

태양열 냉방 및 급탕 시스템의 제어 조건에 따른 열성능

이호*, 주홍진**, 김상진***, 곽희열***

*전주대학교 대학원 건축공학과(hlee@jj.ac.kr), **인하대학교 대학원 기계공학과(joo@inhaian.net),
전주대학교 건축공학과(kimsj@jj.ac.kr), *한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

Thermal Performance of Solar Cooling & Hot-water System According to Control Condition

Lee, Ho*, Joo, Hong-Jin**, Kim, Sang-Jin***, Kwak, Hee-yeol****

*Dept. of Architectural Eng, Graduate School, Jeon-ju University(hlee@jj.ac.kr),
**Dept. of Mechanical Eng, Graduate School, In-ha University(joo@inhaian.net),
***Dept. of Architectural Eng, Jeon-ju University(kimsj@jj.ac.kr)
**** Korea institute of energy research(hykwak@kier.re.kr)

Abstract

This study is describes thermal performance of solar cooling and hot water for demonstration system with ETSC(Evacuated tubular solar collector) installed at Seo-gu culture center of Kwanju. Control condition for solar cooling and hot water system is changed by connection of auxiliary heater. Demonstration system was connected to central air conditioning system. Demonstration system was operated by two types. First type(A) was operated to cooling and hot water supply in that order. Second type(B) was operated to hot water supply and cooling in that order.

As a result. it was indicated that the total solar energy consumption of (A) was 799 MJ and the solar energy consumption rate for the cooling and hot water supply was 70% and 30% respectively. Total solar energy consumption of (b) was 898 MJ and the solar energy consumption rate for the cooling and hot water supply was 31% and 69% respectively.

Keywords : 태양열 냉방 및 급탕 시스템(solar cooling and hot water system), 제어 조건(control condition)

1. 서 론

무한한 에너지원이며, 청정한 에너지원인 태양에너지는 미래의 에너지 자원으로써 각

광받고 있으며, 하절기 잉여열원을 활용한 태양열 냉방시스템은 연간 태양열 이용효율을 극대화시키고 과열 문제를 해소할 뿐만 아니라 전력수요 및 피크부하 감소와 CO_2 를 저감시킬 수 있는 해결방안의 하나로 대두되고 있다. 현재 일반적으로 태양열 시스템과

접수일자 : 2008년 10월 31일

교신지자 : 곽희열(hykwak@kier.re.kr)

연계할 수 있는 건물의 냉방 기술로는 흡수식, 흡착식 및 제습식으로 크게 구분할 수 있다. 그 중 흡수식의 경우 현재 태양열 시스템과 연계되어 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 태양열 냉방 기술이다. 흡수식 냉방 시스템은 집열기를 이용하여 획득한 태양열을 흡수식 냉동기에 공급하는 것으로 기존의 가스보일러나 폐열을 이용하던 열원을 태양열로 이용하는 방법이다.

우리나라의 경우 한국에너지기술연구원에서 국내 최초로 개발된 단일 진공관형 태양열 집열기를 이용한 태양열 냉난방 및 급탕 시스템이 2005년 광주 서구문화센터에 설치되어 현재까지 운전되고 있다. 태양열 냉난방 및 급탕 시스템은 보조열원을 사용하지 않고 중앙냉방을 직접 연계시킨 시스템의 경우 건물의 급탕 사용량이 많으면 급탕을 우선적으로 만족하면서 부분냉방을 하는 방식도 시스템적으로 가능하다.

본 연구에서는 광주 서구문화센터에서 수행된 냉방 우선 제어조건(2006, 2007)의 운전결과와 2008년 7월부터 수행되고 있는 급탕 우선 제어조건의 운전결과를 분석하여 태양열 냉방 및 급탕시스템의 제어조건에 따른 열성능을 분석하였다.

