

# 태양열 냉·난방 및 급탕 시스템 열성능

곽희열\*, 주홍진\*\*, 이 호\*\*\*

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

## Evaluation of thermal performance for solar cooling and heating system

Kwak, Hee-Youl\*, Joo, Hong-Jin\*\*, Lee, Ho\*\*\*

\*Korea Institute of Energy Research(hykwak@kier.re.kr)

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Inha University(joo@inhaian.net)

\*\*\*Dept. of Architectural Eng, Jeon-ju University(kimsj@jj.ac.kr)

### Abstract

---

This paper presents demonstration study results derived through field testing of a solar assisted cooling and heating system for the library of a cultural center building located in Gwangju, Korea. The area of demanded cooling and heating for building was about 350m<sup>2</sup>. Solar hot water was delivered by means of a 200m<sup>2</sup> array of evacuated tubular solar collector (ETSC) to drive a single-effect (LiBr/H<sub>2</sub>O) absorption chiller of 10RT nominal cooling capacity.

From March in 2008 to February in 2009, demonstration test were performed for solar cooling and heating system. After experiments and analysis, this study found that solar thermal system was 84% for the solar hot water supply and 12% for space heating and 4% for space cooling.

Keywords : 진공관형 태양열집열기(Evacuated tubular solar collector), 태양열 난방 (Solar space heating system), 태양열 냉방 (Solar space cooling system), 태양열 온수급탕 (Solar hot water system)

---

### 1. 서 론

IEA 보고서에 의하면 전 세계적으로 인구 25위인 우리나라에서 연간 사용되는 에너지 소비량은 세계 11위, 이산화탄소 배출량은 세계 9위로 인구수 대비 에너지 사용량은 매우 높은 편에 해당한다. 국내에서 사용되는 에너지 소비량의 증가는 80년도에 대비하여 전

력소비는 8배, 도시가스 소비는 370배 폭증하였다. 이처럼 막대한 양의 에너지를 소비함에도 불구하고 사용되는 에너지의 96.8%를 전량 해외에 의존하고 있는 실정이다. 국내의 경우 가정·상업 분야에서 사용되는 에너지는 전체 에너지 소비량의 약 20.7%를 차지하고 있으며, 이 중 가정·상업 분야에서 냉방 및 난방에 사용되는 에너지 사용 비율

은 72%에 달하는 점을 감안할 때 건물에서 냉방 및 난방에 사용되는 에너지 절약은 매우 중요한 과제이다. 또한 우리나라의 경우 냉방에 사용되는 에너지는 대부분 전기에너지를 사용하고 있는 실정이며, 따라서 하절기의 전력 피크 부하 문제도 심화되고 있다. 게다가 지구 환경문제와 관련하여 기존의 냉방 시스템에 사용되어 왔던 CFC, HCFC 냉매 방출로 인한 오존층 파괴와 화석연료 사용으로 인한 지구 온난화 문제는 전 세계적으로 풀어야 할 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 이러한 에너지 절약, 전력수요 불균형 그리고 환경문제들의 해결의 일환으로 각 국에서는 에너지 절약기술과 아울러 친환경 신재생에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

신재생에너지원 중에서 비교적 적은 연구개발 비용과 짧은 연구개발 기간에 다양한 분야에 실용화가 가능한 자원중의 하나가 바로 태양열 분야이다. 현재 우리나라의 태양열 이용분야에서 보급이 가장 활성화된 분야는 평판형 태양열 집열기를 이용한 가정용 온수급탕 시스템이다. 그러나 앞서 언급한 우리나라의 에너지 수급문제를 고려해 볼 때, 태양열 이용분야는 가정에서 사용되는 온수급탕뿐만 아니라 건물의 냉방 및 난방 분야에 더욱 많은 활용이 필요하다. 이러한 문제의 일환으로 한국에너지기술연구원에서는 단일 진공관형 집열기를 이용한 태양열 냉·난방 시스템을 제안하였으며 2005년부터 현재까지 약 4년간의 걸쳐 태양열 냉·난방 시스템이 광주 서구문화센터에서 운전되고 있다.

따라서 본 연구에서는 2008년 3월부터 2009년 2월까지 공공 문화기반시설인 광주서구문화센터 열람실 1, 2에 동절기에는 난방 시스템, 하절기에는 냉방 시스템을 독립적으로 운영하고 있는 태양열 냉·난방 시스템의 연간 난방, 냉방 및 급탕 열성능에 대하여 정량적으로 기술 하였다.

