

태양열 실증 시스템의 냉방 및 급탕 일일 열성능

이 호, 김 상 진*, 주 홍 진**, 곽 회 열***†

전주대학교 건축공학과 대학원, *전주대학교 건축공학과, **인하대학교 기계공학과 대학원, ***한국에너지기술연구원

Thermal performance of solar cooling and hot water for the demonstration system

Ho Lee, Sang Jin Kim*, Hong Jin Joo**, Hee Youl Kwak***†

Dept. of Architectural Engineering, Jeonju University

**Dept. of Architectural Engineering, Jeonju University*

***Dept. of mechanical engineering, Inha University*

****Korea Institute of Energy Reserch*

ABSTRACT: This study describes thermal performance of solar cooling and hot water for demonstration system with ETSC(Evacuated tubular solar collector) installed at Seo-gu art center of Kwangju. For demonstration study, a reading room with about 350m² was heated and cooled with the solar system. The system was consisted of ETSCs, storage tank, hot water supply tank, subsidiary boiler, subsidiary tank, absorption chiller, chiller storage tank, and cooling tower.

The results of the experimental study indicated that the total solar energy gain as daily performance on a sunny day (August 25, 2007) with total daily radiation of 606 W/m² was 671 kWh, the collecting efficiency of 55%. In the case of supplies to heat source more than 83°C, cooling time operated by solar was driven 8.8 hours, cooling energy generated by solar system was 179 kWh and the solar cooling fraction was 79.2%, and hot water supplied with surplus heat source by the solar system was 201 kWh.

Key words: ETSC(Evacuated tubular solar collector) 진공관형 태양열 집열기, hot water (온수 급탕), Solar cooling (태양열냉방)

기 호 설 명

G_T : 평균일사량 (W/m²)

Q_g : 획득열량 (kWh)

Q_T : 총 사용열량

Q_{hw} : 급탕 사용열량

Q_s : 태양열 냉방사용열량

Q_a : 보조보일러 냉방사용열량

η_{estc} : 집열기 효율

SCF : 태양열냉방 의존율 (%)

h_s : 태양열냉방 시간 (hour)

h_s : 보조보일러 냉방시간 (hour)

† Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3516; fax: +82-42-860-3538

E-mail address: hykwak@kier.re.kr

- T_a : 외기온도 (°C)
- T_r : 실내온도 (°C)
- C_{top} : 집열기 상단온도 (°C)
- T_{top} : 축열조 상단온도 (°C)
- T_{middle} : 축열조 중단온도 (°C)

1. 서론

전 세계적으로 거주, 상업 및 특정 산업공간의 발달에 따라 쾌적한 주거 공간에 대한 기대가 증대되고 냉방과 제습의 요구량이 늘어남에 따라 냉방 부하량이 증가하고 막대한 양의 에너지가 사용되고 있다. 또한 지구환경 문제와 관련하여 CFC, HCFC 냉매 방출로 인한 오존층 파괴와 화석연료 사용으로 인한 지구온난화가 큰 문제가 되고 있다. 이러한 에너지 절약, 전력수요 불균형과 환경문제들의 해결의 일환으로 각국에서는 에너지 절약기술과 아울러 대체에너지 이용기술 및 친환경 냉동기 개발에 노력하고 있다. 이에 따라 태양열, 빙축열, 폐열 이용냉방 기술 등이 모색되고 있다. 태양열의 경우 냉방부하가 큰 하절기에 일사강도가 높아 사용상의 이점이 있고 집열기 파열문제 해소가 기대되어 IEA 참여국에서 널리 연구 및 상용화가 추진되고 있다. 태양열을 이용한 공기조화는 하절기 전력 수급의 부담을 줄이고 작동유체에 의한 지구온난화의 우려가 없어 환경문제에도 기여할 것이다.

본 논문에서는 공공 문화기반시설인 광주서구 문화센터 열람실 1, 2에 동절기에는 난방 시스템, 하절기에는 냉방 시스템으로 독립적으로 운영되도록 설계되었다. 10 RT급 태양열 흡수식 냉·난방 시스템으로 하절기 기간인 2007년 8월 25일의 냉방 일일 열성능과 냉방에 사용되고 남은 잉여열원을 통한 급탕 일일 열성능에 대하여 기술하였다.

