

운량에 따른 태양열 시스템의 성능 분석에 관한 연구

김 원 석, 표 중 현, 조 홍 현^{*†}, 류 남 진^{**}
 조선대학교 대학원, ^{*} 조선대학교 기계공학과, ^{**}(주)강남 부설 연구소

Study on the Performance Analysis of Solar Heating System with Cloud Cover

Won-Seok Kim, Jong-Hyun Pyo, Honghyun Cho^{*†}, Nam-Jin Ryu^{**}

ABSTRACT: In this study, the performance of solar assisted hybrid heat pump system with cloud cover were analyzed by using experimental method in spring season. It was consisted of concentric evacuated tube solar collector, heat medium tank, heat storage tank, heat pump, and so on. As a result, the solar radiation should be maintained over 4.1 MJ/m² in order to operate solar heating system for heating. Solar heat of collector wasn't affected by ambient temperature, but cloud cover has a big effect to collector efficiency. In addition, the collector efficiency is about 50-60%, and solar fraction is 40% for this system.

Key words: Solar heating system(태양열 시스템), Solar fraction(태양열 의존율), Collector(집열기), Water heating(급탕), Space heating(난방)

기 호 설 명

Q_collector	: 집열기 획득열량
Q_heating	: 난방사용열량
Q_hot water	: 급탕사용열량
ΔT_{on}	: 차온제어기 작동온도차 [°C]
ΔT_{off}	: 차온제어기 정지온도차 [°C]
F_R	: 열전달비
U_L	: 열손실계수 [W/m ² °C]

1. 서 론

최근 유가의 상승으로 인하여 석유를 생산하지 못하는 대다수의 나라는 경제적으로 심각한 영향

을 받았으며, 이후 각국에서는 에너지 위기론의 대두와 화석연료의 질감 및 한계성 때문에 새로운 에너지 자원과 대체에너지 개발의 필요성에 많은 관심을 갖게 되었다. 특히 우리나라와 같이 에너지의 수입의존도가 매우 높은 국가에서는 에너지 위기에 대한 관심과 노력이 다른 나라들에 비하여 더욱 절실하게 요구되고 있다. 그러나 원자력을 제외하고 우리가 활용 할 수 있는 대체에너지로는 태양열, 수력, 풍력, 조력, 바이오매스(Biomass), 폐기물 등 다양하지만 태양열을 제외하고는 지역적인 활용의 제약성과 2차 오염물질의 발생 및 연구의 미개발 등으로 인하여 아직까지 실용화 및 적용에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

그 중 태양열은 무한량(약 50억년)으로 사용할 수 있으며, 1년간 지구에서 받는 태양 에너지량은 연간 세계에너지 소비량의 약 20,000배에 이른다. 즉, 지구가 태양으로부터 1~2주 동안 받는 에너지는 지구상에 매장된 전체 화석연료량과

[†] Corresponding author
 Tel.: +82-62-230-7050; Fax: +82-62-230-7055
 E-mail address: hhcho@chosun.ac.kr

견줄만한 에너지를 가지고 있다. 이러한 태양 에너지를 잘 활용한다면 에너지 수입 의존도 97.6%, 에너지 자급율 3% 미만의 열악한 국내 에너지 수급 및 극복에 큰 도움이 될 것이다.⁽¹⁾

이러한 태양열 에너지 이용에 관한 연구가 국내에서도 지속적으로 진행되어 왔는데, Kim et al.⁽²⁾은 국내 여러 지역의 집열판 각도 및 방위각에 따른 일사량을 연구하였고, Kwak et al.⁽³⁾은 광주 서구문화센터에 설치된 태양열 시스템의 축열탱크 상단온도 제어모드에 따른 난방 및 급탕 성능을 분석하였다. 또한, Kim et al.⁽⁴⁾은 부하 패턴 및 집열기의 열 성능 계수에 따른 태양열 의존율을 연구하였다.

