

실내설정온도에 따른 태양열 하이브리드 열펌프 시스템 운전특성에 대한 실험적 연구

김원석*, 조홍현**

*조선대학교 대학원 기계공학과(gulapang@nate.com), **조선대학교 기계공학과(hhcho@chosun.ac.kr)

Experimental Study on the Operating Characteristics of a Solar Hybrid Heat Pump System according to Indoor Setting Temperature

Kim, Won-Seok* Cho, Hong-hyun**

*Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Chosun University(gulapang@nate.com),

**Dept. of Mechanical Eng., Chosun University(hhcho@chosun.ac.kr)

Abstract

Experimental study on the operating characteristics of a solar hybrid heat pump system according to indoor setting temperature were carried out during spring and winter season. The system was consisted of a concentric evacuated tube solar collector, heat medium tank, heat storage tank, and heat pump. As a result, the heating load was increased by 21.1% when the indoor setting temperature rose by 2°C for the same ambient temperature. Besides, the spring season had good outdoor conditions compared to the winter season, therefore the heating load was reduced and heat gain by collector increased, relatively. In case of the winter season, the solar fraction was shown less than 10% because the heat losses of system and space increased considerably. The solar fraction decreased significantly as the indoor setting temperature increased.

Keywords : 열펌프 작동 온도(Heat pump operating temperature), 실내설정온도(Indoor setting temperature), 태양열 하이브리드 열펌프 시스템(Solar hybrid heat pump system), 태양열 의존율(Solar fraction)

기 호 설 명		Q_{load}	: 총 부하(급탕, 난방) (kWh)
		Q_{solar}	: 집열기 열량 (kWh)
f	: 태양열 의존율 (%)	U_L	: 열 손실계수 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
F_R	: 열전달비	ΔT_{on}	: 차온제어기 작동온도차 ($^\circ C$)
Q_{aux}	: 보조 열량 (kWh)	ΔT_{off}	: 차온제어기 정지온도차 ($^\circ C$)

투고일자 : 2010년 9월 13일, 심사일자 : 2010년 9월 21일, 게재확정일자 : 2010년 12월 20일
교신저자 : 조홍현(hhcho@chosun.ac.kr)

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 에너지의 수요는 기하급수적으로 증가하고 있으며 이에 따른 환경적 문제와 에너지 고갈에 대한 문제점이 사회적으로 크게 대두되고 있다. 이러한 현실에서 대체에너지 개발에 대한 필요성과 효율적인 에너지 사용에 대한 연구가 지속적으로 요구되고 있다. 특히 에너지 수입 의존도 97.6%, 에너지 자급율 3% 미만의 에너지에 대한 열악한 국내 상황¹⁾에서는 이러한 노력들이 더욱 절실히 요구된다. 에너지에 대한 문제를 극복하기 위해서 태양열, 태양광, 풍력, 지열, 바이오매스 등 다양한 대체 에너지원의 활용에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있으나 에너지의 질적 문제와 활용 기술의 미개발로 아직까지 실생활에 널리 보급되지 못하고 있는 실정이다.

현재 국내에 보급된 대체에너지 중 가장 많이 보급된 에너지는 태양열 에너지이다. 1990년대 초반부터 주로 태양열 온수 급탕기에 대한 관심이 높아져 국내 거주지에 많은 보급이 있었으나 1997년 경제 불황에 의한 태양열 관련 기업의 도산과 이에 따른 A/S 문제로 인하여 태양열에 대한 인식은 별로 좋지 못한 현실이다. 하지만 최근 들어 교토 의정서 발효에 의한 CO₂ 저감에 대한 전 세계적인 노력이 요구되면서 환경친화적인 에너지가 다시금 각광을 받고 있다. 환경친화적 에너지 중 공해물질이 전혀 없는 청정한 무공해 에너지이며 무한정으로 사용이 가능한 태양열 에너지의 활용 및 연구가 활발하게 진행 중에 있으며, 일부는 이미 실용화 되어 실생활에 밀접하게 사용되고 있다. 그러나 태양열에너지는 다른 에너지에 비해 에너지 밀도가 낮고 기상조건에 따른 에너지 수급의 불균일성으로 인하여 에너지 생산이 안정적으로 이루어지지 못하는 문제점을 가지고 있기도 하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 연