2. 실증시스템의 구성

2.1 단일 진공관형 집열기

Fig 1은 집열기 종류에 따른 일반적인 효율곡선을 나타낸 것이다. 평판형 집열기는 비교적 낮은 온도영역에서 효율이 높으나 60°C 이상의 온

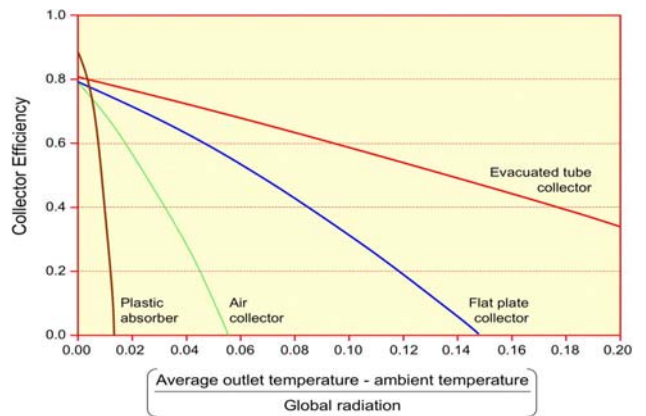


Fig. 1 Collector efficiency curve

도 영역에서는 많은 열손실에 의해 효율이 급격히 감소한다. 진공관형 집열기는 평판형 집열기와 달리 진공기술을 사용함으로써 대류 열손실(대류)을 획기적으로 줄일 수 있으며, 열 응답성이 빠르고 열수송 능력이 탁월한 히트파이프를 사용하여 60°C 이상의 온도영역에서 높은 효율을 나타냈다. 따라서 60°C 이상의 온도를 필요로 하는 태양열 흡수식 냉방 시스템에 단일 진공관형 집열기의 사용이 효율적이라고 사료된다.

광주서구문화센터에 설치된 단일 진공관형 집열기는 107 Module 1,070 tube가 설치되었으며, 집열기 설치 면적은 약 200 m²이다.

2.2 실증시스템 개요

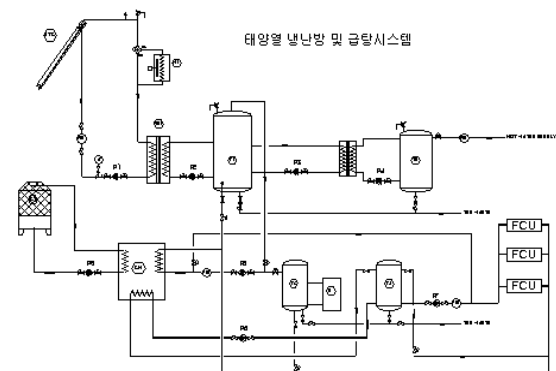


Fig. 2 Solar heating and cooling system

Fig 2는 태양열 냉난방 및 급탕 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 광주서구문화센터 열람실 1,

2에 설치된 태양열 냉·난방 시스템은 태양에너지와 도시가스에 의해 독립적으로 냉·난방 되도록 설계되었으며, 태양에너지를 최대한 사용하고 태양에너지가 없거나 부족할 경우 보조열원(도시가스)에 의해 운전되도록 설계되었다.

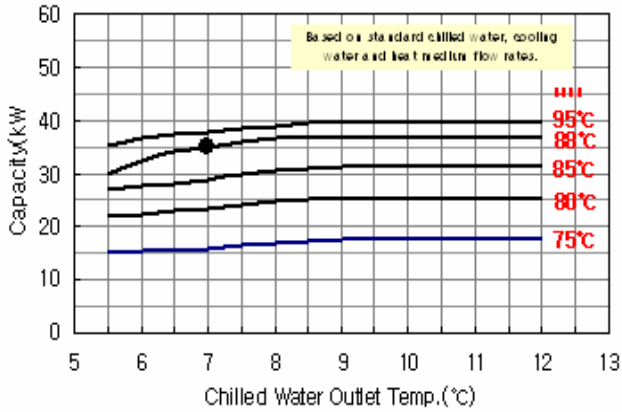


Fig. 3 absorption chiller efficiency curve

Fig 3은 태양열 냉·난방 시스템에 사용된 흡수식 냉동기의 성능 곡선을 나타낸 것이다. 냉동기에 88°C의 온수열원이 2.41 l/s로 공급될 때 35 kW의 냉방능력을 보이며 7°C (COP 0.7)의 냉수를 생산한다.

