

태양열 이용 Hybrid냉난방시스템 실증연구

문종철

(주)뉴그린테크 대표이사

(moonseo-1@hanmail.net)

Demonstration project on utilization of solar thermal energy on Hybrid Cooling and Heating system

Jong-Chul Mun

New green tech Co., Ltd

요 약

최근 고유가상황 및 에너지소비가 증대되는 사회적 분위기와 환경적 변화에 힘입어 대체에너지기술개발에 대한 절실한 대책마련이 중요시 되고있다. 기후변화협약의 발효로 환경에너지에 대한 새로운 인식의 필요로 에너지체제의 변환이 촉구되어지고 있으며 이에 따른 환경친화적 에너지자원을 이용한 신·재생에너지개발에 대한 연구개발기술이 관심을 받고 있다. 현재 사용중인 화석연료는 환경오염 및 지구의 온난화 현상 등 심각한 공해문제를 야기시키고 있는 반면에 태양에너지와 같은 청정에너지의 개발은 환경오염방지와 친환경에너지자원의 활용이라는 점에서 관심이 대상이 되고 있고 특히, 우리나라의 경우 에너지수입 의존율이 97%로 높은 상황에서 국가에너지대책을 수립하고 해외수입에너지 의존율을 최소화시키기 위하여 가히 필수적인 상황이다.

따라서, 본 실증연구사업(태양열 이용 Hybrid냉난방시스템 실증연구)은 태양열 집열기에서 생산된 저온의 20~30℃의 승온된 양질의 열원을 히트펌프 증발기 열원으로 이용 히트펌프의 압축동력이 상대적으로 작아져 기존 히트펌프 시스템에서의 성적계수(COP)를 높여 주는 효과를 기대할 수 있고, 특히 하절기 복사량이 많은 시기에는 50~60℃ 정도로 승온되어진 중·고온수를 직접 온수탱크로 이동시켜 필요수요처에 공급함으로써 이에 따른 에너지절감효과를 기대할 수 있다. 구축된 태양열 이용 하이브리드(Hybrid)냉난방시스템은 계절별, 설비별 특성을 적절히 활용하여 연평균 집열기 효율은 70%수준으로 유지하면서, 계절별 성적계수는 '4'수준을 목표로 하여 추진되었으며, 그간, 태양열 이용 보급분야의 실용화는 주

로 건물의 급탕용 온수생산의 수준에 머물렀으나 이 단계를 극복한 건물의 냉·난방 및 급탕을 위한 태양열 및 공기열원을 활용한 하이브리드(Hybrid)냉난방 시스템 구축하였다. 아울러, 태양열 이용 하이브리드 냉난방 히트펌프 시스템 실증 실험은 유가상승과 신재생에너지에 대한 국가적 분위기 고취로 어느때 보다도 개발기술의 상용화 및 실용화적 측면의 염두와 태양열 이용 Hybrid냉난방 시스템의 효율향상과 저가화를 통해 기술의 경제성과 신뢰성을 확보하여 태양열 이용 시스템의 보급활성화를 목표로 하고 있다.

1. 서 론

가. 개발기술의 목적 및 중요성

최근 여러 선진국에서는 태양열 이용 기술개발에 대한 연구가 활발히 추진되고 있으며, 태양열 적용분야에 따라 가정용, 산업용, 농수산용, 발전용으로 구분할 수 있다. 태양열 이용분야도 활용온도에 따라 저온용, 중온용, 고온용으로 세분화되어 각 수요처에 따라 다양하게 적용될 수 있다. 대체에너지자원으로서 태양열 이용은 무공해이고 자원이 풍부한 청정에너지자원이지만 밀도가 낮고, 간헐적(기후 및 밤과 낮)이고 계절별 특성상 동절기에는 일사량조건이 불리하고 발열량에 비해 초기투자비용이 고가인 단점으로 주로, 주택이나 가정용 건물에 온수를 공급하기 위한 급탕용으로 활용되어 왔다.