구가 진행되어 왔으나 그중 산업 공정열 및 가정용 온수 급탕과 난방에 적합한 태양열 하이브리드 시스템에 대한 연구가 최근 들어 다수 진행되고 있다. 태양열 하이브리드 시스템은 일사량이 충분할 경우 집열기에서 태양열을 흡수한 열원만으로 급탕과 난방이 가능하며, 일사량이 부족한 경우에는 집열기에서 태양열을 흡수한 열원과 보조 장치인 열펌프의 열원을 이용하여 급탕과 난방을 동시에 사용하도록 하는 고효율 태양열 시스템이다. 뿐만 아니라 여름철 냉방 부하가 발생하였을 경우 열펌프를 이용하여 냉방열량을 공급하고 태양열 집열기에서 급탕부하를 담당하는 실용적인 시스템이다.

태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 대하여 국·내외 적으로 다양한 연구가 진행되어 왔다. Kuang²⁾ 등은 R-22를 냉매로 사용하는 열펌프에서 평판형 태양열 집열기를 증발기로 사용함으로써 급탕 및 난방 부하를 공급하는 DX-SAHP(Direct-expansion solar assisted heat pump system)에 대하여 연구를 하였으며, Park³⁾ 등은 축열탱크의 열원을 일정온도 이상일 때는 바로 난방과 급탕열원으로 사용하고 일정온도 이하일 때에는 열펌프의 증발열원으로써 사용하는 시스템에 대하여 연구하였다. 또한 Kim⁴⁾ 등은 일사량이 부족하거나 밤 시간대에 축열탱크 내부의 유체에 열원을 공급할 수 있는 열펌프에 대하여 연구를 진행하였으며, Kim⁵⁾ 등은 봄과 여름철 축열탱크에 남는 잉여 열을 저장하여 겨울철 난방 부하량이 크게 발생할 때 사용할 수 있는 계간축열을 이용한 태양열 난방에 대하여 연구를 진행하였다.

하지만 이전의 연구들을 살펴보면 열펌프를 이용한 계절별 태양열 하이브리드 시스템의 운전특성에 대한 실험적 연구는 아직 부족한 편이며 실제 사용을 고려한 효율적인 시스템의 개발에 대한 연구는 적은 편이다. 따라서 본 연구는 경제적이고 효율적인 태양열 하

