겨울철 열펌프 작동온도에 따른 태양열 하이브리드 시스템의 성능특성에 관한 연구

김 원 석, 조 홍 현*†
조선대학교 대학원, *조선대학교 기계공학과

Study on the Performance Characteristics of the Solar Hybrid System with Heat Pump Operating Temperature during Winter Season

Won-Seok Kim, Honghyun Cho*†
Graduate School of Chosun University, Gwangju 501-759, Korea
**Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea*

(Received July 22, 2010; revision received September 6, 2010)

ABSTRACT: Study on the performance characteristics of the solar hybrid system with heat pump operating temperature during winter season has performed by using an experimental test. The system performance and operating characteristics with the heat pump operating temperature, hour and load condition were investigated and analyzed. As a result, the hot water temperature was significantly affected by the heat pump operating temperature at the morning(time 1) and noon(time 2). However, hot water temperature was set by the radiation quality and collecting operation hour at the afternoon(time 3). In addition to the solar fraction was decreased for the high heat pump operating temperature because the heat pump operated with a long operating time and short operating period.

Key words: Solar heating system(태양열시스템), Heat pump operating temperature(열펌프 작동온도), Operating hour(작동시간), Solar fraction(태양열 의존율)

기 호 설 명

f : 태양열 의존율 [%]
F_R : 열전달비
Q_{aux} : 보조 열량 [kWh]
Q_{load} : 총 부하(난방, 급탕) [kWh]
Q_{solar} : 집열기 열량 [kWh]
U_L : 열손실계수 [W/m^2 ℃]
$\triangle T_{on}$: 차온제어기 작동온도차 [℃]
$\triangle T_{off}$: 차온제어기 정지온도차 [℃]
T_{HP} : 열펌프 작동온도

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

1. 서 론

에너지 수요의 급증으로 인하여 주요 에너지 공급원인 화석에너지의 고갈을 초래하였으며, 화석에너지 사용으로 인한 환경오염의 문제를 야기함으로써 대체에너지 개발에 대한 필요성이 사회적으로 대두되었다. 이러한 대체에너지에 대한 관심은 환경친화성과 새로운 에너지원으로서 효율적인 이용을 고려한 환경 친화적 에너지의 개발 및 활용 방법에 관한 다양한 연구들을 촉진시켰다. 환경 친

화적인 에너지 중 공해물질이 전혀 없는 청정한 무공해 에너지이며 무한정으로 사용이 가능한 태양열에너지의 활용 및 연구가 활발하게 진행 중에 있으며, 일부는 이미 실용화 단계에 이르러 실생활에 밀접하게 사용되고 있다.

그러나 태양열에너지는 에너지 밀도가 낮고 기상조건에 따른 공급에너지의 불균일성으로 인하여 에너지 생산을 안정적으로 공급하지 못하는 문제점이 존재한다. 데이코 산업연구소[1]에 따르면 기존에는 태양열 집열기를 이용한 온수시스템을 중심으로 주로 연구되어 왔으나 최근에는 산업 공정열 및 가정용 온수 급탕과 난방에 적합한 태양 복합시스템을 위해 태양열 하이브리드 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 태양열 하이브리드 시스템은 일사량이 충분할 경우 집열기에서 흡수한 열량만을 활용하여 급탕과 난방이 가능하며, 일사량이 부족한 경우에는 집열기에서 흡수한 열량과 보조 장치인 열펌프의 열량을 이용하여 급탕과 난방을 동시에 이용할 수 있는 고효율 시스템이다.

태양열 및 외기를 열원으로 이용하는 하이브리드 열펌프 시스템의 성능에 관하여 Back et al.[2]은 실험적 연구를 수행하여 시뮬레이션 해석 결과와 성능을 비교하였으며 태양열을 열펌프의 열원으로 사용할 경우 집열효율이 높으며 혹한기에 보조열원으로 사용하면 효과적임을 확인하였다. 또한 Park et al.[3,4]은 태양열 집열기에 작동유체를 R-22 냉매를 사용함으로써 겨울철 동파를 방지하고 공기열원 열교환기를 이용하여 일사량이 부족할 경우 열펌프에 지속적으로 열원을 공급할 수 있는 복합열원 난방시스템에 대해 연구하였으며, 추가적으로 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에서 축열탱크의 온도가 40℃ 이상일 경우 직접난방을 하고 40℃ 이하일 경우에는 축열탱크 내의 열원을 열펌프의 증발열원으로 사용하는 시스템에 대하여 연구를 수행하였다. Sun et al.[5]은 R-22와 R-407C 냉매를 적용한 태양열 열펌프 시스템의 태양열 집열기 및 팽창장치의 성능에 대한 연구를 진행하여 난방에 적합한 태양열 열펌프 시스템을 최적화 하였다. 또한, Kim et al.[6]은 태양열원 열펌프 이용 난방시스템의 적용을 위하여 열펌프의 응축기 및 증발기를 통과하는 난방수의 온도 및 유량이 미치는 영향에 대하여 실험을 수행하였으며 그 결과 증발기의 입구조건이 열펌프 성능에 미치는 영향은 미미한 반면 응축기의 입구조건이 열펌프 성능에 큰 영향을 받은 것으로 확인하였다.

