다. 유량이 증가할수록 시스템의 평균 효율이 증가하는 것을 알 수 있다.

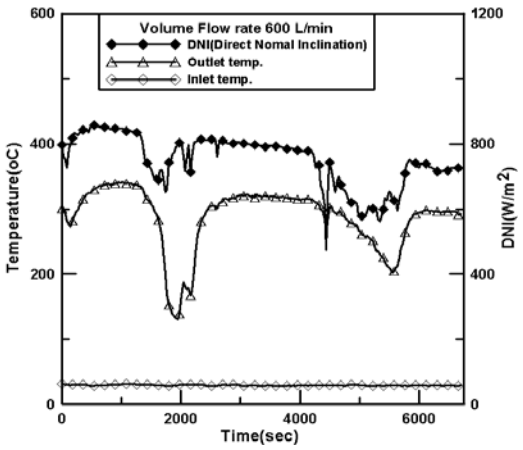


Fig. 13 흡수기 입·출구 공기 온도변화 (유량=600 L/min)

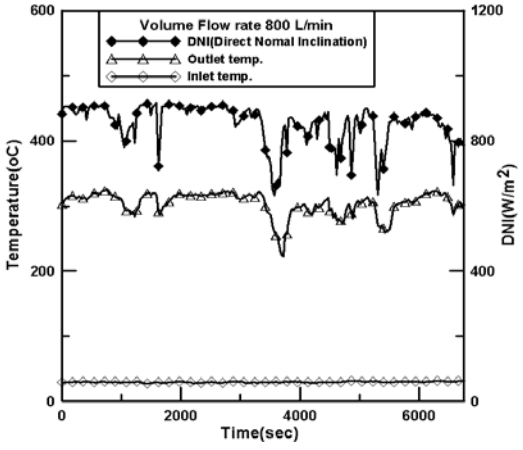


Fig. 14 흡수기 입·출구 공기 온도변화 (유량=800 L/min)

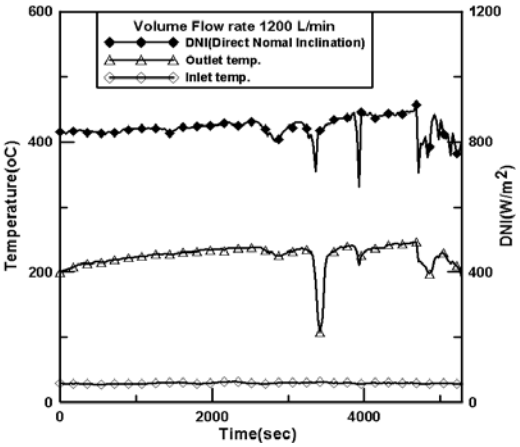


Fig. 15 흡수기 입·출구 공기 온도변화 (유량=1200 L/min)

Table 1 유량 변화에 따른 시스템 평균 효율 변화

유량(L/min)	효율(%)
600	81.25
800	85.05
1200	92.58

4. 결 론

본 연구에서는 실험을 통해 접시형 태양열 집열기 시스템의 작동 유체 유량 변화에 따른 효율을 알아보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 열용량 5kW급의 접시형 태양열 집열기 시스템을 실제 제작, 시험 운전하였다.

(2) 작동 유체인 공기의 유량이 증가함에 따라 작동 유체의 온도 변화폭이 작아진다.

(3) 공기의 유량이 증가함에 따라 시스템 전체 효율이 좋아진다.

(4) 일사량이 증가함에 따라 흡수기 출구 공기의 온도도 증가한다.

접시형 태양열 집열기의 실험을 할 경우에는 날씨의 청명도가 매우 중요한 인자로 작용하게 된다. 따라서 청명한 날씨 조건 하에서 장시간 실험을 실시하여 측정하는 것이 정확한 시스템의 효율을 구하는 데 효과적이다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호: 005-N-SO14-P-01-0-000)

참고문헌

1. Shin, U. C., Beak, N. C., Kwak, H. Y., Ju, H. L., An Experimental Study on the Solar Hot Water Heating System for the Dormitory of University, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 2, pp. 103-109, 2006.
2. Kang, Y. H., Kwak, H. Y., Yoon, H. K., Yoo, C. K., Lee, D. G., Kang, M. C., Yoon, H. S., Flux Distribution of The Dish Concentrator, Proceedings of the Korean Solar Energy Society, 1999. pp. 127-133
3. Kang, M. C., Kamg, Y. H., Yoo, S. Y., Flux Density Distribution of the Dish Solar Concentrator (KIERDISH), Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 24, No. 4, pp.11-18, 2004.
4. Ryu, S. Y., Seo, T. B., Kang, Y. H., An Analysis of Heat Losses from Receivers for a Multifaceted Parabolic Solar Collector, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 20, No. 3, pp. 61-73, 2000.
5. D. Mills, 2001, Advances in solar thermal electricity technology, Solar Energy, Vol. 76, pp. 19 - 31, 2004.
6. 강용혁 외, 10kWe급 Dish - stirling 태양열 발전시스템 실증연구, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 5, No. 2, pp. 9-17, 2006.
7. Park. Y. C., Kang, Y. H., A study on the development of two axes sun tracking system for the parabolic dish concentrator, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 19, No. 4, pp. 81-91, 1999.