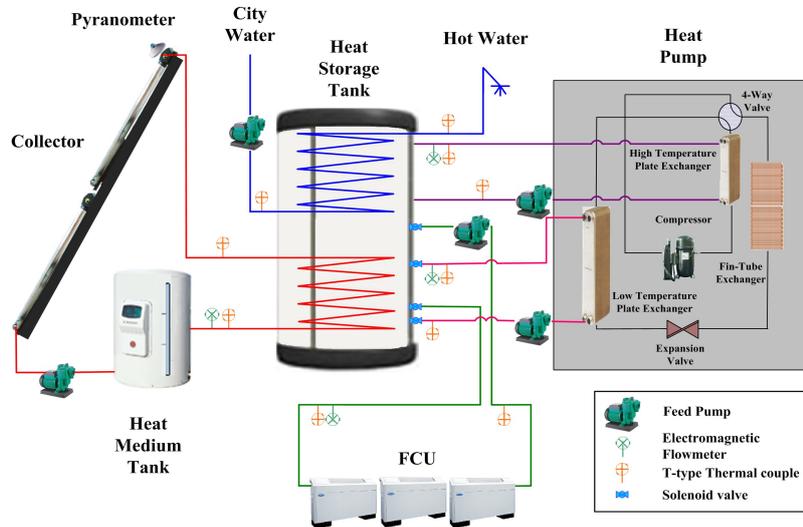


그림 1. 태양열 하이브리드 열펌프 시스템 개략도

이브리드 시스템을 설계하여 실내설정온도 변화에 따른 태양열 하이브리드 시스템의 운전 특성에 대한 실험적 연구를 진행하였다. 이를 위하여 봄철과 겨울철 실내설정온도에 따른 시스템의 각 부하들의 특성을 분석하였으며 이에 따른 시스템 운전특성을 고찰하였다. 특히, 각 봄철과 겨울철 주어진 실내조건에서 여러 가지 운전조건 변화별 태양열 의존율 및 부하량 특성을 분석하여 비교 및 고찰하였다. 본 연구를 통하여 고효율 태양열 하이브리드 시스템 개발에 필요한 시스템 운전특성에 관한 기본적인 데이터를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서 설계된 태양열 하이브리드 시스템의 개략도와 주요 제원을 그림 1과 표 1에 나타내었다. 태양열 집열기는 중온 범위에 안정적으로 작동하며 건물의 난방 및 냉방용으로 적합한 이중관형 집열기를 사용하였다. 축열탱크는 2개의 열교환기(집열용, 난방용)가 내장된 형태로 시스템을 효과적으로

이용할 수 있도록 설계하였다. 작동유체로써는 물-프로필렌글리콜(Propylene glycol) 혼합액을 사용하였으며 일사량계는 집열기의 설치각도와 동일하게 설계하여 실제 측정과 유사한 값을 측정할 수 있도록 설치하였다. 또한 집열기와 축열탱크는 차온제어기와 집열펌프에 의해 운전되며 열매체의 보충 및 집열기의 과열시 압력을 제거해주기 위하여 열매체 탱크를 사용하였다.

표 1. 태양열 하이브리드 열펌프 시스템 사양

구성요소		사양
집열기	면적	1.98 m ² /ea
	유닛	8
	각도	45°
	$F_R(\pi\alpha)$	0.773
	$F_R U_L$	2.284
축열탱크	종류	수직 원통형
	용량	1.5 ton
열매체 탱크	용량	120 l
제어기	종류	차온제어장치
	$\Delta T_{on}, \Delta T_{off}$	10°C, 3°C
열펌프	용량	5 RT
팬 코일 유닛	난방 용량	8,722 W
	냉방 용량	5,466 W
	유닛	3

표 2. 측정장치 사양

측정장치	모델	정확도 (%)
전자식 유량계	Primo Advanced 20A	0.25
	Primo Advanced 25A	0.25
	E-MAG	0.5
	RHM 04	0.1
온도계	T-type Thermocouple	0.05
	HF5	0.1
데이터 로거	DA-100	0.05
일사량계	QMS101	0.15

표 3. 급탕 시간 및 용량

종류	사용시간	급탕 용량 (ℓ)
Time 1	08:00~09:00	100
Time 2	12:00~13:00	80
Time 3	17:00~18:00	100

보조열원으로는 R-22를 냉매로 사용하는 5 RT급 공기열원 열펌프를 사용하였으며 실내공간은 24 평(79.3 m²)으로 FCU를 이용하여 냉난방을 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 특히, 축열탱크 내 유체의 온도가 일정온도 이하로 내려가는 경우 축열탱크 내 유체의 열원을 열펌프의 증발열원으로 사용하는 기존의 연구³⁾와 다르게 본 연구에서는 열펌프가 공기에서 증발열원을 얻으며 이를 통하여 얻어진 고온 고압의 냉매를 축열탱크 상단과 하단에 설치된 열교환기를 통하여 각각 개별적으로 열원을 공급하도록 설계하였다. 즉, 압축기 토출부와 응축부에 개별적인 열교환기를 설치되어 고온수의 확보를 용이하게 하고 시스템의 활용성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 설계하였다.