Table 1은 하절기 냉방 기간의 태양열 냉방 및 급탕 시스템의 제어조건을 나타낸 것이다. 열람실에 냉방을 공급하기 위한 제어조건은 축열조 온도가 83°C 이상 높거나, 열람실 실내온도가 27°C 이상인 경우에 공급되도록 설계하였다. 또한 축열조 온도가 흡수식 냉동기에 열원을 공급하고

Table 1 Control

Control	Limits		
Over heating protector	C_{top}	$115^{\circ}\text{C} \geq$	ON
	C_{top}	$112^{\circ}\text{C} \leq$	OFF
cooling temperature	T_{top}	$83^{\circ}\text{C} \geq$	ON
	T_{middle}	$78^{\circ}\text{C} \leq$	OFF
hot-water temperature	T_{top}	$88^{\circ}\text{C} \geq$	ON
	T_{middle}	$83^{\circ}\text{C} \leq$	OFF
Room temperature		$27^{\circ}\text{C} \geq$	ON
		$25.5^{\circ}\text{C} \leq$	OFF

있음에도 불구하고 88°C 이상 높아졌을 경우에는 잉여열원을 급탕으로 자동 전환되도록 제어 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

2005년 8월부터 광주 서구문화센터에 설치된 태양열 흡수식 냉난방 시스템은 하절기 냉방모드와 동절기 난방모드로 운전되고 있다. 본 논문에서는 2007년 8월 25일의 데이터를 근거로 하절기 냉방모드 가동시 태양열 냉방과 급탕에너지에 대한 운전 결과를 정리하였다. 본 논문에서 사용된 일사량 및 획득량 데이터는 광주서구문화 센터에서 측정된 오전 8시부터 오후 6시까지 데이터를 사용하였으며, 냉방데이터의 경우 열람실 개장 시간인 오전 8시부터 오후 10시까지의 데이터를 사용하였다.

Table 2 Insolation for the Solar cooling system (7/2007-8/2007)

July-August 2007	Daily G_T (W/m^2)	Daily Q_g (kWh)	Daily η_{estc} (%)	Daily Q_T (kWh)	Daily Q_{lwo} (kWh)	Daily Q_s (kWh)	Daily Q_a (kWh)	Daily SCF (%)	Daily h_s (h)	Daily h_a (h)	Daily T_a ($^{\circ}\text{C}$)	Daily T_r ($^{\circ}\text{C}$)
7/29	440	384	44	233	5	118	110	51.8	6.5	6.5	30.7	26.6
8/1	490	452	46	264	31	130	104	55.6	6.8	6.2	31.4	26.7
8/2	454	463	51	252	39	149	64	69.9	8.0	4.0	32.2	27.1
8/4	492	492	50	403	191	138	73	65.5	7.4	5.6	31.2	27.1
8/18	508	405	40	231	16	122	92	57.1	6.4	6.6	30.2	26.5
8/19	579	446	38	243	11	153	80	65.6	7.7	4.3	30.5	27.0
8/23	544	449	41	284	60	140	84	62.5	7.3	4.7	30.7	26.8
8/25	606	671	55	427	201	179	47	79.2	8.8	4.2	32.0	27.6
8/26	486	484	50	331	152	146	33	81.7	8.3	4.7	31.4	28.2

3.1 일일 냉방 및 급탕 열성능

Table 2는 2007년 7월부터 8월까지의 기간 중 평균일사량이 400 W/m² 이상인 날들의 획득열량, 집열기 효율, 냉방 사용량, 급탕 사용량, 태양열 냉방 의존율, 냉방 작동시간, 실내 온도, 외기 온도 등을 나타낸 것이다.