본 실증연구사업은, 태양열 에너지 이용기술의 계절별, 설비별 특성을 적절히 활용하기 위하여 집열기 연평균 효율은 70%수준으로 유지하고, 20~30℃정도의 저온의 열원을 이용하이브리드(Hybrid) 히트펌프 시스템을 구축하여 주로 급탕용 온수생산의 수준에 머물렀던 단계를 극복한 건물의 냉난방 및 급탕을 목적에 있으며, 개발기술의 상용화 및 실용화를 위한 실증연구 추구하고 태양열 이용 Hybrid 냉난방 시스템의 효율향상과 저가화를 통하여 경제성을 높이고, 기술의 신뢰성을 확보하여 태양열 이용 시스템의 보급활성화를 목표로 하고 있다.

2. 본 론

가. 기술개발내용 및 범위

1) 적용기업의 현황 및 선정

본 실증연구사업에서 적용업체를 '03년 8월에 전주 호성동 B사우나를 대상으로 하여 설계에 반영하는 등 추진하여 왔으나 건물착공이 계속지연으로 본 실증연구

사업의 차질이 우려되어 신축중에 있는 전주 우아동에 위치한 O사우나로 변경하여 사업추진하였다. 적용기업인 O사우나는 제1종 근린생활시설(목욕탕 및 찜질방)로 건축허가를 받아 전라북도 전주시 덕진구 우아동 1093-1 에 지하1층, 지상7층 규모로 대지면적 2,303㎡ 및 건축면적 6,567㎡로 완공되어 있으며 수용규모는 평일 및 주말평균 약 1,200~4,200명 정도로 집계되고 있으며, 탈의실, 휴게실, 찜질방 및 체력단련장등을 갖춘 건물로 종합레저공간으로 이용되고 있다. 본 O사우나에서는 설계시 냉·난방 및 급탕을 위해 가스보일러와 개별냉방방식인 에어컨으로 설계되어 있으나 에너지비용절감차원에서 초기투자비는 높으나 7층 옥상에 태양열집열기를 설치하고 태양열을 활용한 히트펌프를 적용하여 대체에너지부대설치에 따른 에너지절감효과를 증대시키고자 하였다.

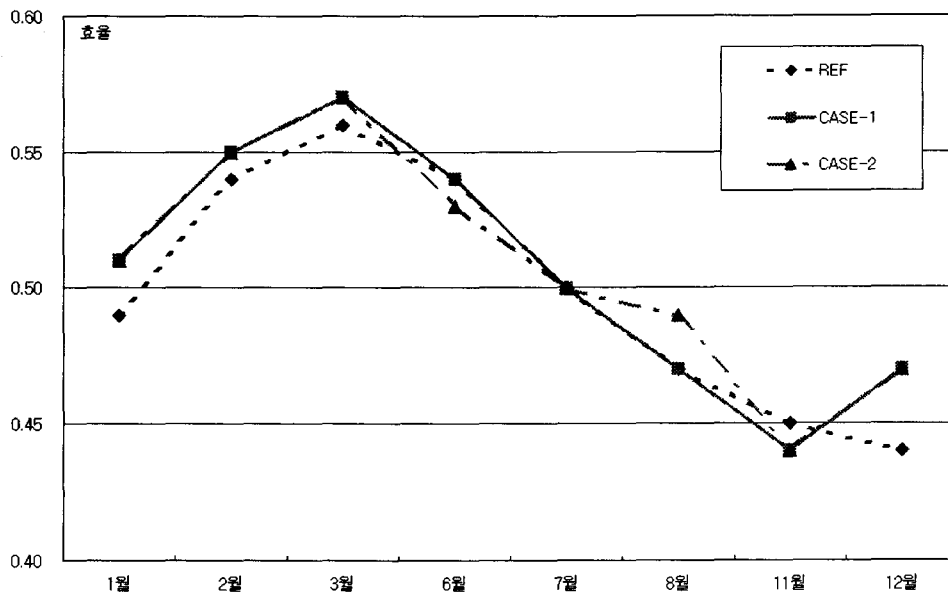


[그림 1 : 적용업체 건물전경]

위의 [그림 1]은 적용업체 건물전경을 보여주고 있다. O사우나는 실증건물은 지하 1층, 지상7층의 건물로써, 옥상에는 태양열 온수 집열판이 아치형(Arch Type) 2열배열로 총 404㎡(상부 224㎡, 하부 180㎡)를 차지하며 외관을 미려하게 설계하여 미적인 홍보효과를 고려하여 설계되었으며, 열교환기, 축열탱크, 부동액탱크, 팽창탱크가 설치되어 가동되고 있다. 또한 지하 1층에는 태양열·공기열 Hybrid 히트펌프 시스템 3대와 폐수열원 전용 히트펌프 2대를 비롯하여 총 5대가 설치되어 있으며, 이 중 두개의 히트펌프 시스템과 옥상에 설치된 태양열 온수 급탕 시스템이 연계된 배관이 설치되어 있으나 현재는 1개의 히트펌프 시스템과 태양열 집열시스템이 연결되어 성능측정 및 모니터링시스템이 가동되어 실험데이터를 축적하고 결과분석하였다.