태양열 시스템의 개발 및 보급의 활성화를 위해서는 국내의 환경특성을 고려한 시스템의 구성과 설계가 필요하며, 시스템의 효율성 및 경제성 향상을 위해 보조열원과의 연계 및 통합제어기술의 개발이 요구되고 있다. 그러나 아직까지 이에 대한 연구는 미비한 실정이고, 실용화 기술은 초보단계에 있다. 따라서 본 연구에서는 운량과 실외온도에 따른 집열기 성능과 그에 따른 시스템 성능을 분석하여 태양열 시스템의 실용화를 위한 기초적인 데이터를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 설계된 태양열 하이브리드 시스템의 개략도와 주요 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 태양열 집열기는 중온 범위에서 안정적으로 작동하고, 건물의 난방 및 냉방용으로 적합한 이중관형 집열기를 사용하였고, 작동유체로써는 물-프로필렌글리콜(Propylene glycol) 혼합액을 사용하였다. 일사량계는 집열기의 설치각도와 동일하게 하여 실제 측정과 유사한 값을 측정할 수 있도록 설치하였으며, 축열탱크는 2개의 열교환기(집열, 난방)가 내장된 형태로 설계되었다. 집열기와 축열탱크 사이에는 차온제어기와 펌프에 의해 운전되고, 열매체의 보충 및 집열기의 과열시 압력을 제거해 주기 위하여 열매체 탱크를 사용하였다. 또한 보조열원으로는 5 RT급 히트 펌프를 사용하였다.

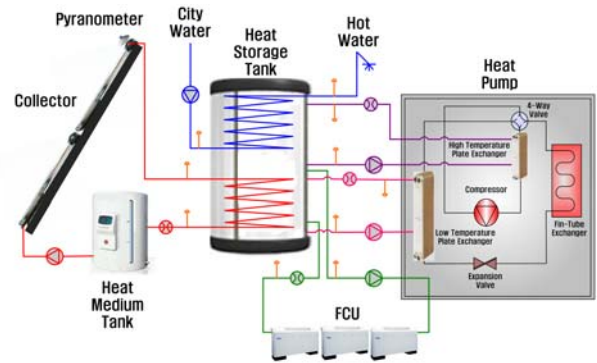


Fig. 1 Schematic diagram of Hybrid solar heating system.

Table 1 Specification of solar heat system

Parameter		Specification
Collector	Area	1.98 m ² /ea
	Unit	8
	Slop	45°
	$F_R(\tau\alpha)$	0.773
	$F_R U_L$	2.284
Storage tank	Type	Vertical cylinder
	Capacity	1.5 ton
Medium tank	Capacity	120 l
Controller	Type	Digital difference temperature control
	$\Delta T_{on}, \Delta T_{off}$	10°C, 3°C
Heat pump	Capacity	5 RT

2.2 실험방법

시스템의 성능측정을 위한 주요 위치에 측정기기를 설치하였으며, 설치된 측정 기기의 제원을 Table 2에 나타내었다. 봄철 집열 및 운전 특성을 알아보기 위해 4월 11일부터 한 달간 실험을 진행하였다. 시스템의 설치는 실내공간 24평, 급탕 부하는 4인 가족 기준으로 설정 하였다. 시스템의 성능을 정확하게 분석하기 위해서는 일정한 급탕부하 패턴이 고려되어야 하나, 급탕부하에 관한 정확한 자료가 부족한 관계로 1인당 일일 급탕량을 ASHREA 설계조건⁽⁵⁾을 고려하여 220 liter를 설정하여 수행하였다.

또한, 기존의 연구⁽⁶⁾를 참조하여 집열기의 효율적인 작동을 위해 차온제어기가 축열조 운전에서 사용 되었는데, 이는 축열탱크의 상단부 온도와

Table 2 Specification of measuring instrument

Measuring instrument	Model	Accuracy
Flowmeter	Primo Advanced 20A	0.25 %
	Primo Advanced 25A	0.25 %
	E-MAG	0.5 %
	RHM 04	0.1 %
Thermo meter	T-type Thermocouple	0.05 %
	HF5	0.1 %
Data logger	DA-100	0.05 %
Radiation Sensor	QMS101	0.15 %

집열기 출구와의 온도차에 의해서 순환펌프의 작동유무를 제어한다. 본 연구에서는 차온제어기의 온도차를 ΔT_{on} 은 10°C, ΔT_{off} 는 3°C로 설정하여 실험을 수행하였다.

