

봄철 태양열 하이브리드 시스템의 부하조건 변화에 따른 운전특성 연구

표 종 현, 김 원 석, 조 홍 현^{*†}, 류 남 진^{**}

조선대학교 대학원, ^{*†} 조선대학교 기계공학과, ^{**}(주)강남 부설 연구소

Study on the Operating Characteristics with Load Condition in Hybrid Solar Heating System during Spring Season

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

ABSTRACT: This study describes experimental study on the performance characteristics with load condition in hybrid solar heating system during spring season. The room temperatures, the hot water conditions and the lower part temperatures of heat storage tank were changed to analyze the system performances. As a results, the hot water was significantly affected by the ambient temperature. The indoor setting temperature affected the solar fraction. When the low part temperature of the storage tank increased, the temperature of the hot water rose and the temperature of the hot water in morning was affected by the ambient temperature.

Key words: HSHS(Hybrid Solar Heating System) 하이브리드 태양열 시스템, Hot water(온수 급탕), Operating characteristics (성능 특성)

기 호 설 명

- G_T : 평균일사량 (W/m^2)
- Q_u : 사용열량 (kWh)
- Q_{hw} : 급탕 사용열량 (kWh)
- Q_s : 태양열 난방사용열량 (kWh)
- Q_h : 히트펌프 난방사용열량 (kWh)
- SCF : 태양열 의존율 (%)
- T_A : 외기온도 ($^{\circ}C$)
- T_R : 실내설정온도 ($^{\circ}C$)
- T_{low} : 축열조 하부온도 ($^{\circ}C$)
- ΔT : 실내온도와 외기온도의 차 ($^{\circ}C$)

1. 서 론

최근 고유가 상황에 따른 에너지 위기론과 생활수준의 향상에 따른 에너지 소비가 증대되어 친환경기술에 대한 관심이 증가하고 있으며 따라서 신재생에너지를 이용한 기술개발에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이는 국내 에너지 수입 의존도가 높은 상황과 앞으로 CO_2 배출량에 따른 규제가 강화되는 상황에 비추어 볼 때, 우리나라 실정에 가장 맞고 이용이 편리하며 사용이 무한정 에너지에 대한 관심을 더욱 더 가져야 한다.

신재생에너지로써 청정하고 에너지원이 무한대인 태양에너지는 미래에너지원으로 각광을 받고 있다. 태양에너지는 온실가스의 배출을 줄일 수 있으며, 지역적 영향이 적고 손쉽게 구할 수 있

[†] Corresponding author

TEL: +82-62-230-7050; FAX: +82-62-230-7055

E-mail address: hhcho@chosun.ac.kr

는 에너지라는 장점을 가지고 있다. 반면에 에너지 밀도가 낮으며 기후변화에 따라 영향을 많이 받으며 에너지 생산이 안정적으로 공급을 못하는 문제점을 가지고 있기도 하다. 에너지 위기 극복과 지속적인 개발의 필요성에 의하여 이미 관련 연구가 활발히 진행되고 여러 분야에서 활용되고 있다. 태양열 하이브리드 시스템은 일사량이 충분할 때에는 집열기에서 태양열을 흡수하고, 일사량이 부족하는 경우에는 태양열과 히트펌프를 이용하여 획득한 열을 급탕과 난방을 위하여 동시에 이용하는 기술이다

태양열원과 열펌프가 결합된 하이브리드형 난방에 관하여 Xu et. al.⁽¹⁾는 중국 난징(Nanjing)시 지역의 기후데이터를 바탕으로 태양열원과 공기열원을 이용하여 150 l 용량의 축열조 온도를 55°C까지 상승시키기 위한 연구를 하였다. 또한 N.C Baeck⁽²⁾등은 이중 열원식 히트펌프 시스템의 성능 해석을 위해 TRNSYS 프로그램을 이용하여 해석하였으며 태양열 시스템에서 히트펌프로 보조열원을 이용하는 경우 더욱 경제적인 것이라 밝혔다. 하지만 기존의 연구에는 히트펌프를 이용한 봄철 태양열 하이브리드 시스템의 운전특성에 대한 실험적 연구는 극히 드문 편이다.