2. 시스템 및 실증시험 개요

2.1 실험 대상 건물

표 1. 대상 건물

구 분	설 계 치
규 모	열람실1, 열람실2
연 면 적	350 m ²
일평균 사용인원	120 - 130 명
최대 사용인원	열람실1(168명), 열람실2(132명)
일평균 급탕 사용량	9,200 ℓ/day

국내 처음으로 태양열 냉난방 및 급탕 시스템이 설치된 광주 서구문화센터는 광주광역시 금호동에 위치하고 있으며, 연면적 8,157

m², 지하 1층 지상 3층으로 2000년 1월에 준공되었다. 문화센터의 특성상 시민들을 위한 헬스장, 공연장, 도서관 등을 비롯해 전층에 다양한 문화시설을 갖추어 운영되고 있기 때문에 인구 유동이 많고 여러 가지 편의 시설에 필요한 온수사용량 및 냉난방용량이 크게 요구된다. 이에 따라 국내에서 처음으로 수행된 태양열 냉난방 및 급탕 실증연구는 서구문화센터 3층 열람실 1, 2(그림 3)에 부분적으로 냉난방을 공급하기 위한 태양열 냉방(흡수식 10RT급) 및 난방 시스템을 설계하고 설치하였으며, 냉방에 사용되고 남은 잉여열원은 문화센터에서 사용되는 온수급탕 용으로 전환 되도록 설계되었다. 태양열 냉난방이 공급되는 열람실 1, 2의 연면적은 350m²이며 일평균 사용인원은 120 - 130명이며, 최대 사용인원은 300명이다.



그림 1. 광주서구문화센터 전경

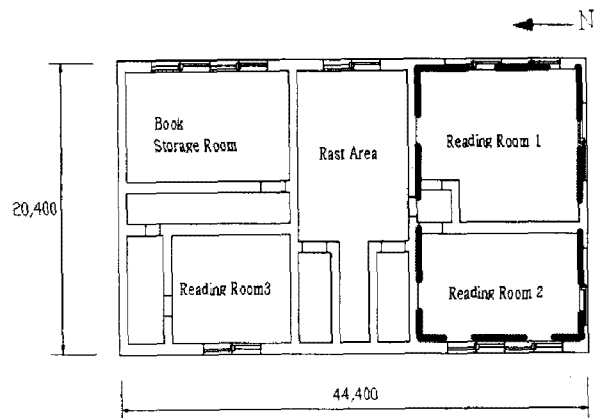


그림 2. 서구문화센터 3층 평면도

2.2 제어 및 모니터링

태양열 냉난방 및 급탕시스템은 진공관형 태양열 집열기에서 집열된 열이 축열조에 저장되어 흡수식 냉동기에 필요한 열원을 공급한다. 2005년부터 2007년까지 외기조건이 좋지 않은 흐린날의 경우 보조열원기기를 이용하여 흡수식 냉동기에 열원을 공급하였으나, 2007년 8월부터 보조 열원 기기를 사용하지 않고 중앙 냉난방 시스템과 연계하여 외기조건이 좋지 않은 날의 경우 열람실 내의 냉난방을 안정적으로 공급하고 있다.

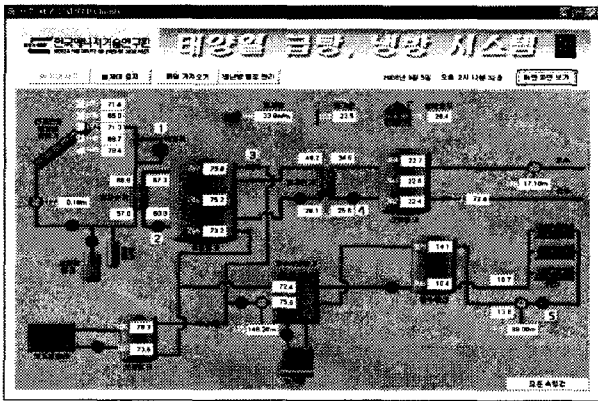


그림 3. 초기 모니터링 화면(보조열원 사용)

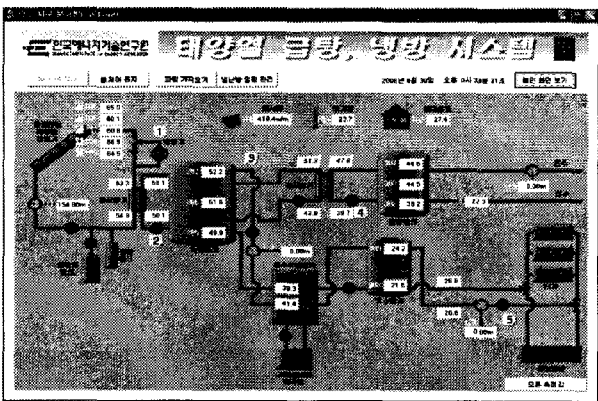


그림 4. 현재 모니터링 화면(중앙냉방 사용)