히트펌프의 열교환기는 2개의 판형 열교환기로 구성되어 있는데, 이중 압축기 출구에 설치된 고온 판형 열교환기는 축열탱크 상부의 고온수와 직접 열교환을 하며, 저온형 판형 열교환기는 축열탱크 하부의 저온수와 직접 열교환을 하여 냉난방을 담당한다. 히트펌프의 작동조건은 축열탱크 하부의 온도가 48°C이하가 되었을 경우 작동하고 48°C이상일 되었을 경우 정지하도록 설정하였다.

주요 부위에서 데이터 수집은 각 측정 위치에서의 자료를 5분마다 정보수집기를 이용하여 수집하였으며, 집열량의 산정은 차온제어에 의해 집열부 펌프가 작동되는 시점을 기준으로 하였다. 본 실험을 위해 실내설정온도를 25°C로 선정하였고 히트펌프의 작동조건을 축열탱크 하부의 온도가 48°C 이하일 경우에만 작동하도록 설정하고, 급탕부하를 위하여 아침, 점심, 저녁 각각 80 L, 60 L, 80 L씩 온수를 제거하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 흐린 날의 시스템 성능 특성 분석

실험장치 설치장소와 근거리에 존재하는 광주 기상청의 운량 데이터를 기준으로 하여 측정일의

운량이 5이하일 경우에는 맑은 날, 5이상일 경우에는 흐린 날로 나누어서 시스템 성능을 분석하였다. Fig. 2는 실험 기간 중 운량이 5이하인 날의 일사량과 외기온도를 보여주고 있다. 실험 기간 중 최저 일사량은 3.6 MJ/m²로 나타났고, 외기온도와 크게 상관없이 운량이 10에 가까워질수록 일사량은 적게 나타내는 것으로 확인되었다.

Fig. 3은 각 해당일에 대한 집열량과 집열기 효율을 보여주고 있다. 운량이 9.4이상인 날 즉, 일사량이 4.1 MJ/m²이하인 4월 24일과 25일은 일사량이 상대적으로 약하기도 하지만 차온제어에 의해 집열 펌프가 작동되지 않아서 축열조의 열이동이 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 시스템의 설계 조건에서는 태양열 시스템이 태양열을 사용하기 위해서는 최소한 4.1 MJ/m²이상의 일사량이 필요함을 알 수 있다. 또한, 태양에너지를 이용하지 못한 날을 제외한 날의 집열 효율은 평균적으로 50%정도로 상대적으로 큰 것으로 확인되었다.

Fig. 4는 집열기 열량과 급탕부하, 그리고 난방부하에 따른 태양열 의존율을 보여주고 있다. 운량이 10에 가깝고 외기온도가 낮아질수록 태양열 의존율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 4월 25일과 26일의 난방부하량이 큰 이유는 실내 설정온도인 25°C와 실외온도와의 온도차가 크기 때문에 난방부하량이 크게 증가하였기 때문이다. 또한, 동일한 양의 급탕온수를 제거해 주었음에도 불구하고 일일 급탕 부하가 서로 다르게 나타난 이유는 본 시스템의 설계 문제상 온수의 온도를 일정하게 제어를 할 수 없기 때문이다. 따라서, 급탕용 열교환 코일이 위치하는 축열탱크 상단부의 온도에 따라 급탕온수의 온도가 달라지고 이에 급탕부하도 달라지는 것으로 사료된다.