표 4. 실험 조건

변수	내용
열펌프 작동온도 (°C)	48
	23
실내설정온도 (°C)	25
	27

2.2 실험 방법 및 조건

실내설정온도가 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 시스템의 주요 위치에 설치된 측정기기를 표 2에 나타내었다. 시스템을 정확하게 분석하기 위하여 급탕부하량을 ASHREA 설계조건⁶⁾을 참고하여 1일 급탕을 280 ℓ로 설계하였다. 또한 표 3과 같이 일정시간대별로 급탕량을 변화시켜 급수된 급탕수의 온도를 측정하여 급탕부하를 해석하였다. 그리고, 효과적인 집열운전을 위하여 ON-OFF 차온제어기(differential controller)를 사용하였다. 기존의 연구⁷⁾를 참조하여 차온제어기의 작동은 집열기 출구측의 온도와 축열탱크 상단부의 온도차가 10°C 이상 차이가 날 경우 작동하도록 하였으며 3°C이하가 되었을 경우 집열펌프의 작동을 정지하도록 제어하였다.

열펌프는 2개의 판형 열교환기와 1개의 핀-관 열교환기로 구성되어 있다. 난방운전 중에는 핀-관 열교환기는 공기와 열교환 하여 증발기 역할을 하고 2개의 판형 열교환기는 응축기 역할을 하도록 하였다. 이 중 압축기 출구에 설치된 고온용 판형 열교환기는 축열탱크 중부의 증온수와 직접 열교환을 하여 축열탱크 상부에 고온수를 공급하며 저온용 판형 열교환기는 축열탱크 하부의 저온수와 열교환을 하여 축열탱크 중부에 공급함으로써 각각 급탕과 난방을 담당한다. 열펌프의 작동은 축열탱크 하부에서 저온 판형 열교환기로 공급되는 물의 온도를 측정하여 열펌프 설정온도 보다 낮을 경우에 작동하도록 설계하였다.

실내설정온도가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 표 4에서 나타난 바와 같이 열펌프 작동온도를 48°C로 설정하고 실내 설정온도를 25°C를 기준으로 ±2°C씩 변경하면서 실험을 수행하였다. 실내설정온도의 경우 에너지관리공단에서 권장하는 겨울철 실내설정온도는 18~20°C이나 실제 가정에서

사용하는 온도는 24~26°C이다. 따라서 본 연구에서는 실제 사용조건을 고려한 분석을 하기 위해 실내설정온도를 25°C를 기준으로 하여 실험을 진행하였고, 주요 위치에서의 데이터 획득은 각 측정 위치에 설치된 주요 센서를 설치하고 정보수집기를 이용하여 1분마다 수집하였다.