2) 태양열 이용 하이브리드(Hybrid)시스템 기본설계

실증연구사업의 해당건물에 설치된 태양열 이용 하이브리드(Hybrid)히트펌프 시스템과 관련하여 건물의 용도 및 부하에 적합한 태양열 집열시스템의 용량 산정의 타당성 검토와 집열기 설치업체에서 제공된 자료로 기후분석이 수행되었다. 업체에서 제출한 계산조건과 계산 값을 바탕으로 타당성을 검증하였는데, 계산조건인 경사면 일사량값, 외기온도, 시수온도를 검토하고 이를 바탕으로 하여 계산된 집열기 효율, 월별가득열량에 대해 RETScreen를 이용한 결과 값과 비교평가하였으며, 이와 더불어 시스템 효율과 시스템의 절감에너지량에 대해 분석을 수행하였다.



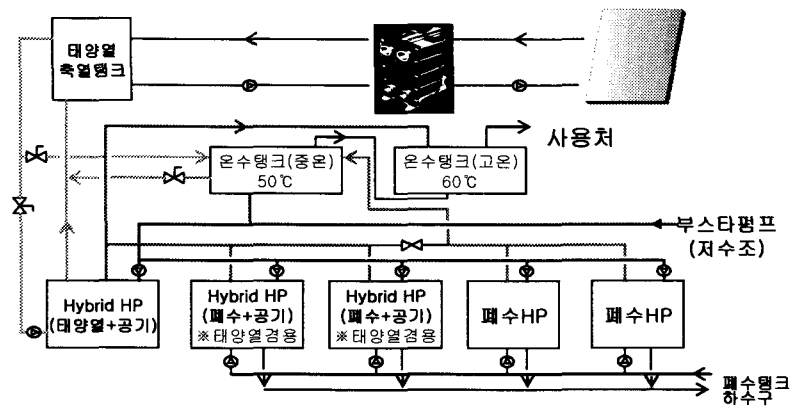
[그림 2 : 월별 출구온도의 변화에 따른 시스템 효율 변화]

위의 [그림 2]는 계절별 출구온도 변화에 따른 시스템 효율변화량을 보여주고 있으며, 연간효율의 경우 0.51로 변화가 없으나 겨울철(11월~3월)의 경우 기본 케이스의 경우 평균 0.50에서 0.51로 미세하게 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 여름철에 출구온도를 좀더 높게 둔 경우 0.50에서 0.51로 시스템효율이 소폭 상승하는 것으로 확인할 수 있었다.

건물의 냉·난방 및 급탕부하를 산출하는데 있어, O사우나의 열수요는 입욕자 일일 수요규모가 2,000명을 수용하기 위해 소요되는 온수 일일 450t이 필요하고 열부하는 15,000Mcal/d가 필요하며, 동절기 난방부하는 전주지역의 외기 온도 -10℃ 기준으로 실내온도 20℃로 할 때 난방면적 6,567㎡의 난방부하는 402Mcal/h이며, 하절기 냉방은 외기 온도 35℃, 실내온도 26℃ 기준으로 냉방부하는 381Mcal/h가 필요하다. 기존방식으로 운영시 난방 및 급탕에 소요되는 에너지는

764toe/년이고, 하절기 냉방은 46.9toe/년으로 전체에너지소비량은 810.9toe/년 가 될 것으로 예상되었다.