3.2 맑은 날의 시스템 성능 특성 분석

Fig. 5는 실험 기간 중 운량이 5이상인 날의 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 최대 일일 일사량은 22.7 MJ/m²로 흐린 날의 최저 일사량에 비하여 4.5배 이상 크게 나타났으며, 맑은 날 역시 흐린 날과 비슷하게 외기온도에 따른 일사량의 영향은 미미한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 맑은 날의 집열량과 집열기 효율 변화를 보여주고 있다. 운량이 5이상인 날은 전체

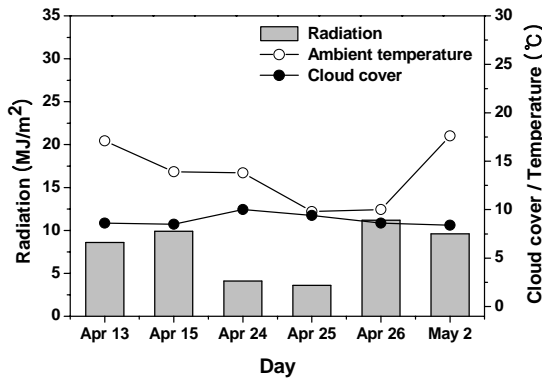


Fig. 2 Variations of solar radiation and ambient temperature for gray day.

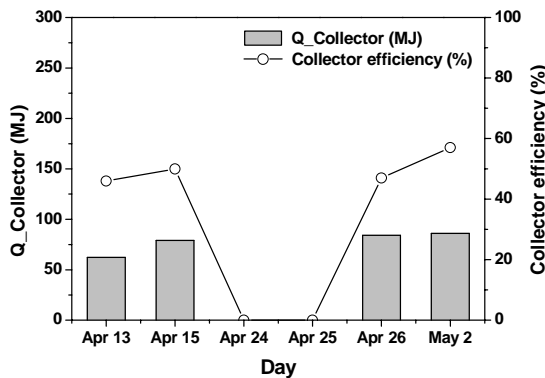


Fig. 3 Variations of $Q_{collector}$ and collector efficiency for gray day.

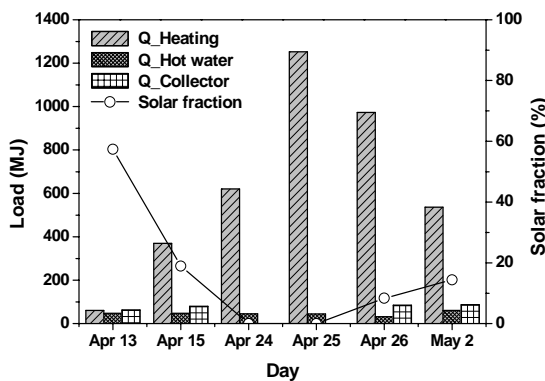


Fig. 4 Variations of system load and solar fraction for gray day.

적으로 일사량과 집열량의 운전변화가 유사한 것으로 나타났고, 집열량 차이 또한 크게 나타나지 않는 것으로 확인되었다. 집열기 효율은 평균적으로 60.5%정도 나타났으며, 이때 집열량은 202.5 MJ로 확인되었다.

Fig. 7은 맑은 날 집열량과 급탕부하, 그리고 난방부하를 고려한 태양열 의존율 변화를 보여주고 있다. 운량이 5이하인 맑은 날에는 운량에 따라 집열량 차이가 크지 않으며, 운량이 0에 가깝고 외기온도가 높아질수록 태양열 의존율이 향상되는 것으로 나타났다. 5월 5일에는 태양열 의존율이 100%로 나타났는데 이는 외기온도가 실내 설정 온도와 유사하였기 때문에 난방부하가 매우 적고 이에 태양열 의존율이 100%로 나타났다. 4월 23일과 30일은 운량이 5에 근접한 것으로 나타났지만 각각의 난방부하량이 크게 차이는 이유는 4월 30일의 경우 외기온도와 실내온도의 차이가 8.5°C로 나타났고, 4월 23일의 경우에는 11.9°C로 상대적으로 온도차가 증가하여 난방부하량의 차이가 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 태양열 하이브리드 시스템의 성능분석을 위하여 각각의 운량에 따라 맑은 날, 흐린 날로 나누어 집열량과 태양열 의존량에 따른 성능특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 본 태양열 시스템의 축열 운전은 일사량이 최소한 4.1 MJ/m² 이상이 되어야 운전됨을 확인할 수 있었고, 맑은 날의 집열효율은 50%, 흐린 날은 60.5%로 나타났다.