## 2. 태양열 냉·난방 시스템

### 2.1 대상건물

표 1은 서구문화센터의 일평균 사용인원 및 급탕 사용량을 나타낸 것이다. 표에서 보듯이 서구문화센터는 유동 인구가 많고 여러 가지 편의 시설에 필요한 온수사용량 및 냉난방용량이 크게 요구된다. 따라서 이에 본 실증연구에서는 3층 열람실 1, 2(그림 2, 음영부분)에 냉난방을 공급하기 위한 태양열 냉방(흡수식 10RT급, 127MJ/h) 및 난방 시스템을 설계 및 설치하였다.

표. 1. 대상 건물

구분	설계치
규모	열람실1, 열람실2
연면적	350m <sup>2</sup> , (100평)
일평균 사용인원	120~130명
최대 사용인원	열람실1(168명), 열람실2(132명)
서구문화센터 일평균 급탕사용량	9,200L/일

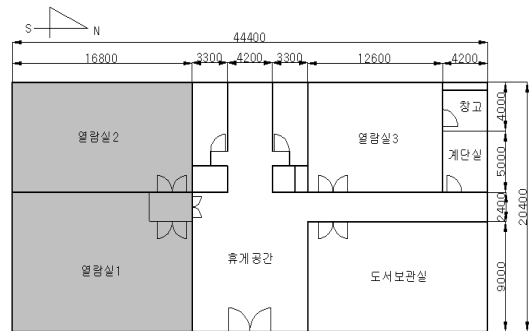


그림 1. 서구문화센터 3층 평면도

### 2.2 실증시스템 개요

표2는 태양열 냉난방 시스템의 구성 목록을 나타낸 표이다. 표에서 보는 바와 같이 태양열 냉·난방 시스템의 구성은 흡수식 냉동기, 냉수탱크, 냉각탑, 태양열 집열기, 축열탱

크, 급탕탱크와 보조 온수탱크 등으로 구성되었다.

태양열 냉·난방 시스템을 위해 단일 진공관형 집열기 107모듈 1070튜브로 집열면적 약 200m<sup>2</sup>가 설치되었고, 그중 37모듈, 370튜브는 경사각 25°, 70모듈 700튜브는 경사각 20°로 설치되었다. 국내 최초로 연구 개발된 진공관형 태양열 집열기를 이용하여 에너지 수요가 큰 건물의 냉·난방 분야에 태양열을 적용하여 신뢰성, 유효성 및 안전성을 확보하였다. 광주서구문화센터에 설치된 태양열 시스템은 진공관형 집열기를 통해 획득한 에너지를 판형열교환기를 통해 축열조에 저장하고 축열조에 저장된 열을 난방 사용시에는 축열조에 저장된 열을 열람실내에 위치한 팬코일 유닛으로 공급하며, 냉방시에는 축열조로부터 흡수식 냉동기에 열원이 공급되어 흡수식 냉동기에 의해서 만들어진 냉수를 열람실 내에 위치한 팬코일 유닛으로 공급하는 시스템으로 구성되어졌다.



그림 2. 진공관형 집열기 설치 전경

급탕 냉방 및 난방을 가동하지 않는 봄철 및 가을철에는 획득한 태양에너지는 서구문화센터에서 사용되는 급탕에너지에 모두 사용된다. 또한 난방 및 냉방에 태양에너지가 공급되고 남은 잉여열원 또한 급탕에너지로 전환되도록 설계하였다.

광주서구문화센터에 설치된 태양열 냉·난방 시스템은 기존의 건물에서 사용되는 중앙공급식 냉·난방 시스템과 연계하여 일사량이 충분하지 못한 날은 기존의 냉·난방 시스템으로 가동된다.