따라서 본 논문에서는 보조열원으로 봄철 경제적이고 효율적인 태양열 하이브리드 시스템을 채택하여 2009년 4월부터 5월까지의 운전조건에 따른 봄철 태양열 하이브리드시스템의 성능특성 대한 실험적 연구를 진행하였다. 이를 위하여 급탕 조건에 따른 최적화와 실내설정온도에 따른 성능특성을 분석하여 태양열 의존을 분석하였고 축열조 하부온도에 따른 운전특성에 대한 연구도 수행하였다. 본 연구를 통하여 고 효율 태양열 하이브리드 시스템 개발에 필요한 시스템 운전특성과 관련된 기초데이터를 제공할 수 있는 것으로 기대된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 해석대상으로 선정된 히트펌프 이용 태양열 시스템의 하이브리드 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내고 있다. 일사량을 측정하기 위해 Vaisala QMS 101를 사용하여 일사량을 측

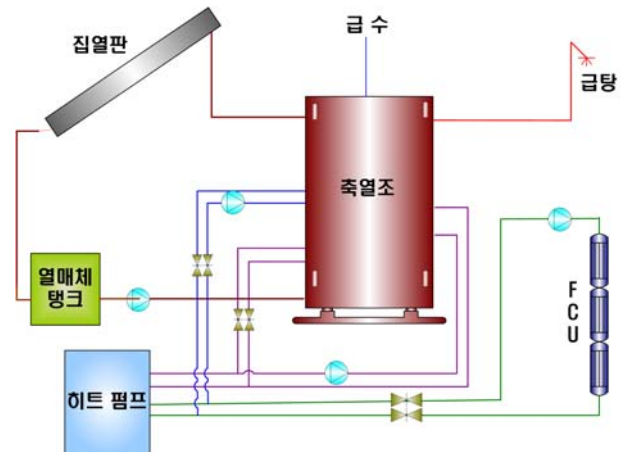


Fig. 1 Schematic diagram of Hybrid Solar Heating System.

정하였으며 진공관형 집열기와 축열조는 정남향으로 설치하였다. 축열조의 열매체펌프를 통하여 축열조 내부에서 열교환하도록 설계하였으며, 축열조의 열매체로는 Propylene Glycol 혼합액을 사용하였다. 또한 온도측정을 위해 T-type의 열전대, 물의 유량 측정을 위해 체적유량계, 히트펌프의 전력측정을 위해 전력량측정기(power meter)를 사용하였다. 실험에 적용시킬 공간으로 4인 기준 24평(79.34 m²)으로 설정하였으며 이 공간의 효율적인 난방을 위해 FCU (8,720 kcal/h) 3개를 설치하여 실내설정온도에 따라 작동하도록 구성하였다. Table 1은 주요부분의 물성치를 측정하기 위한 실험장치에 대한 제원을 나타내고 있으며 table 2에는 본 연구에서 사용된 시스템의 구성요소들에 대한 제원을 보여주고 있다.

Table 1 Specification measurement

Parameter	Type	EA
Flowmeter	Primo20A	1
	Primo25A	1
	FM-100M	1
	E-MAG-I	1
Thermometer	T-Type	9
Data acquisition	DAQ-100	1
Pyranometer	Vaisala QMS 101	1
Powermeter	WT230	1

Table 2 Specification of hybrid solar heating system

Parameter		Specification
Collector	Area	3.25m ²
	EA	8
	Slope	45°
	F _R (τ α)	0.773
	F _R U _L	2.284
Storage Tank Volume	Capacity	1.5 ton
Heat medium tank	Capacity	120 l
Control Module	Type	Digital difference Temperature control
	ΔT _{on}	5°C
	ΔT _{off}	2°C
Heat pump	Capacity	5RT(63.5 MJ/h)
FCU	Capacity	8720 kcal/h

2.2 실험 조건 및 방법

태양열 집열기와 펌프의 원활한 구동을 위해 차온 제어를 사용하였다. 시스템의 효율 측면을 고려하여 열매체 펌프의 작동은 집열기 출구 열매체와 축열조의 온도차가 5°C 이상일 때 작동하도록 설정하였으며, 온도차가 2°C 이하 일 때 펌프를 중지하도록 제어하였다.