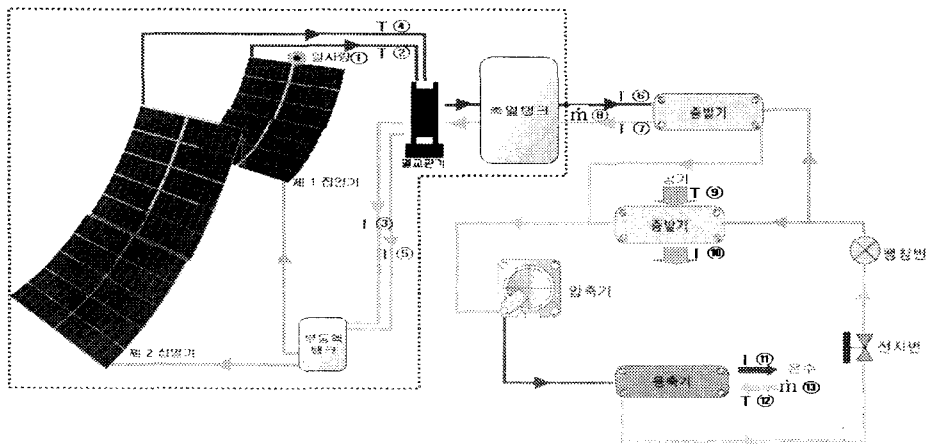
태양열 및 공기열원을 이용한 히트펌프 하이브리드(Hybrid)시스템의 경제적 여건을 보면, 기본방식 대비 초기투자비는 높은 편이나 에너지절감효과 측면에서 효율이 높으므로 에너지소비량이 많은 다소비 건물의 냉·난방 및 급탕에 적합한 기술될 것이다. 태양열 집열 효율향상, 히트펌프의 성능개선, 최적화시스템 개발 등을 통하여 기술의 신뢰성확보와 투자경제성을 높이면 보급환경은 양호한 것으로 판단된다. 아래 [그림 3]은 건물 냉·난방부하에 따른 태양열 히트펌프 Hybrid 시스템 기본 설계를 보여준다.



[그림 3 : 태양열 히트펌프 Hybrid 시스템 기본 설계도]

나. 태양열 이용 하이브리드(Hybrid)시스템 성능측정 및 모니터링 시스템 구축

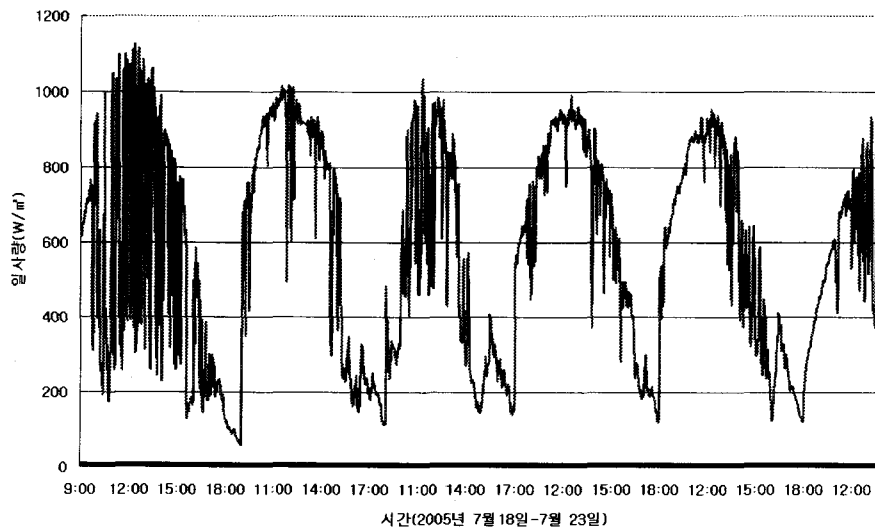
1) 태양열 집열기 일별 집열효율 분석결과



[그림 4 : 태양열히트펌프시스템 실증 성능 평가용 모니터링 장치 개요도]

태양열 Hybrid히트펌프 시스템 성능 평가용 모니터링 장치를 구현하기 위해서 [그림 4]에 나와 있는 위치에 계측장비 및 센서를 설치하였다. 먼저 태양열 집열판에 도달하는 일사량 측정을 위한 일사량계를 설치하였고, 2세트로 나누어진 태양열 집열판 입·출구에서의 작동유량 및 온도 측정을 위한 유량계 및 RTD 온도 센서를 설치하였다. 또한 축열탱크 및 히트펌프 입·출구 온도 및 작동유량 측정은 물론, 외기온도 및 히트펌프 증발기 입·출구의 온도도 함께 측정할 수 있도록 계측장비 및 센서들을 설치하여 분석하였다.