2007년 8월 25일 평균일사량은 606 W/m²(1,212 kWh)이며, 671 kWh의 열량을 획득한 것으로 나타났으며 집열 효율은 55%로 분석되었다. 획득열량 671 kWh 중 사용된 열량은 380 kWh로 태양열 냉방 179 kWh, 냉방에 사용되고 남은 잉여열원을 통한 급탕 사용량 201 kWh로 나타났으며, 일사량이 적은 오전 시간 보조 보일러 사용량은 47 kWh로 나타났다.

따라서 8월 25일 태양열 냉방 의존율은 79.2%로 분석되었으며 열람실 운영 시간인 오전 8시부터 오후 9시까지 총 13시간 중 8.8시간을 태양열을 통해 냉방이 가동된 것으로 분석되었다.

3.2 시간별 냉방 및 급탕 열성능

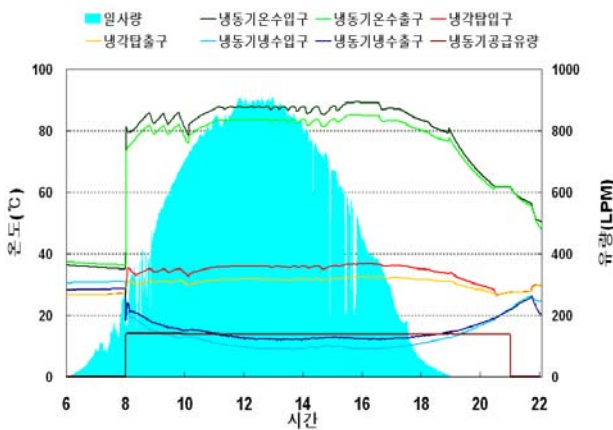


Fig. 4 Operating chiller of 25. Aug. 2007

Fig 4는 2007년 8월 25일 일일 냉동기 작동 상태를 나타낸 것이다. 냉동기 가동시간은 오전 8시부터 오후 9시까지 13시간 연속 가동되었다. 오전 8시부터 오전 10시의 냉동기공급온수 온도가 불안정한 현상을 볼 수 있는데 이것은 태양열 축열조 상단의 온도가 냉방작동 설정온도인 83°C 보다 낮아 보조열원을 통한 냉방공급이 이뤄진 것을 나타낸다. 오전 10시부터 냉동기 공급 온수가 높아지는 것을 볼 수 있으며, 이는 축열

조의 온도가 83°C 이상 높아짐에 따라 오전 10시부터 태양열 냉방(태양열 축열조의 상단 온도가 83°C 이상이 되면 보조보일러의 작동이 멈추고 축열조로 부터 열원을 냉동기에 공급함)이 가동된 것을 나타냈다. 또한 오후 6시부터 일사량의 감소와 축열조 상단 온도가 낮아짐에 따라 보조열원에 의해 냉방이 되는 것으로 나타났다.

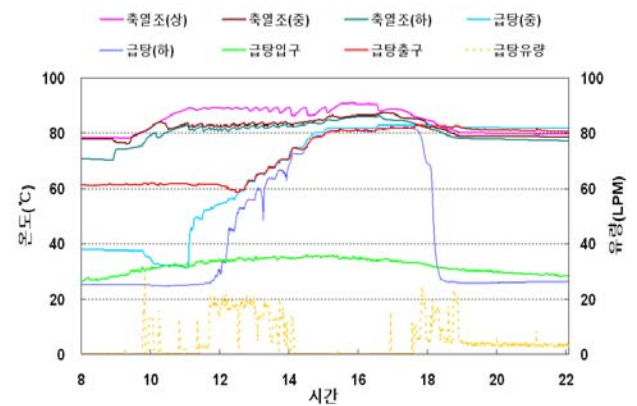


Fig. 5 storage condition of 25. Aug. 2007

Fig 5는 8월 25일의 축열조 온도분포를 나타낸 것이다. 오전 9시 30분부터 축열조 상단온도가 상승하는 것을 볼 수 있는데 이것은 9시부터 진공관형 태양열 집열기로부터 획득한 열원이 축열조에 공급되면서 축열조 온도가 높아졌기 때문으로 사료된다. 오전 12시부터 오후 3시 사이의 축열조 상단온도의 불안정한 현상은 축열조의 온도가 88°C 이상으로 높아짐에 따라 냉방에 사용되고 남은 잉여열원이 급탕으로 전환된 것으로 사료된다.