하지만 열펌프를 이용한 겨울철 태양열 하이브리드 시스템의 특성에 대한 실증적 연구는 아직 드문 편이며 현재까지 실제 사용성을 고려한 실증데이터를 바탕으로 한 효율적인 시스템의 개발에 대한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 본 연구는 겨울철 경제적이고 효율적인 태양열 하이브리드 시스템을 설계하여 2010년 1월부터 2달간 운전조건에 따른 태양열 하이브리드 시스템의 성능 및 운전특성에 대한 실험적 연구를 진행하였다. 이를 위하여 열펌프 작동온도 변화에 따른 각각의 시스템 각 구성요소들의 운전특성을 분석하였으며 이에 따른 시스템 성능변화에 대한 연구를 위해 태양열 의존율을 고찰하였다. 본 연구를 통하여 고효율 태양열 하이브리드 시스템 개발에 필요한 시스템 성능 및 운전특성에 관한 기본적인 데이터를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

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 작동하며 건물의 난방 및 냉방용으로 적합한 이중관형 집열기를 사용하였다. 축열탱크는 2개의 열교환기(집열용, 난방용)가 내장된 형태로 운전조건별 최적의 온도를 유지할 수 있도록 설계하였다. 작동유체로는 물-프로필렌글리콜(propylene glycol) 혼합액을 사용하였으며 일사량계는 집열기의 설치각도와 동일하게 하여 일사량을 측정하도록 하였다. 또한 집열기와 축열탱크는 차온제어기와 펌프에 의해 운전되며 열매체의 보충 및 집열기의 과열시 압력상승으로 인한 시스템의 안정성을 확보하기 위하여 열매체 탱크를 사용하였다. 보조열원으로는 R-22를 냉매로 사용하는 5 RT급 공기열원 열펌프를 사용하였으며 실내공간은 24평(79.3 m^2)으로 FCU를 이용하여 냉 · 난방을 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