(2) 집열량은 외기온도에 따른 변화는 거의 없는 것으로 나타났으나, 운량에 따른 집열량 변화가 상대적으로 크게 확인되었다.

(3) 난방부하는 운량에 의한 영향보다 외기온도에 의한 영향이 큰 것으로 나타났으며, 태양열 의존율은 운량이 0에 가깝고 외기온도가 높을수록 좋았고, 실험기간 중 태양열 의존율은 40% 정도로 나타났다.

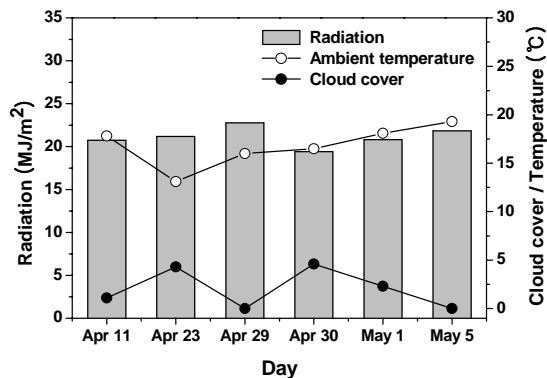


Fig. 5 Variations of solar radiation and ambient temperature for fair day.

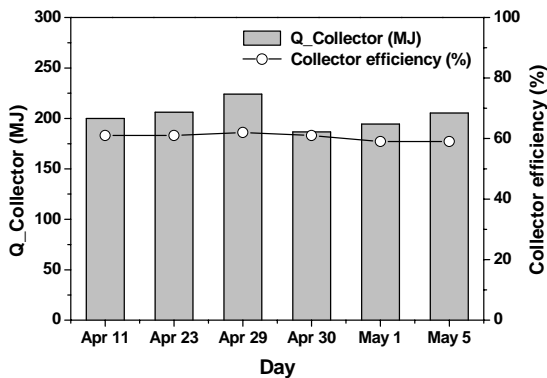


Fig. 6 Variations of $Q_{collector}$ and collector efficiency for fair day.

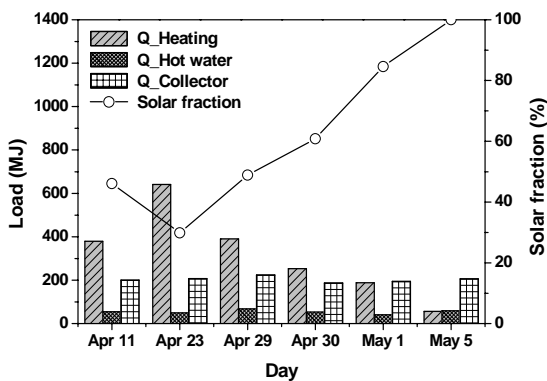


Fig. 7 Variations of system load and solar fraction for fair day.

후 기

본 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 학술진흥재단의 지원(KRF-2008-313-D00112)을 받아 수행되었으며, (주)강남의 협력에 감사드립니다.

참고문헌

1. DACO Industrial Research, 2008, Market forecasts of Solar heat system, Seoul, Korea.
2. Kim, J. M., Kim, Y. I., and Choung, K. S., 2006, Study of the effect of vertical and azimuth angles of solar collector on the solar radiation for various locations in Korea, Proceedings of the SAREK 2006 Winter Annual Conference, pp. 307-312.
3. Kwak, H. Y., Kim, J. B., Joo, H. J., and Kim, J. B., 2006, Demonstration study on Heating and Hot water According to Control Condition of Solar System, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 4, pp. 119-126.
4. Jang, H. Y., Kim, B. G., and Suh, J. S., 2006, Simulation Analysis of Solar Hot Water System considering Space Heating Load and Hot Water Load, Proceedings of the KSME 2006 Autumn Annual Conference, pp. 114-119
5. ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116.
6. Shin, U. C., and Baek, N. C., 2005, Thermal Performance of Solar Thermal System by on-off Differential Temperature Controller, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 2, pp. 1-8.
7. J. A. Duffie, and W. A. Beckman, 2006, Solar Engineering of Thermal Process, Wiley, New York.