그림 3과 4는 보조열원이 사용된 태양열 냉난방 시스템과 중앙 냉방이 직접 연계된 태양열 냉방 시스템의 원격 모니터링 화면을 나타낸 것이다. 모니터링 시스템은 광주에서 약 180km 떨어진 대전의 한국에너지기술연구원에서 수행하고 있으며, 문제 발생 시 원

격 제어에 의해 제어조건 수정이 가능하도록 설계되었다.

3. 결과 분석 및 고찰

광주 서구문화센터에 설치된 태양열 냉방 및 급탕 실증 시스템은 건물의 냉방에너지를 절감하는 목적으로 설치되었다. 태양열을 이용하여 건물 내 3층에 위치한 열람실1, 2에 냉방을 공급하며, 냉난방에 사용되고 남은 잉여 열원은 급탕으로 전환되어 냉난방에 사용되는 에너지 절감과 동시에 태양열 시스템의 가장 큰 문제인 하절기 시스템 과열 문제를 해소하였다. 식당과 헬스장 같은 편의시설을 운영하고 있는 광주 서구문화센터의 경우 급탕 부하가 커 열량이 높은 유류보일러를 이용하여 급탕을 공급하고 있다. 그러나 국제 유가 상승의 영향으로 국내 유가도 동반 상승하여 유류보일러의 사용을 줄이는 대신 태양열을 이용한 급탕 공급을 시도 하였다. 태양열 냉방 및 급탕 시스템은 급탕 사용량이 많은 건물에서는 급탕 우선 냉방 운전 방식이 시스템적으로 가능하며, 서구 문화센터의 경우 급탕 사용량이 많아 급탕 우선 냉방 운전 방식도 에너지의 효율적 사용 측면에서 유용한 방법으로 예상되었다.

본 논문에서는 기존의 냉방 우선 제어 조건과 급탕 우선 공급 조건의 운전결과를 분석하여 태양열 냉방 및 급탕 시스템의 제어조건별 열성능을 분석하였다. 비교분석의 신뢰도를 높이기 위한 방법으로 평균일사량, 외기온도, 급탕 소비량 등 운전 조건이 매우 유사한 2007년 8월 16일의 데이터와 2008년 8월 7일의 데이터를 선정하여 일일 열성능을 비교 분석하였다. 사용된 일사량 및 획득량 데이터는 광주서구문화 센터에서 측정된 오전 8시부터 오후6시까지 데이터를 사용하였으며, 냉방데이터는 열람실 개장 시간인 오전 8시부터 오후 10시까지의 데이터를 사용하였다.

3.1 급탕 사용 패턴 분석

(1) 요일별 급탕 소비량

그림 5는 2008년 8월의 요일별 평균 급탕 소비량을 나타낸 것이다. 일요일의 평균 급탕 소비량이 가장 적고 수요일의 평균 급탕 소비량이 6.64 ton으로 가장 높게 나타났다.

(2) 시간별 급탕분포

그림 6은 2008년 8월의 시간별 급탕 소비량으로 일일 평균 급탕량의 0.6% 이하인 오후 10시부터 오전 6시까지의 8시간은 제외하였다. 오전 6시부터 오후 10까지의 시간별 급탕 소비량 중 오전 10시부터 오후 2시까지의 급탕 소비량은 전체 급탕 소비량의 59%를 차지하는 것으로 나타났으며, 식당에서 사용되는 급탕 부하로 나타났다.