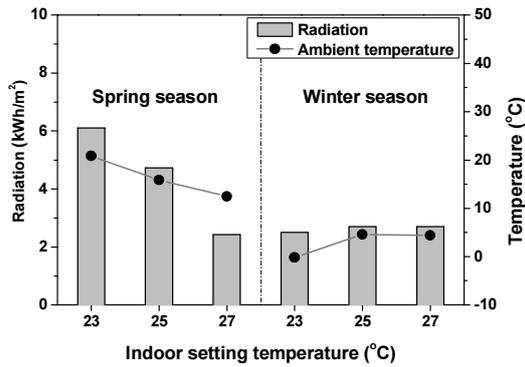


그림 2. 계절별 실내설정온도 실험을 수행한 기간의 일사량과 외기온도 변화

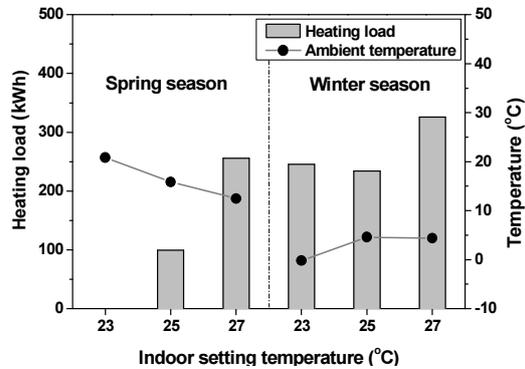


그림 3. 계절별 실내설정온도에 따른 난방열량과 외기온도 변화

또한, 실내설정온도 변화에 따른 시스템 운전특성을 분석하고자 봄철인 2009년 3~5월, 그리고 겨울철은 2009년 12월부터~2010년 2월까지 주어진 실내온도 조건에서 열흘 이상 실험을 진행하였으며 이에 대한 평균값을 분석하여 시스템 특성을 고찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 실내설정온도를 변화시켜가면서 실험을 수행한 기간 중 얻어진 봄철과 겨울철의 평균 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 실험을 수행한 기간동안의 봄철 평균 외기온도는 16.4°C로 나타나 겨울철 평균 외기온도 2.9°C에 비하여 평균 13.5°C 높게 타나났으며 봄철과 겨울철의 일사량은 각각 4.42 kWh/m²과 2.64 kWh/m²으로 봄철의 일사량이 겨울철에 비하여 1.7배 정도 높은 것으로 확인되었다. 이는 우리나라의 지리적 위치상 봄철이 겨울철에 비하여 태양의 고도가 높고 일조시간 역시 길기 때문이다. 또한, 겨울철의 경우 비나 눈이 오는 날이 많고 일사량이 대체적으로 적기 때문에 실험기간 내내 일사량은 평균 2.6 kWh/m² 정도의 값을 보였다.

실험을 실시하는 동안의 외기온도는 최근 10년간 봄철 국내 평균 외기온도 11.3°C 보다 5.1°C 높게 나타났으며 겨울철은 국내 평균 외기온도 1.3°C보다 1.6°C 높게 나타났다. 이는 실증실험을 수행한 광주광역시의 평균 외기온도가 지역적 특성상 다른 지역에 비하여 비교적 높기 때문이다. 이러한 지역적 위치를 고려해 볼 때 평균 일사량이 다른 지역에 비해 좋아 집열에 유리하고 높은 외기온도로 인하여 시스템에서 열을 수송 및 저장하는데 발생하는 열손실이 다른 지역에 비하여 작아 태양열 하이브리드 열펌프 시스템의 적용과 작동에 매우 유리한 장점이 있는 것으로 판단된다.

그림 3은 봄과 겨울철 실내설정온도변화에 따른 난방부하량과 실험 기간의 평균 외기온도를 보여주고 있다. 실험결과 봄철과 겨울철 각각 실내설정온도를 동일하게 두고 실험을 하였음에도 불구하고 겨울철 평균 난방부하량이 268.4 kWh로 봄철 평균 난방부하량 118.3 kWh에 비하여 150 kWh정도 크게 난방 부하량이 증가하였다. 이러한 이유는 실

내설정온도를 동일하게 하였으나 실험기간 동안 외기온도가 봄철과 겨울철 각각 다른 온도 조건에서 수행되었기 때문이다. 실제로 실험을 수행한 기간동안 봄철 평균 외기온도는 16.4°C로 겨울철 평균온도와 13.5°C 차이를 보였다.

특히, 봄철의 실내설정온도를 23°C로 설정하고 실험을 수행한 경우 외기온도가 실내설정온도와 거의 비슷한 온도를 가지기 때문에 실내에 난방부하가 크게 발생하지 않았다. 반면 겨울철 실내설정온도를 23°C로 설정하였을 때에는 외기온도와 실내온도가 20°C 이상으로 온도차가 크게 나타나고 일사량의 차이에 의하여 필요한 난방부하량이 243 kWh로 봄철에 동일한 실내설정온도로 실험을 한 날과 큰 차이를 보임을 확인하였다.