태양열 집열효율 성능측정을 위해 일사량, 태양열 집열기면적, 집열기 내부유량, 집열기 입·출구온도와 작동유체 비열 등이 효율분석의 변수로 작용되었다. 이 중 집열기 설치면적은 상·하부 404m²로 정해진 면적을 가지고 있어 일정하지만 집열기 유체비열과 유량은 집열기온도와 축열조의 설정온도에 따라 값의 차이를 보이나 상온에서는 거의 일정한 값을 지닌다. 이에 따라 실험전에 측정된 집열기 작동유체의 비열과 유량값을 적용하여 실험분석을 하였다. 전주지역의 태양열 일사량을 조사분석하고 계절별 집열량을 산출하기 위하여 집열기에 설치된 일사량계의 수치를 적용하여 입력하고 실시간(Real-time)으로 측정된 값인 유량값을 적용하였고, 집열기 입·출구 온도는 RTD온도센서를 이용하여 측정된 값을 적용하였다.



[그림 5 : 실험기간(2005년 7월 18일 - 7월 23일) 동안의 일사량 데이터]

집열기 효율과 가득열량을 측정하기 위해 올여름 7월 중순부터 약 일주일간 전주지역 적용업체에 설치되어 있는 계측장비를 정비한 후 실험측정을 실시하였다. 위의 [그림 5]는 일일동안 집열기 작동유량과 일사량값을 한시간 간격으로 평균하여 작성한 그래프를 나타낸다.

태양열 집열기에 대한 가득열량을 산출하기 위하여 집열기 작동유량과 입·출

구온도차를 이용하여 산출하였다. 성능측정 기간 동안 각 집열기의 일평균 시간당 집열가득열량으로 측정하여 나타낸 것으로, 집열기 입·출구 온도와 작동유량을 하루 전체 평균값으로 나타내었다. 일일 총 가득열량의 계산을 집열기 총 가득 열량에 가동시간을 곱한값으로 나타낼 수 있었으며 본 실험에서는, 일별 가득열량을 좀 더 정확하게 비교하기 위하여 단위시간당 집열기 가득열량(MJ/hr) 나타내었다.

<표 1 : 태양열 집열기 일일평균 시간당 가득열량 (2005년 7월 18일 - 23일)>

시간	가동 시간	집열기 1 in(°C)	집열기 1 out(°C)	집열기 1 ΔT(°C)	집열기 1 유량 (m ³ /hr)	집열기 2 in(°C)	집열기 2 out(°C)	집열기 2 ΔT(°C)	집열기 2 유량 (m ³ /hr)	집열기1 가득열량 (MJ/hr)	집열기2 가득열량 (MJ/hr)	집열기 총 가득열량 (MJ/hr)
18일	8	42.14	48.82	6.68	10.0	42.10	47.81	5.71	8.5	279.79	203.32	483.11
19일	9	29.95	39.35	9.39	10.0	29.95	38.10	8.15	8.5	393.57	290.35	683.91
20일	8	26.17	33.22	7.05	10.0	26.31	32.08	5.77	8.5	295.39	205.56	500.95
21일	9	32.05	40.72	8.67	10.0	31.98	39.26	7.29	8.5	363.27	259.53	622.80
22일	9	35.18	43.45	8.27	10.0	35.38	41.77	6.39	8.5	346.49	227.50	573.99
23일	4	33.17	41.92	8.75	10.0	33.35	40.40	7.04	8.5	366.65	250.88	617.53
평균	7.8	33.11	41.25	8.14	10.0	33.18	39.90	6.73	8.5	340.86	239.52	580.38

<표 2 : 태양열 집열기 일일별 집열 효율 분석 결과>

시간	평균일사량(W/m ²) ①	집열기1 면적(m ²) ②	집열기2 면적(m ²) ③	집열기1 가득열량 (MJ/hr) ④	집열기2 가득열량 (MJ/hr) ⑤	집열기1 효율(η ₁) ④/(①×②)	집열기2 효율(η ₂) ⑤/(①×③)
18일	511	224	180	279.79	203.32	67.95	61.45
19일	649	224	180	393.57	290.35	75.19	69.03
20일	490	224	180	295.39	205.56	74.75	64.74
21일	645	224	180	363.27	259.53	69.85	62.10
22일	576	224	180	346.49	227.50	74.55	60.91
23일	633	224	180	366.65	250.88	71.80	61.14
평균	584	224	180	340.86	239.52	72.35	63.23