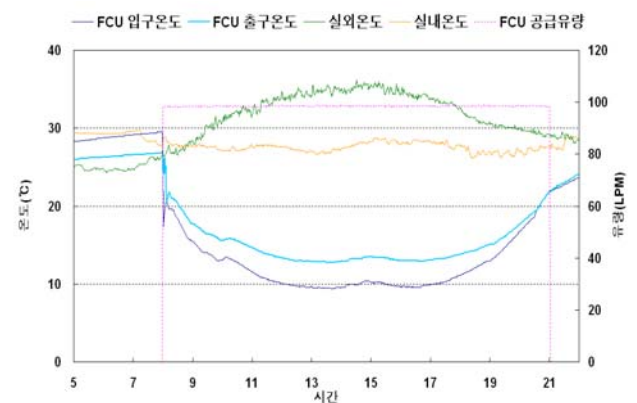


Fig. 6 Room temp & Operating FCU

Fig 6은 FCU작동상태 및 열람실 실내의 온도를 나타낸 것이다. 열람실 실내에 위치한 FCU는 열람실 개장 시간인 오전 8시부터 오후 9시까지 연속 가동 되었으며, 열람실 평균 실내온도는 27℃로 나타났다.

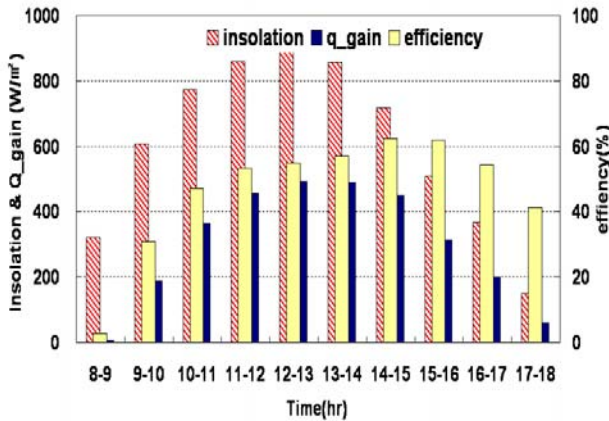


Fig. 7 absorbing efficiency of 25. Aug. 2007

Fig 7은 8월 25일의 진공관형 집열기 일일 열 성능을 나타낸 것이다. 25일 일일 평균 일사량은 606 W/m²이고 집열기에서 획득량은 671 kWh(335 W/m²)로 집열효율은 55%로 나타났다. 오후 2시부터 오후 4시 사이의 효율이 높게 나타났는데 이것은 일사량이 적어진 반면 오전 11시부터 오후 2시 사이에 집열기 내부에 축적된 열을 지속적으로 축열조에 공급하는 것으로 사료되었다.