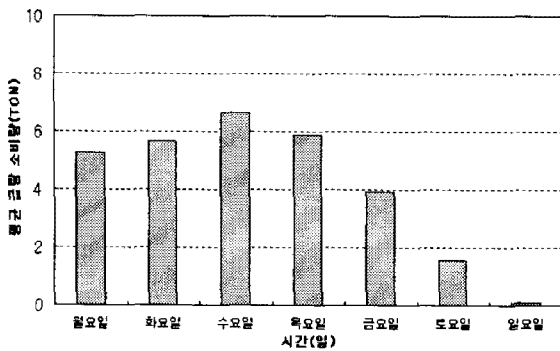


그림 5. 요일별 평균 급탕 소비량

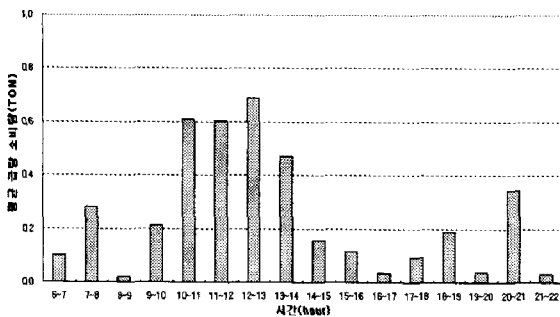


그림 6. 시간별 평균 급탕 소비량

3.2 운전 결과 및 분석

급탕 사용 패턴 분석을 통해 급탕 피크 부

하 시간인 오전 10시부터 오후 2시까지의 급탕 공급 시간을 고려하여 태양열을 이용한 급탕 축열조 예열시간을 오전 10시부터 오전 11시 30분까지 설정하고 급탕 축열조의 온도를 40℃ 이상 충분히 유지할 수 있도록 태양열 축열조 상단 온도가 45℃ 이상으로 높아질 경우 급탕으로 공급되고 축열조 중단 온도가 40℃ 이하로 낮아질 경우 급탕 공급을 중단하도록 설정하였다.

표 2는 2006년부터 2007년까지 운전된 냉방 우선공급 조건 A와 2008년부터 운전된 급탕 우선 공급 조건 B를 정리한 것이다.

표 2. 제어조건

		제어조건 A	제어조건 B
공조온도		실내온도 27℃ ON 실내온도 25.5℃ OFF	실내온도 27℃ ON 실내온도 25.5℃ OFF
	냉방공급	온도: 축열조(상)온도 83℃ ON 축열조(중)온도 78℃ OFF 시간: 오전 8시 - 오후 10시	온도: 축열조(상)온도 85℃ ON 축열조(중)온도 80℃ OFF 시간: 오전 8시 - 오후 10시
급탕공급	온도	축열조(상)온도 88℃ ON 축열조(중)온도 83℃ OFF	축열조(상)온도 45℃ ON 축열조(중)온도 40℃ OFF
	시간	오전 11시 - 오후 11시	오전 10시 - 오전 11시 30분

표 3. 일별 운전 조건

일	평균일사량(W/m ²)	총급탕소비량(ton)	평균실내온도(℃)	평균외기온도(℃)
2007. 8월 16일	500.55	4.7	26.5	31.6
2008. 8월 7일	496.42	4.8	26.1	31.2

(1) 냉방 및 급탕 운전 결과

제어조건 A와 B의 냉방 및 급탕 운전 결과를 비교분석하기 위해 운전 조건이 매우 유사한 날을 선정하였다. 표 3은 오전 8시부터 오후 6시까지의 평균일사량, 평균 외기 온도가 유사하게 기록된 날인 2007년 8월 16일과 2008년 8월 7일의 데이터를 나타낸 것이다. 2007년 8월 16일은 제어조건 A로 운전되었으며, 2008년 8월 7일은 제어조건 B로 운전되었다.

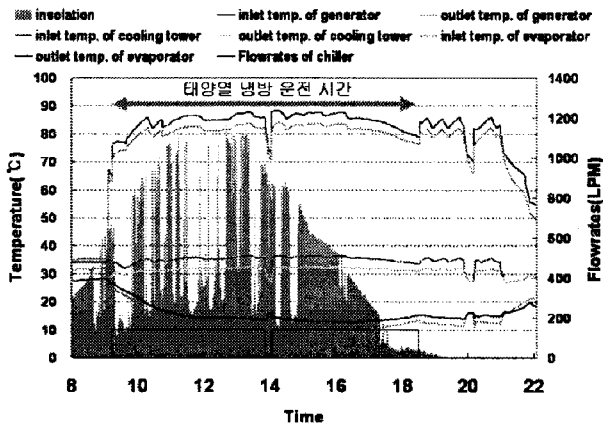


그림 7. 제어조건 A 냉동기 작동 그래프 (2007. 8. 16)