3) 태양열 이용 하이브리드(Hybrid) 히트펌프 시스템 성적계수 측정결과

아래 <표 3>는 주간에 태양열을 이용한 히트펌프운전 측정내용과 야간에 공기열을 이용한 히트펌프운전 측정내용을 종합 분석 한 결과 태양열 이용 히트펌프 성적계수는 4.59이고 공기열을 이용한 히트펌프 성적계수는 4.50으로, 앞서 언급해 왔던 태양열 및 공기열의 특성을 유용하게 배분하여 이용한 바 태양열 Hybrid 히트펌프의 연간 성적계수(COP)는 평균 4.56으로 측정되었다. 각 열원에 따른 집열기 효율은 70%수준으로 나타났다. 태양열 이용 Hybrid 냉난방히트펌프 시스템

은, 낮에는 다량이고 양질의 열원인 태양열을 활용하고 밤에는, 부족한 태양열 열원을 공기열원으로 대체하여 건물의 냉난방 및 급탕을 가능케하는 통합시스템 구축에 있다.

<표 3 : 태양열 히트펌프 Hybrid HP시스템 성적계수 측정 결과 (2005년 7월 18일 - 23일)>

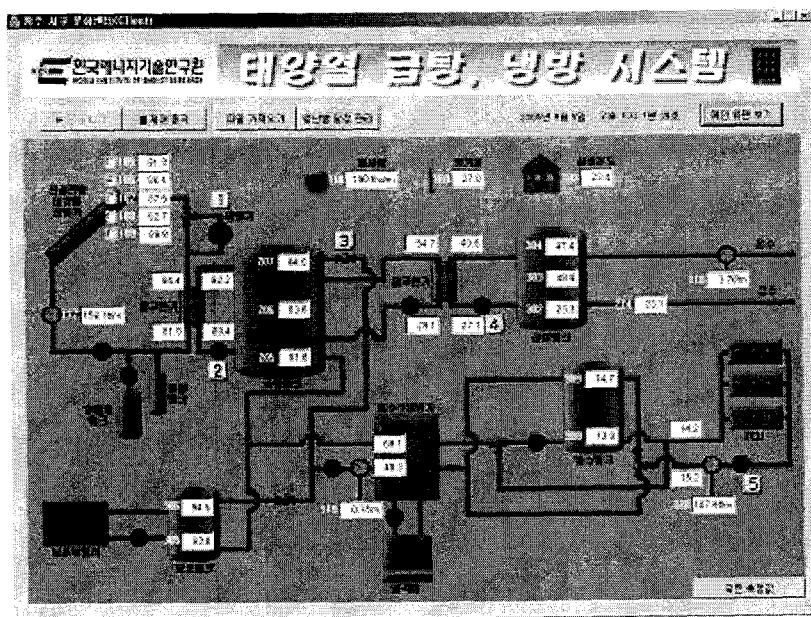
히트펌프 시스템	히트펌프 $\Delta T(^{\circ}C)$	히트펌프 유량(m^3/hr)	히트펌프 부하량		히트펌프 소비동력(kW)	성적계수 (COP)	
			(MJ/hr)	(KW)			
18일	태양열 HP	13.87	12.68	736.90	204.70	45.97	4.45
	공기식 HP	8.61	12.52	451.67	125.46	26.71	4.70
19일	태양열 HP	13.34	12.73	711.54	197.65	43.38	4.56
	공기식 HP	8.75	12.70	465.61	129.34	26.53	4.88
20일	태양열 HP	12.81	12.73	683.27	189.80	43.97	4.32
	공기식 HP	8.70	12.81	466.96	129.71	30.42	4.26
21일	태양열 HP	13.42	12.64	710.74	197.43	43.11	4.58
	공기식 HP	9.63	9.59	386.95	107.49	23.70	4.54
22일	태양열 HP	13.68	11.67	668.92	185.81	39.08	4.75
	공기식 HP	8.81	12.46	459.95	127.76	26.91	4.75
23일	태양열 HP	12.46	12.12	632.75	175.76	35.21	4.99
	공기식 HP	9.24	11.86	459.17	127.55	32.43	3.93
태양열 HP 평균		13.26	12.43	690.60	191.83	41.79	4.59
공기식 HP 평균		8.96	11.99	450.13	125.04	27.78	4.50
Hybrid 시스템 평균		11.11	12.21	569.54	158.20	34.79	4.56