또한, 실내설정온도가 증가함에 따라 전반적으로 난방부하량이 증가하는 경향을 가지는데, 겨울철 실내설정온도를 25°C와 27°C로 설정하고 실험을 수행한 결과 실험 기간 중 외기온도는 4.4°C, 일사량은 2.71 kWh/m²로 거의 유사한 조건을 보였으나 실내설정온도 차이로 인하여 발생하는 난방부하량은 약 90 kWh정도 차이가 나는 것으로 확인되었다. 이는 TRNSYS 15를 이용하여 서울지역 32평형 아파트를 대상으로 시뮬레이션 한 기존의 연구⁸⁾와 유사한 결과를 나타냄을 확인할 수 있는데 기존의 해석적 연구 결과 실내설정온도에 따른 난방부하량 변화에 대한 고찰에서 동일한 외기조건하에서 실내설정온도를 1°C씩 변화시켰을 경우 난방부하량이 8.7% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 실내설정온도 2°C 증가에 난방부하량은 약 21.1% 증가하는 것으로 확인되었으며 기연구된 시뮬레이션과 비교한 결과 실내설정 온도 변화에 따른 난방부하 증가율이 유사함을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 난방부하량 변화에 영향을 끼치는 주요 인자가 외기온도 뿐만 아니라 실내설정온도

도 중요한 인자임을 확인하였다.

그림 4는 실증실험을 수행한 기간의 급탕부하와 급탕온도의 변화를 나타내고 있다. 급탕부하에 따른 시스템 성능은 표 3에서 나타난 바와 같이 매일 정해진 시간에 일정한 용량의 급탕부하를 제거해 줌으로써 실내설정온도가 급탕부하량과 급탕의 온도에 어떠한 영향을 끼치는 가를 고찰하였다.

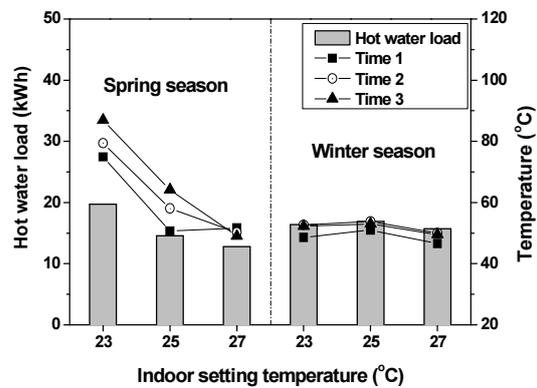


그림 4. 계절별 실내설정온도에 따른 급탕열량과 급탕 온도 변화

실내설정온도와 외기온도에 의해 영향을 받는 난방부하량이 250 kWh이상 발생하였을 경우 봄철과 겨울철에 상관없이 시간대별 제공되는 Time 1~3의 급탕온도가 큰 변화 없이 열펌프 작동온도인 48°C에 유사하게 나타났다. 이는 난방부하량을 충당할 수 있는 일사량이 하루 중 충분히 조성되지 않아 집열기에서 공급되는 집열량이 시스템의 부하보다 작아 급탕부하량을 전적으로 열펌프에 의존되어 운영되었기 때문이다.

반면 난방부하량이 250 kWh이하인 봄철 실내설정온도 23°C와 25°C의 경우에는 난방부하량이 크게 발생하지 않아 낮 시간동안 집열기에 의해 축열된 열원이 일정부분 난방 부하에 사용하고, 남은 열원은 축열탱크 내의 유체온도를 상승시키는데 사용되어 Time 2와 Time 3의 온도가 집열운전을 시작하기전인 Time 1(08:00~09:00)

보다 높은 온도로 상승된 것을 확인할 수 있었다.

특히, 봄철의 실내설정온도를 23°C로 설정하고 실험을 수행한 경우 실내의 난방부하량이 발생하지 않아 태양으로부터 집열된 열에너지의 대부분이 축열탱크 내부의 유체 온도를 상승하는 데에 쓰였기 때문에 Time 3의 온도가 80°C 가까이 높게 측정되는 것으로 나타났다. 따라서 난방부하량이 크지 않은 봄철에 축열탱크의 과열 문제를 해결하기 위하여 봄철의 남아도는 잉여 열을 저장하여 필요시에 사용할 수 있는 계간축열 시스템에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