집열판으로부터 얻어진 열량을 계산하기 위해서 열매체 탱크에서 축열조로 가는 유량을 측정하였으며, 히트펌프에서의 열량을 계산하기 위해 FCU로 가는 유량과 전력량측정기(power mater)를 이용하여 히트펌프의 전력량을 측정하였으며, 난방 부하 측정을 위해 FCU 입·출구에 유량과 온도를 측정하여 부하를 계산하였다. Table 3과

Table 3 Test conditions

Parameter	Condition	
Indoor temperature (°C)	23, 24, 25, 26, 27	
Daily hot water patten (l)	Patten1	100, 80, 100
	Patten2	80, 60, 80
	Patten3	60, 40, 60
Lower part temperature of heat storage tank (°C)	46, 48, 50	

Table 4 Daily hot water usage patten

Hour Patten	8~9 (l)	12~13 (l)	18~19 (l)
Patten 1	100	80	100
Patten 2	80	60	80
Patten 3	60	40	60

같이 실내설정온도를 23°C~27°C까지 1°C씩 변화시키고 축열조하부온도를 46°C, 48°C, 50°C으로 선정하여 실험하였으며 급탕부하에 따른 연구를 위해서 ASHRAE⁽³⁾에서 제안된 설계조건을 반영하여 시스템을 운전시키고 급탕부하 변화에 따른 시스템 운전특성을 분석 하였다. 4인가족 220 l를 기준 급탕량으로 설정하였으며 부하패턴의 변경을 위하여 Table 4와 같이 3가지 시간 때에 급탕량이 다른 3가지 부하패턴을 선정하여 실험 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 2009년 4월부터 5월까지의 실험 데이터를 근거로 하여 봄철 하이브리드태양열시스템의 운전결과를 분석하였다. 운전시간은 익일 오전 9시부터 그 다음날 9시까지로 정하였으며 이때의 데이터를 획득하여 사용하였다. Fig. 2는 4월 11일부터 5월 10일까지 측정한 평균외기온도와 일사량을 보여주고 있다. 외기온도의 경우 9.8°C에서 22.5°C까지 분포하였으며 일사량의

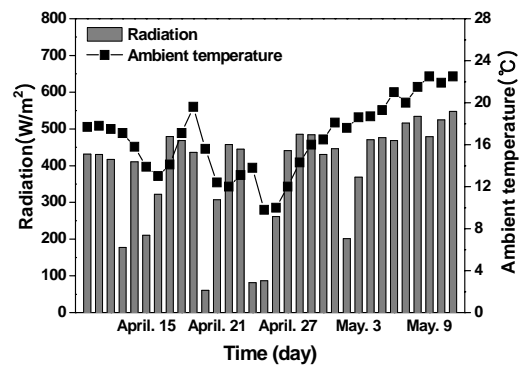


Fig. 2 Variations of average ambient temperature and radiation.

경우에는 최소 60.9W/m²에서 최대 548W/m²까지 분포 하였으며 평균 400W/m²정도 획득하는 것으로 분석 되었다.

3.1 실내설정온도에 따른 운전특성

본 연구에서 제안된 시스템에서 가장 큰 영향을 주는 인자는 바로 부하량 조건이며 그 중 주요한 인자는 난방설정온도이라 할 수 있다. Fig. 3는 난방 설정온도에 따른 태양열 의존율의 변화와 히트펌프 사용량, 그리고 태양열난방 및 급탕 사용량의 변화를 보여주고 있다. 실내설정온도가 23°C인 경우 실외온도가 높아 난방부하가 적기 때문에 태양열을 이용하여 100% 운전이 가능하다. 난방설정온도가 24~26°C인 구간에서의 태양열 의존율은 약 30%정도 감소하며 26~27°C사이에서 태양열 의존율의 감소정도가 줄어드는 경향을 나타낸다. 또한 설정온도가 24~26°C구간에서 태양열 의존율의 차이가 크게 나타나는데 그 이유는 실내설정온도와 실외설정온도의 차이가 커

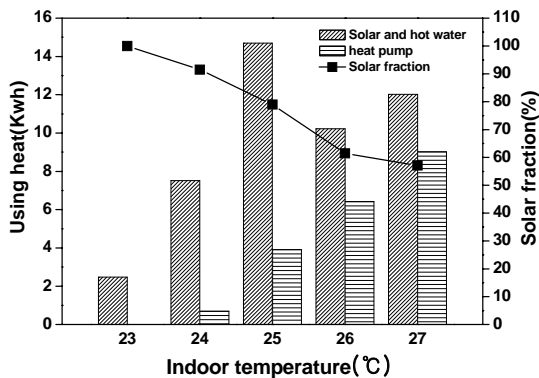


Fig. 3 The Variations of heat pump heating, hot water and solar fraction with indoor setting temperature.