2.2 실험 방법 및 조건

태양열 하이브리드 열펌프 시스템의 성능 및 운전특성을 분석하기 위해 주요 위치에 측정기기를 설치하였으며, 설치된 측정기기의 제원은 Table 2

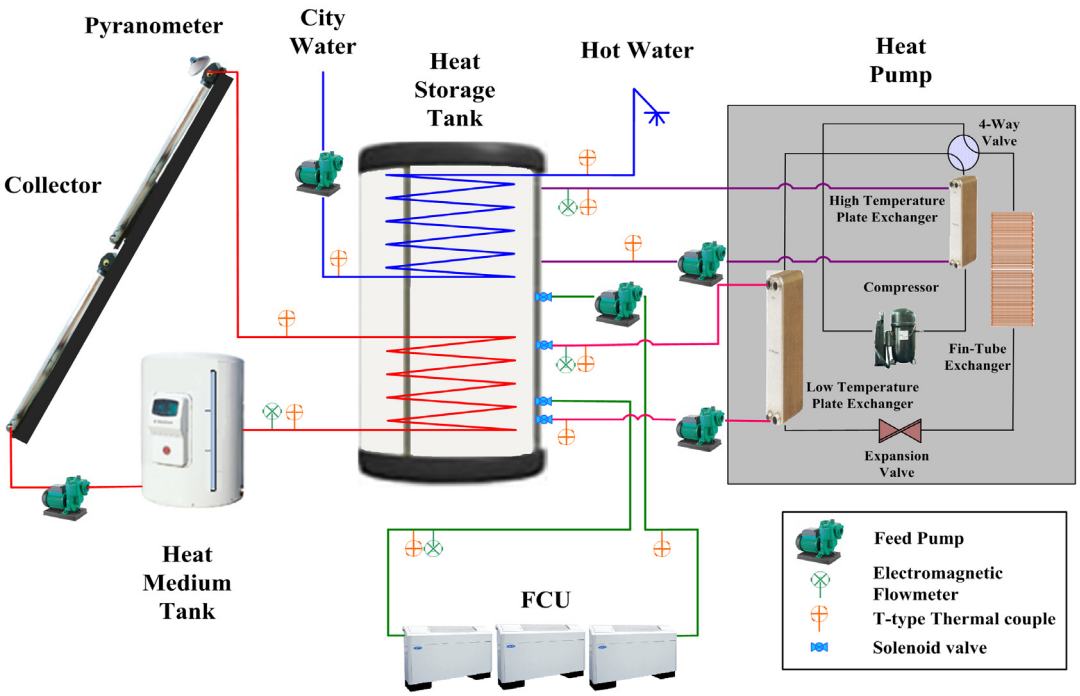

Fig. 1 Schematic diagram of the hybrid solar heating system.

에 나타내었다. 시스템의 성능을 정확하게 분석하기 위해서 일정한 급탕부하 패턴이 고려되어야 하나 급탕부하 설정에 관한 정확한 자료가 부족한 관계로 1인당 일일 급탕량을 ASHREA[7] 설계조건을 고려하여 하루에 280 ℓ로 설정하고 Table 3과 같이 시간별로 부하량을 변화시켜 가면서 실험을 실시하였다. 또한, 집열기의 효율적인 작동을 위해 축열탱크는 기존의 연구[8]를 참조하여 차온제어 방식을 이용해 작동하였다. 차온제어기는 축열탱크의 상단부 온도와 집열기 출구와의 온도차를 이용하여 순환펌프의 작동유무를 제어하는 장치이다.

본 연구에서는 태양열 집열기와 펌프의 원활한 구동을 위해 집열기 출구와 축열탱크의 온도차를 감지하여 히스테리시스 효과를 고려한 ON-OFF 차온제어(differential controller)장치를 사용하였으며 시스템의 효율적인 운전을 위하여 열매체 펌프의 작동은 집열기 출구 열매체와 축열탱크 하부의 온도차가 10℃ 이상일 때 작동하고 온도차가 3℃ 이하일 때 펌프의 작동을 중지하도록 제어하였다.

열펌프의 열교환기는 2개의 판형 열교환기와 1개의 핀-관 열교환기로 구성되어 있다. 난방운전 중에는 핀-관 열교환기는 공기와 열교환 하면서 증발기(evaporator) 역할을 하고 두개의 판형 열교환기는 응축기(condenser) 역할을 한다. 이 중 압축기 출구에 설치된 고온용 판형 열교환기는 축열탱크 중부의 중온수와 직접 열교환하여 축열탱크 상부에 고온수를 공급하며 저온용 판형 열교환기는 축열탱크 하부의 저온수와 열교환을 하여 축열탱크 중부에 공급함으로써 각각 급탕과 난방을 담당한다.

열펌프의 작동조건은 축열탱크 하부에서 저온용 판형 열교환기로 공급되는 물의 온도가 열펌프 작동온도보다 낮을 경우에 작동하도록 제어하였다. 또한 본 연구에서는 열펌프 작동온도 변화가 시스템의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 실내 설정온도를 25℃로 고정하고 열펌프 작동온도를 40℃, 44℃, 46℃, 48℃로 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 주요 위치에서의 데이터 획득은 관련된 센서들을 활용하였으며 정보수집기를 이용하여 1분마다 수집하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열펌프 작동온도 변화에 따른 운전특성 고찰

열펌프 작동온도에 따른 시스템의 운전특성 변화를 고찰하기 위해서는 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 영향을 미치는 주요 인자인 일사량과 외기온도를 동일하게 설정하여 실험을 수행해야 하나 본 연구에서는 실제 시스템의 실증실험을 수행하였기 때문에 Fig. 2와 같이 일사량과 외기온도가 유사한

Table 1 Specification of the solar hybrid heat pump 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
	ΔT_{on}, ΔT_{off}	10℃, 3℃
Heat pump	Capacity	5 RT
Fan coil unit	Heating capacity	8,722 W
	Cooling capacity	5,466 W
	Unit	3