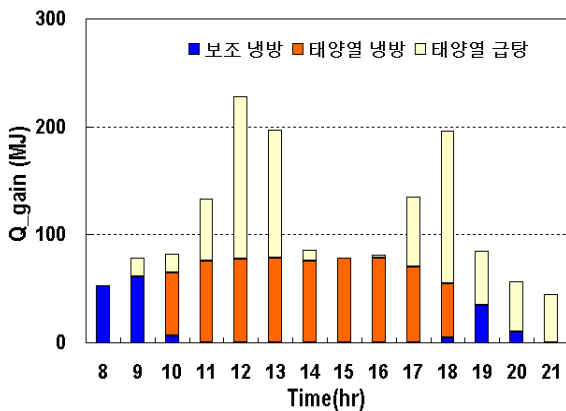


Fig. 8 Cooling efficiency of 25. Aug. 2007

Fig 8은 8월 25일의 냉방 일일 성능을 나타낸 것이다. 일사량이 비교적 적은 오전 8시부터 10

시 15분까지는 보조열원을 사용하여 냉방을 가동 하였으며, 오전 10시 15분부터 오후 6시 5분까지 (약 8.8시간) 태양열을 통해 냉방이 가동된 것으로 분석되었다. 또한 일사량이 없으며, 축적된 온수의 온도가 냉방제어조건 온도인 83℃이하로 낮아진 오후 6시 5분부터는 다시 보조열원을 통해 냉방이 가동되었다. 오전과 달리 일사량이 적음에도 오후 4시부터 6시 5분까지 태양열을 통해 냉방이 가동된 것은 태양열 시스템은 축적된 에너지를 사용함으로 약 2시간 이상을 일사량이 적음에도 불구하고 태양열을 통해 냉방이 가동되었다.

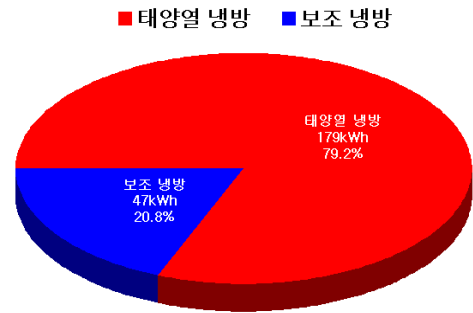


Fig. 9 Energy distribution of 25. Aug. 2007

Fig 9는 8월 25일 에너지 사용 분포를 나타낸 것이다. 냉방에 사용된 에너지는 226 kWh이며 이중 태양열 냉방이 179 kWh로 냉방에 사용된 에너지의 79.2%로 나타났으며, 보조열원 사용량은 47 kWh로 20.8%로 나타났다. 냉방에 사용되고 남은 잉여열원으로 급탕에 전환된 태양에너지는 201 kWh로 나타났다. 급탕으로 전환된 201 kWh는 25일 서구문화센터에서 사용된 급탕량 3,805 ℓ를 급탕 시수 온도인 60℃까지 올리는데 사용되었다.

4. 결론

국내 처음으로 광주 서구문화센터에 설치된 태양열 냉·난방 및 급탕 실증시스템을 운전하면서 하절기 기간인 2007년 8월 25일의 냉방 일일 열 성능 및 잉여열원을 통한 태양열 급탕 열성능을 분석하였다.

(1) 2007년 8월 25일 일일 평균 일사량은 606 W/m²(1,212 kWh)이며 진공관형 집열기를 통해

태양으로부터 획득한 열량은 671 kWh로 집열효율은 55%로 분석되었다.

(2) 오전 8시부터 오후 9시까지 83℃의 온수를 공급하여 냉방한 결과 총 13시간 중 태양열 축열조에 의해 8.8시간 냉방되었고 보조보일러를 통해 4.2 시간 냉방되는 것으로 나타났다.

(3) 8월 25일 냉방에 사용된 에너지량은 226 kWh로 나타났으며 이중 태양열 냉방이 179 kWh, 보조 보일러 사용량은 47 kWh로 태양열 냉방 의존율이 79.2%로 분석되었다.

(4) 태양열 냉방에 사용되고 남은 잉여열원을 통해 급탕에 전환된 에너지량은 201 kWh(25일 서구문화센터에서 사용된 급탕량 3,805 ℓ를 급탕 시수 온도인 60℃까지 올리는데 사용한 에너지)로 나타났다.

참고문헌

1. 곽희열 외, “태양열 시스템의 제어조건에 따른 난방 및 급탕 실증연구”, 한국태양에너지학회, Vol, 26, No. 4, 2006
2. 주홍진 외. “진공관형 집열기를 이용한 흡수식 냉방 시스템 실증연구”, 대한설비공학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 61-66, 2006.
3. C. Y. Choi and H. Y. Kwak, “Long term thermal performance of evacuated tubular solar collector system for industrial process heat in korea”, Proc. of 2005 Solar world congress, International Solar Energy Society and American Solar Energy Society, Orlando Florida, USA, August 8-12, 2005.