3. 결 론

본 실증연구사업은 건물의 냉·난방 및 급탕을 위한 태양열 및 공기열원을 활용한 하이브리드(Hybrid) 히트펌프 시스템을 구축에 있다. (주)뉴그린테크의 히트펌프 기술력과 신뢰성을 바탕으로한 하이브리드 히트펌프 시스템을 개발하여 시제품의 설계·제작 및 설치, 시운전을 통해 시스템의 성능안정을 시험하였고, 한국에너지기술연구원은 전체통합시스템(하이브리드 히트펌프 시스템)에 대한 성능측정을 위해 EES코드를 이용한 태양열 이용 하이브리드 히트펌프 시스템의 성능예측 시뮬레이션 프로그램을 개발하고, RETScreen 프로그램을 활용한 성능예측 및 설계타당성 평가모듈을 완료하였고, Lab VIEW 프로그램을 활용한 태양열 복합시스템 모니터링시스템을 구축하여 계절별·설비별 성능측정(COP)을 한 결과 연구의 최종목표인 성능계수(COP) '4'수준(태양열 히트펌프 시스템 성적계수 평균: 약 4.6, 공기열원 히트펌프 평균: 약 4.42, Hybrid 히트펌프 시스템 성적계수 평균: 4.56 수준으로 집계)을 상회하고 연간 평판형 집열기 효율은 70%수준인 것으로

나타났다. 냉방시 성적계수는 냉방철 냉방흡수열을 열원으로 이용하여 온수를 생산한 열량과 폐수를 열원으로 온수를 생산할 때와 비교 분석한 결과 폐수이용시 온수생산 열량은 191,314kcal/h로 냉방시 온수 생산열량 149,657kcal/h에 비하여 많게 생산되고 있으나, 냉방시 온수 생산에는 별도의 전력이 소모되지 않고 냉수 생산에 소모되는 전력만 사용하므로 냉방열량과 온수 생산열량을 합하여 종합 성적계수(COP)을 계산하면, 7.30으로 폐수열원 이용시 성적계수 5.10에 비하여 43.1% $\{=(7.3-5.1/5.1)\times 100\}$ 효율이 높게 나타나고 있다.

태양열 이용 하이브리드 냉난방 히트펌프 실증실험은, 유가 상승과 신재생에너지에 대한 국가적 분위기 고취로 어느 때 보다도 상용화가 가능한 시기이다. 이번에 실증 실험한 결과를 종합하여 보면 보급대상이 신재생에너지 의무 설치 건물인 공공기관, 냉방시 온수 수요가 높은 숙박업, 사우나, 호텔, 병원 및 산업체에 적용이 가능하므로 본 실증실험 제품을 패키지화(Package)하여 계획 생산에 따른 원가 절감시 보급 확대가 보다 빠르게 진행될 것으로 예상된다.



참 고 문 헌

1. 신정철, "태양열 냉난방 기술", 구민사, 2004
2. 강용혁 외 다수, "태양열 온수 급탕 시스템 성능 표준화, 한국에너지기술연구소, 1999
3. 강용혁 외 다수, "태양열이용 온수시스템의 시설원에 난방적용 실증연구", 최종 보고서, 산업자원부, 2004
4. 최성주, "Graphical Programming LabVIEW Introduction", 1999

5. 최성주 외 2인, 2001, "VI를 이용한 계측기술", 한국기술교육대학교.
6. Lee, T. S. et al., 1993, "Introduction to Heat Transfer".
7. Robert Siegel and John R. Howell, 1981, "Thermal Radiation Heat Transfer", 2nd edition.
8. 에너지관리공단, "태양열 집열기 시공기술 교육"
9. 산업자원부 에너지경제연구원, "에너지통계연보", 2004