Table 5 Ambient temperature with indoor setting Temperature

T _r (°C)	T _a (°C)	ΔT (°C)
23	20	3
24	19.3	4.7
25	13.9	11.1
26	16.5	9.5
27	17.6	9.4

서 실외부하의 증가에 따른 히트펌프 운전율이 증가하기 때문이다. 전반적으로 실내설정온도가 증가함에 따라 난방부하가 커지기 때문에 히트펌프의 사용량이 증가되는 것을 확인하였다. Table 5은 외기온도, 실내설정온도 그리고 온도차를 보여주고 있다. 실내설정온도와 외기온도의 차가 클수록 시스템 전체의 부하가 증가하며, 26°C와 27°C에서 실내온도와 외기온도의 차는 거의 동일하지만 난방에 필요한 사용열량이 증가하는 것으로 확인되었는데 이를 통하여 실내 설정온도가 높을수록 더 많은 부하가 필요하고 이를 위해 히트펌프의 가동률이 증가하게 된다.

3.2 급탕부하 패턴에 따른 운전특성

Fig. 4는 부하패턴에 따른 급탕, 히트펌프, 태양열 난방 사용량에 대한 비율 및 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 실내설정온도와 실외온도의 차이가 큰 Patten2의 급탕부하량은 전체시스템의 8.7%를 차지하지만 외기온도가 높은 Patten3에서의 급탕부하량은 전체시스템의 21.9%로 다른 부하패턴보다 주요한 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 외기온도가 낮은 날의 경우에는 급탕부하량의 영향보다 난방부하량에 대한 영향이 시스템 성능에 더 큰 영향을 미치지만 외기온도가 높은 경우에 급탕부하량이 전체 시스템 성능에 미치는 영향을 크기 때문에 봄철 외기온도의 변화와 급탕부하량을 예측하여 태양열 하이브리드 시스템의 용량을 설계하는 것이 중요하다고 사료된다.

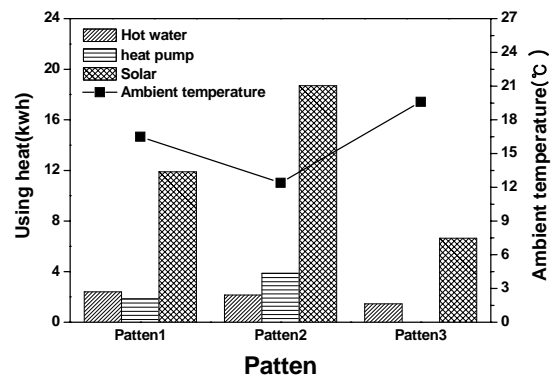


Fig. 4 Variations of hot water, solar heat and heat pump with water usage pattern.