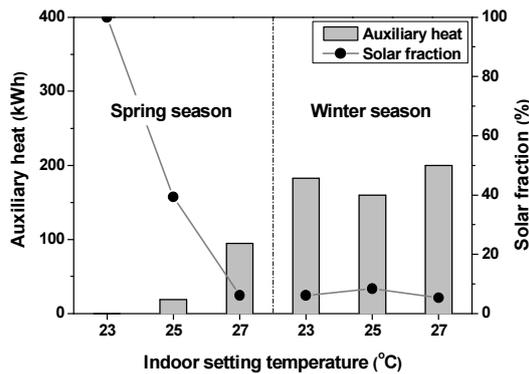


그림 5. 계절별 실내설정온도 변화에 따른 보조열량과 태양열 의존율 변화

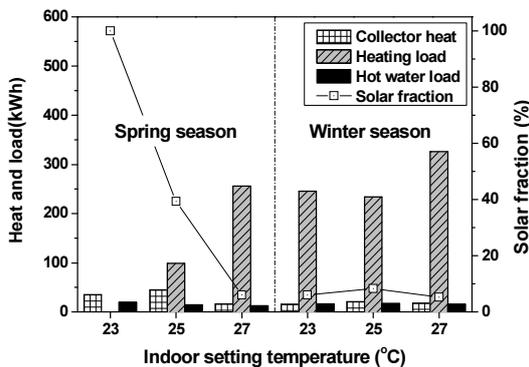


그림 6. 계절별 실내설정온도에 따른 집열량, 난방부하, 급탕열량, 그리고 태양열 의존율 변화

그림 5는 실내설정온도 변화에 따른 보조 열원인 열펌프의 공급열량과 태양열 의존율 변화를 비교하여 나타내고 있다. 여기서, 태양열 의존율은 다음과 같은 식으로 표현된다.

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

실험결과 태양열 의존율이 감소할수록 외기온도도 높기 때문에 보조열원인 공기열원 열펌프의 공급열량이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 봄철에는 열펌프의 공급열량이 거의 없거나 100 kWh 이하로 적은 것을 확인할 수 있는데 이는 봄철의 외기온도가 겨울철에 비하여 상대적으로 높아 난방부하량이 적고 겨울철에 비해 일사량이 평균 1.5 배 정도 커 집열량과 태양열 의존율이 높게 나타났다.

반면 겨울철의 경우에는 봄철에 비하여 외기온도가 13.5°C 정도 낮아 건물외부로의 열손실과 집열기에서의 열손실이 크게 증가하여 전체 부하 중 태양열 의존율이 10%이하로 낮게 확인되었다. 이는 겨울철 난방부하량이 봄철 난방부하량인 118.3 kWh에 비하여 268.4 kWh로 2.2배정도 크게 증가하여 총 부하량을 태양열 집열량으로 충당하기에 일사량이 충분치 못하기 때문이다.

또한, 이러한 이유로 열펌프의 공급열량이 봄철에 비하여 평균 4.7배 정도 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서 태양열 시스템이 겨울철 약 10% 내외의 부하량 만을 확보할 수 있음으로 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해서는 겨울철 외기조건이 좋지 않은 날에 발생하는 급탕 및 난방부하를 효율적으로 대처할 수 있는 보조열원은 필수적임을 다시 확인할 수 있었다.

그림 6은 봄과 겨울철의 각각의 부하량과 집열량, 그리고 태양열 의존율을 나타내고 있

다. 그림 3에서 확인한 바와 같이 봄철의 실내설정온도가 25°C에서 27°C로 높아짐에 따라 난방부하량이 99.2 kWh에서 255.7 kWh로 크게 증가하여 태양열 의존율이 39.3%에서 6.1%로 큰 폭으로 감소함을 예측할 수 있다.