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
Thermometer	T-type Thermocouple	0.05
	HF5	0.1
Data logger	DA-100	0.05
Radiation Sensor	QMS101	0.15

Table 3 Hot water usage time and capacity

Type	Usage time	Hot water capacity(ℓ)
Time 1	09 : 00	100
Time 2	13 : 00	80
Time 3	18 : 00	100

날들을 선정하여 성능을 비교 및 분석하였다. 실험기간 중 일사량은 4.78±0.25 kWh/m^2으로 비교적 크지 않은 일사량을 나타났으며 외기온도는 -0.2±0.8℃로 최근 10년 간 우리나라 겨울철 평균온도 1.3℃보다 다소 낮게 확인되었다. 실증실험을 수행한 기간 동안 측정된 외기조건은 흐리고 추운 날이지만 실험을 수행한 광주광역시는 남부지역에 위치하여 다른 지역에 비해 평균외기온도 및 일사조건이 양호하여 태양열을 이용함에 있어 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.[9]

Fig. 3은 열펌프 작동온도 변화에 따른 급탕열량과 시간대별 급탕온수의 온도변화를 나타내고 있다. 오전시간인 Time 1의 경우 하루 중 가장 낮은 급탕온도를 나타났으며 열펌프 작동온도가 증가할수록 급탕온도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 아침에 집열운전이 시작되기 전 급탕부하가 발생하여 급탕부하를 열펌프 공급열량만으로 충당하였기 때문

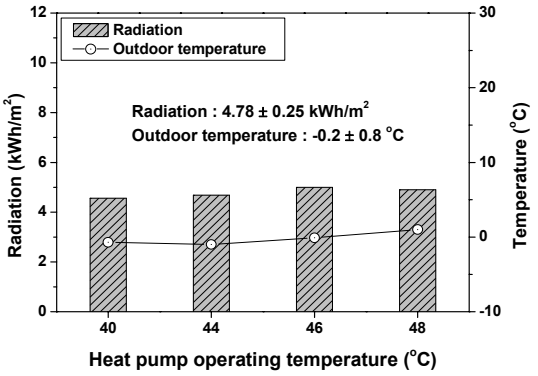

Fig. 2 The variations of radiation and outdoor temperature according to heat pump operating temperature.

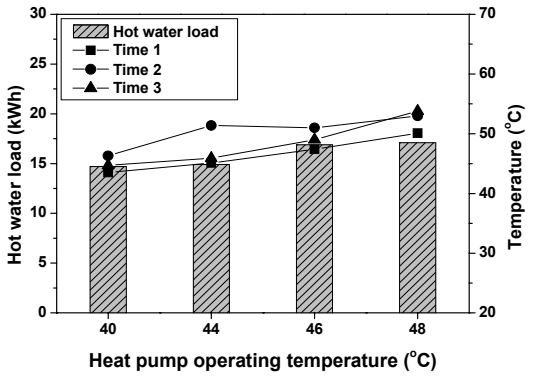

Fig. 3 The variations of hot water load and hot water temperature according to heat pump operating temperature.

에 급탕온도가 가장 낮은 것으로 사료된다. 즉, Time 1의 급탕온도는 열펌프 작동온도 변화와 유사하게 증가하는 경향을 보인다. 또한, Time 2의 경우 Time 1보다 다소 높은 온도를 나타났는데 이는 Time 2의 경우 13 : 00에 급탕부하가 발생하였기 때문에 오전 동안 얻어진 집열량과 열펌프 작동온도에 의한 영향을 동시에 받은 것으로 판단된다. 반면, Time 3의 경우 집열이 거의 끝나는 시점인 18 : 00에 급탕부하가 발생하였으므로 Time 3의 급탕온도는 열펌프에 의한 영향보다 해당일의 일사량에 의한 영향이 더 큰 것으로 확인되었다. 이는 Fig. 4~Fig. 7에서 확인할 수 있는데 열펌프 작동온도를 40℃로 설정하고 실험을 수행하였을 경우에는 Time 3이 발생하는 시간대 전후로 열펌프의 작동이 없었지만 열펌프의 작동온도가 48℃일 때에는 Time 3이 발생하는 시간대 전후로 열펌프의 작동이 3시간 동안 간헐적으로 작동이 존재함을 확인할 수 있다. 따라서 열펌프의 작동온도가 상승함에 따라 열펌프의 영향력이 커지는 경향이 있으나 미치는 영향이 미미하므로 Time 3의 급탕온도는 대부분 일사량에 의해 영향을 받는 것으로 확인되었다. 본 연구를 통하여 오전시간인 Time 1의 경우 열펌프의 작동온도에 의해 급탕온도가 결정되며 Time 2와 Time 3의 경우 일사조건에 의한 영향이 상대적으로 크다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 열펌프 작동온도 설정이 급탕온도에 주요한 영향을 끼침을 알 수 있으며 일사량이 좋지 못한 날에는 이러한 영향이 더욱 클 것으로 사료된다.