3.3 축열조 하부온도에 따른 운전특성

외기온도가 18°C 이상인 날에 축열조 하부온도를 각각 46°C, 48°C, 50°C 변화시켜 운전특성을 고찰하였다. 봄철 특성상 외기온도가 높아지고 이에 히트펌프 가동률이 감소하기 때문에 정확한 영향분석을 위하여 히트펌프 가동이 없는 상태에서 특성분석을 수행하였다. Fig. 5는 축열조 하부온도 변화에 따른 급탕 및 태양열 난방 사용량 변화를 보여주고 있다. 46~48°C구간에서는 급탕부하에 대한 영향이 적으나 50°C에서는 급탕사용량이 2.7 kWh로 48°C구간의 사용량 보다 0.8 kWh정도 증가는 하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 축열조 하부온도가 높아짐에 따라 축열조 내부의 온도가 올라가서 사용하는 온수의 온도가 상승하고 급탕사용 열량이 높아지는 것에 기인한 것으로 사료된다. Table 6은 급탕사용 시간에 따른 온수의 온도변화를 보여주고 있다. 온수의 온도는 실외온도보다 축열조 하부의 온도에 대한 영향이 크며, 특히 8시~9시 사이에는 일사량이 적어 축열조에 충분한 태양열이 축적되지 않으므로 일사량이 적은 새벽이나 아침의 온수온도는 실외온도와 비례하며 이에 히트펌프의 가동률과 효율을 고려하여 시스템의 안전성을 높이기 위한 운전을 해야 할 것이라 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 봄철 하이브리드 태양열 시스템의 운전조건 변화에 따른 성능특성에 관한 실험적 연구를 위하여 실내설정온도와 급탕부하패턴 및 축열조 하부온도 변화에 따라 시스템성능을 고찰하였다. 이를 위하여 실내설정온도를 23°C에서 27°C까지 변화시켜 태양열의존율 및 사용량을 분석하였고 급탕부하패턴을 3가지로 나누어 성능을 비교·분석하였으며, 하부온도를 46°C, 48°C, 50°C로 변화시키면서 성능특성을 고찰하였다. 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 실내 설정온도에 따른 운전특성의 연구에 있어서 실내 설정온도와 실외온도의 차가 클수록 부하가 증가되며, 실내설정온도가 높을수록 히트펌프 사용량이 증가하여 태양열 의존율이 낮아진다.

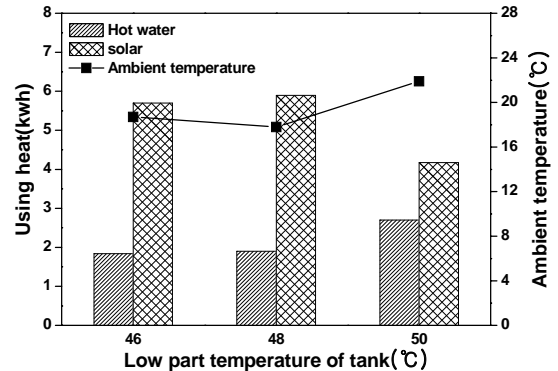


Fig. 5 Variations of solar heating usage and hot water usage with lower part temperatures in the heat storage tank.

Table 6 Temperature distribution with lower part temperatures of heat storage tank

T_{low} \ Hour	8~9 (°C)	12~13 (°C)	18~19 (°C)	T_A (°C)
46	56.8	52.3	48.8	18.7
48	47.2	60.7	65.9	17.8
50	81.2	85.8	88.5	21.9

(2) 시스템에서 중요하게 고려해야 할 인자는 난방부하의 설정이며, 4인 가족 기준으로 3가지 급탕부하량을 비교한 결과 전체 시스템에서 최대 21.9%까지 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 따라서 외기온도 변화에 따른 영향과 급탕부하량을 고려한 시스템 설계가 중요한 것으로 나타났다.

(3) 축열조 하부온도를 높게 설정할수록 급탕 사용열량증가와 온수의 온도가 높아지는 것을 확인하였으며 새벽이나 아침인 경우 온수의 온도는 축열조 하부온도보다 외기온도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

후 기

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

다.

참고문헌

1. X. Guoying, Z. Xiaosong, D. Shimnig, 2006, "A Simulation Study On The Operating Performance Of a Solar-Air Source heat Pump Water Heater," Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 1257-1265
2. N. C. Baeck, J. K. Lee, B. H. Song. "Performance of Dual source Heat pump System with Solar-Assisted Evaporater", Proceeding of SAREK summer annual conference, pp.1334-1338, 2001.
3. ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitaty air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116.
4. J. A. Duffie, and W. A. Beckman, 2006, "Solar Engineering of Thermal Process" Wiley, New York
5. H. Lee, S. J. Kim, H. J. Joo, H. Y. Kwak. "Thermal performance of solar cooling and hot water for the demonstration system", Proceeding of SAREK Winter annual conference, pp.564-569, 2007.
6. H. J. Joo, H. Y. Kwak, J. B. Kim, J. B. Kim. "Demonstration study on Heating and Hot water According to Control Condition of Solar System", Proceeding of SAREK summer annual conference, pp.832-837, 2006.
7. H. Y. Kwak, H. J. Joo, "Thermal Performance of Space heating and Hot water for solar System", Spring Journal of korean solar Energy Socioty, pp.9-15, 2007