특히 실내설정온도를 23°C로 설정하고 실험한 기간에는 실내의 난방부하량이 거의 발생하지 않아 태양열 의존율이 100%로 나타났다. 따라서 주어진 조건과 같은 봄철의 경우 태양열을 최대한 사용하기 위해서는 실내설정온도를 23~25°C 사이를 유지하여야 태양열을 효과적으로 운전할 수 있음을 확인하였다.

반면에 겨울철은 일사량이 적고 외기온도도 낮아 태양열 의존율이 10%미만을 나타냈으며 외기온도와 일사량이 유사하게 나타났던 실내설정온도 25°C와 27°C의 결과를 비교하여 보면 외기온도와 실내설정온도의 온도차로 인하여 난방부하량이 234.1 kWh에서 325.8 kWh로 크게 증가하고 이에 태양열 의존율 역시 8.3%에서 5.3%로 태양열 의존율이 3% 정도 감소함을 확인할 수 있었다.

따라서 실내설정온도가 높아질수록 태양열 의존도는 급격히 감소함을 확인할 수 있으며 이에 주어진 조건에 따라 적절한 실내설정온도의 제어가 태양열 의존율을 향상시키고 시스템의 에너지 사용량을 크게 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 봄철과 겨울철 실내설정온도 변화가 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 미치는 영향을 비교 분석하기 위하여 실내설정온도를 변화시켜가면서 실험을 수행하였으며, 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 실증실험을 수행 결과 광주광역시의 외기온도가 다른 지역에 비하여 봄철에는 5°C, 겨울철에는 1.6°C 정도 높아 시스템을 적용에 유리함을 확인하였다. 또한, 유사한 외기온도하에서 실내설정온도가 2°C 증가함에 따라 난방부하량이 약 21.1% 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 급탕부하 실험 결과 난방부하량이 250 kWh 이상일 경우 Time 1~3의 급탕온도는 큰 변화 없이 열펌프 작동온도인 48°C에 유사하게 나타났으며 난방부하량이 250 kWh이하인 경우에는 낮 시간동안 집열기에 의해 축열된 열원이 일정부분 난방부하에 사용하고, 남은 열원은 축열탱크내의 유체온도를 상승시키는데 사용되어 급탕온도가 최대 80°C까지 상승됨을 확인하였다.
- (3) 봄철 실외조건이 겨울철에 비해 상대적으로 좋아 난방부하가 작게 나타나고 집열량과 태양열 의존율이 높게 나타났다. 반면에 겨울철의 경우에는 봄철에 비하여 외기온도가 13.5°C 정도 낮아 건물외부의 열손실이 크게 발생하게 되어 태양열 의존율이 10%이하로 낮게 나타났다. 또한 실내설정온도가 증가함에 따라 태양열 의존율이 크게 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. 데이코산업연구소, 태양열 시스템 시장동향과 전망, 진한엠엔비, 서울, p.12~15, 2008.

2. Kuang, Y.H., and Wang, R.Z., Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system, *Journal of Solar Energy*, Vol. 80, No. 7, pp. 795~803, 2006.
3. 박윤철, 김지영, 고광수, 태양열이용 하이브리드 열펌프시스템의 성능특성에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 27권, 1호, pp. 47~54, 2007.
4. 김용기, 황인주, 이태원, 태양열원 열펌프 이용 난방시스템의 적용 및 설계에 관한 연구, 한국태양에너지학회 2000 추계학술 발표대회 논문집, pp. 68~773, 2000.
5. 김명래, 윤재욱, 해수냉열원을 이용한 태양열 계간축열 시스템의 건물냉방 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 2009년도 추계학술발표대회 논문집, pp. 56~61, 2009.
6. ASHRAE, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116, 1983.
7. 신우철, 백남춘, 차온제어기의 on-off 온도 설정에 따른 태양열 시스템 열성능, 한국태양에너지학회 논문집, 25권, 2호, pp. 1~8, 2005.
8. 박유원, 유효선, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3:실내설정조건의 영향, 대한설비공학회 논문집, 17권, 8 호, pp. 722~728, 2005.
9. Duffie, J.A., and Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Process*, Wiley, New York, 2006.