Fig. 4는 열펌프의 작동온도를 40℃로 설정하고 실험을 수행한 날의 시간별 일사량과 집열기 입·출구에서의 온도변화를 보여주고 있다. 집열기 순환펌프는 일사량이 500 W/m^{2}에 근접한 오전 10시 10분부터 작동하기 시작하는 것으로 확인되었으며 집열펌프가 작동하기 전에는 집열기 출구의 온도변화

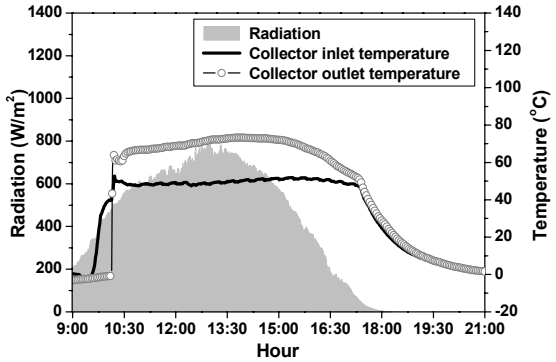

Fig. 4 The variations of the collector inlet/outlet temperature and radiation with heat pump operating hour(T_{HP} = 40℃).

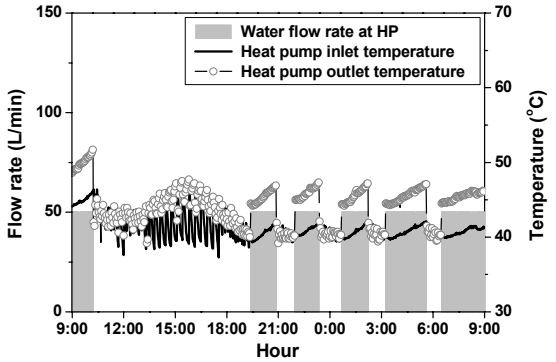

Fig. 6 The variations of the heat pump inlet/outlet temperature and water flow rate with operating hour(T_{HP} = 40℃).

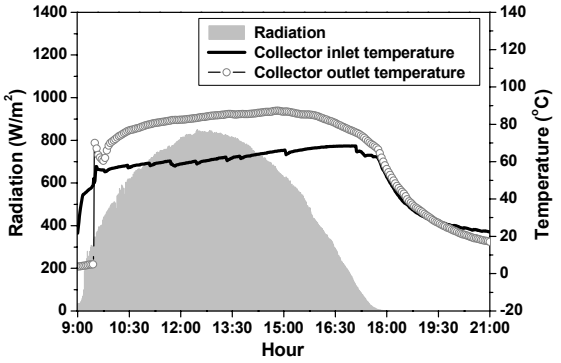

Fig. 5 The variations of the collector inlet/outlet temperature and radiation with heat pump operating hour(T_{HP} = 48℃).

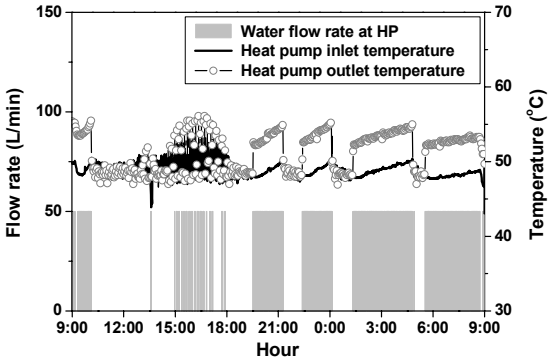

Fig. 7 The variations of the heat pump inlet/outlet temperature and water flow rate with operating hour(T_{HP} = 48℃).