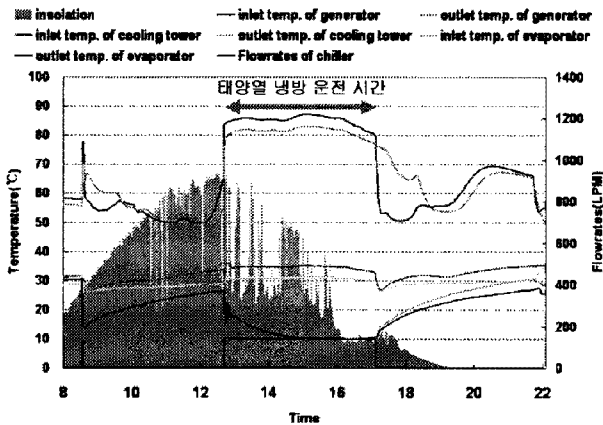


그림 8. 제어조건 B 냉동기 작동 그래프 (2008. 8. 7)

그림 7과 8은 제어조건 A와 B로 운전된 날의 냉동기 작동 그래프를 나타낸 것이다. 제어조건 A로 작동된 2007년 8월 16일의 경우 평균일사량이 500.55 W/m^2 로 나타났으며, 태양열을 이용하여 오전 9시 13분부터 오후 6시 30분까지 9시간 17분 동안 냉방이 운전된 것으로 나타났다. 제어조건 B로 작동된 2008년 8월 7일의 경우 평균일사량이 496.42 W/m^2 로 나타났으며, 태양열을 이용하여 오후 12시 40분부터 오후 5시 5분까지 4시간 25분 동안 냉방이 운전된 것으로 나타났다. 제어조건 B로 운전될 경우가 제어조건 A로 운전될 경우보다 태양열 냉방 공급이 늦게 시작되는 것을 알 수 있다. 이것은 제어조건 B가 오전에 급탕축열조를 예열시키도록 설정되

어 있어 축열조 온도가 냉방 공급 필요 온도까지 높아지는 시간이 지연되는 것으로 나타났다.

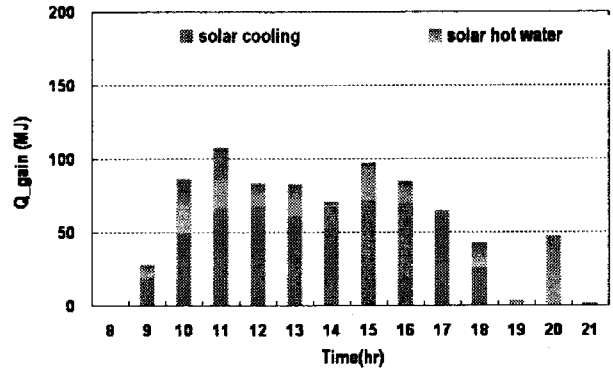


그림 9. 제어조건 A 냉방 및 급탕 열량 (2007. 8. 16)

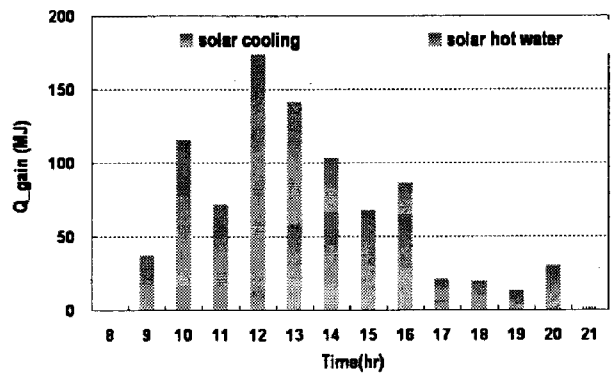
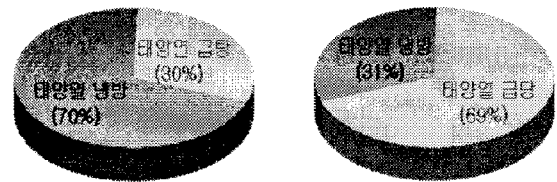