가 거의 없지만 입구의 온도는 일사량 증가에 따라 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 집열기 입구의 온도가 40℃ 부근까지 상승되었을 때 집열기 순환펌프가 작동하고 집열이 시작됨을 확인할 수 있다. 열펌프 작동온도를 40℃로 설정하고 실험을 수행한 날의 경우 일사량이 비교적 다른 날에 비해 높지 않아 집열운전이 오후 17시 20분에 정지하는 것으로 나타났다. 따라서 Fig. 3에서 열펌프 작동온도가 40℃인 경우 Time 3에 나타난 급탕온도는 집열운전이 끝난 후 열펌프 작동에 의해 급탕 부하를 충당함에 따라 Time 1과 Time 2의 급탕온도와 거의 유사한 값을 가지는 것으로 확인되었다.

Fig. 5는 열펌프의 작동온도를 48℃로 설정하고 실험을 수행한 날의 일사량과 집열기 입·출구에서의 온도변화를 나타내고 있다. Fig. 3에서 나타난 현상과 유사하게 집열펌프가 작동하기 전에 집열기 입구의 온도가 열펌프 작동온도까지 상승하는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 집열기 입구의 센서가 집열기와 근거리에 설치되어 있고, 출구측의 센서가 집열기에서 비교적 떨어진 곳에 설치됨에 따라 집열기에서의 온도상승을 바로 측정하지 못한 것으로 판단된다. 또한, 열펌프 작동온도가 48℃인 경우의 일사량이 열펌프 작동온도가 40℃일 때보다 높고 안정적으로 나타나 집열 운전이 약 1시간 가량 더 길게 작동했던 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 열펌프 작동온도를 40℃로 설정하고 실험한 날의 열펌프 유량과 열펌프 입·출구의 온도변화를 보여주고 있다. 열펌프 작동온도와 열펌프 입구온도는 40℃로 유사하게 나타났으며 이에 따라 열펌프 토출온도 역시 입구온도와 유사한 경향으로 상승하는 것을 확인되었다. 또한 열펌프는 하루 평균 약 8.6시간정도 작동하는 것으로 나타났으며 일몰 후에는 짧은 주기로 빈번하게 작동하는 것으로 확인되었다. 반면 집열운전을 하는 시간대에는 열펌프가 작동하지 않았으며 집열운전에 의해 열펌프 입·출구의 온도가 일사량과 유사한 경향으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 열펌프의 작동온도를 48℃로 설정하여 시스템을 운전한 날의 열펌프 유량과 입·출구의 온도변화를 보여주고 있다. 열펌프의 작동온도가 48℃인 경우 40℃인 경우보다 작동온도가 높아 열펌프 입구의 온도가 48℃와 유사하게 나타났으며 일일 열펌프 작동시간은 약 9.4시간으로 상대적으로 길게 나타났다. 또한, 집열운전을 하는 낮 시간 동안에 집열 열량만으로 충분히 축열탱크 온도를 유지할 수 없기 때문에 오후 3시 이후부터는 열펌프가 간헐적으로 운전되었던 것으로 확인되었다. 이는 축열탱크 온도가 높게 설정됨에 따라 축열조 및 배관에서 열손실이 크게 증가하고 집열기와 축열탱크와 온도차가 감소하여 집열량을 효과적으로 활용할 수 없었던 것에 기인한다. 이러한 여러 영향을 고려하여 볼 때 열펌프 작동온도가 증가할수록 열펌프의 작동시간이 증가하고 집열운전 중에도 열펌프가 빈번하게 작동되어 시스템 소비동력이 증가하며 시스템 효율이 감소하고 열손실이 증가할 것으로 사료된다. 따라서 열펌프의 작동시간을 줄이고 빈번한 기동을 방지하기 위한 시간개념의 제어가 태양열 하이브리드 열펌프의 효율향상에 절실히 필요할 것으로 판단된다.

3.2 열펌프 작동온도 변화에 따른 시스템 성능 특성 고찰

열펌프의 작동온도 변화에 따른 시스템 성능변화를 고찰하기 위하여 태양열 의존율을 분석하였다. Fig. 8은 열펌프 작동온도 변화에 따른 보조열량, 난방부하량, 급탕부하량 그리고 태양열 의존율을 보여주고 있다. 여기서 태양열 의존율은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$f = \frac{Q_{load} - Q_{aux}}{Q_{load}} = \frac{Q_{solar}}{Q_{load}} \quad (1)$$

난방부하량은 외기온도 및 실내조건이 유사하여 열펌프 작동온도 변화에 따른 난방부하량 변화는

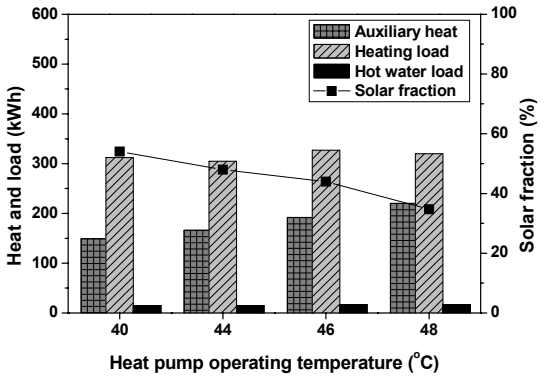

Fig. 8 The variations of auxiliary heat, heating load, hot water load and solar fraction with heat pump operating temperature.

크지 않은 것으로 확인되었으며 급탕부하 또한 열펌프 설정온도에 따라 급탕의 온도가 다소 상승하여 급탕부하량은 약간 상승하였으나 부하량 변화는 그다지 크지 않는 것을 알 수 있었다. 열펌프의 열량은 열펌프 작동온도에 비례하여 점점 증가하는 경향을 나타나는데 이는 축열탱크 내의 물의 온도를 설정온도와 동일한 높은 온도를 유지하기 위해 열펌프 운전시간 및 운전빈도가 증가하였기 때문이다. 열펌프의 운전에 의하여 축열탱크가 높은 온도로 유지되기 때문에 집열기에서 오는 집열량을 충분히 사용하지 못할 뿐만 아니라 이에 따른 주변기기에서의 열손실 증가의 영향으로 사료된다. 이에 태양열 의존율은 열펌프의 작동온도가 상승함에 따라 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 따라서 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에서 시스템의 효율을 높이고 신뢰성을 향상시키기 위해서는 적절한 실내 설정온도와 더불어 열펌프 작동온도를 복합적으로 고려하여 제어할 수 있는 제어법의 개발이 필요함을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

운전조건 변화가 겨울철 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위하여 열펌프 작동온도를 변화시켜 가면서 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 유사한 외기조건하에서 실험을 수행한 결과 오전에 급탕부하가 발생하였을 때의 급탕온도는 열펌프의 작동온도에 의해 주로 영향을 받은 것으로 나타났으며 저녁의 경우에는 해당일의 일사량 질과 집열운전 시간의 영향을 받은 것으로 확인되었다.

(2) 열펌프의 작동온도에 따라 집열운전 시작시점이 변화하며 열펌프의 작동온도가 높을 경우 집열기로 들어가는 유체의 온도는 일사량에 의하여 상승하는 것을 확인하였다.

(3) 열펌프의 작동온도가 높게 설정될수록 집열운전 중에 가동되는 열펌프의 작동시간과 열펌프의 운전 주기가 길어지고 축열탱크의 높은 온수온도에 의하여 태양열 의존율이 감소함을 확인 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2010-00-04369)이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. DACO Industrial Research, 2008, Market forecasts of solar heat system, Seoul, Korea.
2. Back, N. C., Lee, J. K., Kim, H. J., Yang, Y. S. and Song, B. H., 2000, Experimental study on the solar assisted heat pump system, Proceeding of Korean Solar Energy Society, 2000 Fall Annual Conference, pp. 76-82.
3. Park, Y. C., Ko, G. S. and Han, Y. R., 2007, A study on hybrid heating system with anti-superheating devices, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 2, pp. 19-27.
4. Park, Y. C., Kim, J. Y. and Ko, G. S., 2007, A study on performance characteristics on hybrid heat pump system with solar energy as heat pump, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 1, pp. 47-54.
5. Sun, K. H., Jung, H. C., Kim, K. S. and Kim, Y. G., 1988, Performance characteristics of expansion part and solar panel of rool bond type on solar heat pump system with R-22 and R-407 refrigerant for school classroom heating, Proceeding of the Korean Solar Energy Society 1998 Conference, pp. 105-109.
6. Kim, Y. K., Hwang, I. J. and Lee, T. W., 2005, A study on the application and design of the heating system with a solar assisted heat pump, Proceeding of the Korean Solar Energy Society 2005 Conference, pp. 83-99.
7. ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116.
8. 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.
9. Jo, D. K. and Kang, Y. H., 2008, A survey of direct normal insolation resources in korea, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 28, No. 1, pp. 51-56.
10. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 2006, Solar Engineering of Thermal Process, Wiley, New York.