그림 10. 제어조건 B 냉방 및 급탕 열량 (2008. 8. 7)



제어조건 A 에너지 사용 비율

제어조건 B 에너지 사용 비율

그림 11. 제어조건 A와 B의 냉방 및 급탕 비율

(2) 냉방 및 급탕 열성능

그림 9와 그림 10은 제어조건 A와 B의 태양열 공급 열량을 나타낸 것이다. 제어조건 A로 운전된 2007년 8월 16일의 경우 냉방공급량은 559 MJ, 급탕공급량은 240 MJ로 총 799 MJ이 이용되었으며, 제어조건 B의 냉방

공급량은 277 MJ, 급탕공급량은 621 MJ로 총 898 MJ이 태양열로 이용되었다. 이는 제어조건 B의 경우 제어조건 A에 비해 태양열 냉방이 시작되는 시간이 늦은 반면 태양열로 예열되는 급탕량이 많았던 것으로 사료된다.

그림 11은 제어조건 A와 B의 냉방 및 급탕 비율을 나타낸 것이다. 제어조건 A의 에너지 사용 비율은 냉방 70%, 급탕 30%로 나타났으며 제어조건 B의 에너지 사용 비율은 냉방 31%, 급탕 69%로 나타났다.

5. 결론

태양열 냉방 및 급탕 시스템은 연계기술에 따라 제어시스템을 달리 할 수 있다. 태양열 시스템에서 보조 보일러를 사용하지 않고 중앙 냉방과 직접 연계하는 경우, 그리고 건물에서 급탕부하가 클 경우에 급탕을 우선 만족하면서 부분 냉방을 하는 방식도 시스템적으로 가능하다. 최근 고유가 시대를 맞이하여 2008년 7월부터 운전 되었던 급탕 우선 공급 제어 방식과 2007년 운전 되었던 냉방 우선 공급 제어방식의 운전 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 태양열 냉방 및 급탕 시스템이 운전되고 있는 광주서구문화센터의 급탕 소비량을 조사한 결과 일요일의 평균 급탕 소비량이 가장 적게 나타났으며, 수요일의 평균 급탕 소비량이 6.64 ton로 가장 높게 나타났다. 시간별 급탕 사용량을 조사한 결과 급탕 소비가 많은 피크시간은 10시부터 14시까지로 일일 평균 급탕 소비량의 59%를 차지하는 것으로 나타났다.
- (2) 제어조건 A와 B의 운전 성능을 비교하기 위해 일일 운전 결과를 분석한 결과 제어조건 A로 운전된 2007년 8월 16일의 경우 태양열을 이용하여 9시간동안 냉방 되는 것으로 나타났으며, 제어조건 B로 운전된 2008년 8월 7일의 경우 4시간동안 냉방 되는 것으로 나타났다. 제어조건 A

의 냉방 및 급탕 사용 비율은 냉방 70%, 급탕 30%로 나타났으며, 제어조건 B의 냉방 및 급탕 사용 비율은 냉방 31%, 급탕 69%로 나타났다.

- (3) 제어조건 A와 B의 태양열 이용 효율을 비교한 결과 제어조건 A의 경우 냉방공급량은 559 MJ, 급탕공급량은 240 MJ로 총 799 MJ이 이용되었으며, 제어조건 B의 냉방공급량은 277 MJ, 급탕공급량은 621 MJ로 총 898 MJ로 나타났다.
- (4) 태양열 냉방 및 급탕 시스템은 대상건물의 급탕 사용량이 많고 중앙냉방 시스템이 연계되어 있을 경우에는 급탕 우선 공급 방식으로 운전하는 것이 냉방우선 공급 방식으로 운전하는 것보다 태양열 이용측면에서 효율적일 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 광희열, 태양열 구동 흡수식 냉방 시스템 실증 한국태양에너지학회지 제5권 제3호, 2006.
2. 주홍진 외. "진공관형 집열기를 이용한 흡수식 냉방 시스템 실증연구", 대한설비공학회 추계학술 발표대회 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.