표 2. 태양열 냉·난방 시스템 사양

Items	수량	형식	명칭	용량	비고
집열기	107 Module	히트 파이프식	진공관형 집열기	Aperture Area 200m <sup>2</sup>	급탕, 냉/난방용
탱크 류	1	원통입형	Solar Storage TANK	6,000 ℓ	태양열 축열조
	1	원통입형	Hot Water TANK	3,000 ℓ	온수 축열조
	1	원통입형	Cool water storage	2,000 ℓ	냉수탱크
냉동기	1	일중효용 흡수식	WFC-SC10	10RT	냉방용
냉각탑	1	원형	Cooling tower	30RT	냉방용

### 2.3 원격제어 및 모니터링

그림 3은 태양열 냉난방 시스템의 원격 모니터링 화면을 나타낸 것이다. 모니터링 시스템은 광주에서 약 180km 떨어진 대전의 한국에너지기술연구원에서 수행하고 있으며, 문제 발생 시 원격 제어에 의해 제어조건 수정이 가능하도록 설계되었다.

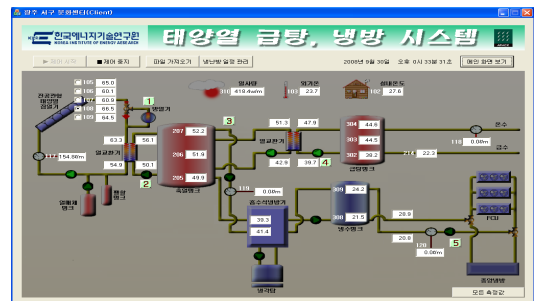


그림 3. 태양열 냉·난방 모니터링 화면

### 3. 결과 및 고찰

광주 서구문화센터에 설치된 태양열 냉난방 시스템은 하절기 냉방, 동절기 난방 및 급탕 모드로 운전된다. 본 논문에서는 2008년 3월부터 2009년 2월까지 냉방, 난방 및 급탕에 공급된 태양에너지 사용량을 정량적으로 기술하였다.

#### 3.1 연간 태양열 냉·난방 및 급탕 성능

그림 4는 2008년 3월부터 2009년 2월까지 광주서구문화센터에서 측정된 일사량, 집열기 획득량 및 집열효율을 나타낸 것이다. 본 논문에 사용된 일사량 값은 태양열 냉·난방 시스템이 가동된 날에 대한 평균치이며 태양열 시스템이 가동되지 않은 날의 일사량 값은 포함하지 않았다. 11월부터 2월까지는 집열효율이 비교적 낮게 나타나는 것은 집열기의 설치 경사각이 앞서 언급한 바와 같이 20°, 25°로 동절기의 경우 태양 고도각이 낮아 비교적 집열 효율이 적게 나타나는 반면 태양 고도각이 높은 하절기의 경우 동절기에 비하여 상대적으로 집열효율이 높은 것을 알 수 있다. 2008년 3월부터 2009년 2월까지 광주서구문화센터에서 측정된 일평균 일사량 값은 472 W/m<sup>2</sup>으로 측정되었으며, 태양열 냉·난방 시스템에 사용된 진공관형 집열기의 일평균 집열 효율은 40%로 분석되었다.

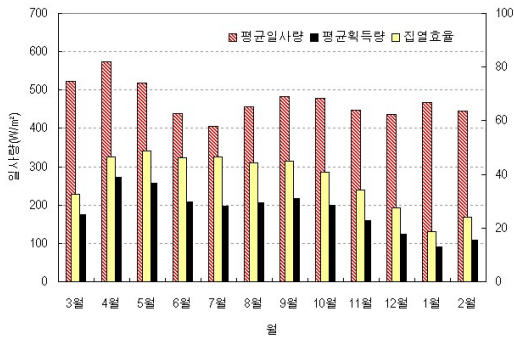


그림 4. 일사량 및 집열 효율 -

그림 5는 2008년 3월부터 2009년 2월까지 태양열 냉·난방 및 급탕에 사용된 태양열 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 태양열 냉·난방 시스템이 설치된 광주서구문화센터는 시민들이 공용으로 사용하는 복지 시설로 식당과 헬스장 같은 편의시설을 운영하고 있어 급탕 부하가 매우 높은 특징이 있다. 이처럼 많은 양의 급탕 부하를 에너지 사용량이 높은 유류보일러를 이용하여 급탕을 공급하여 왔으나 국제 유가 상승의 영향으로 국내 유가도 동반 상승하여 유류보일러의 사용을 줄일 수 있는 대안으로 기존의 냉·난방 우선 조건을 급탕 우선 조건으로 변경하였다. 따라서 그림에서와 보는 바와 같이 연간 태양에너지 사용 패턴이 냉·난방 보다는 급탕에 공급된 에너지가 매우 많은 것을 알 수 있다. 급탕 우선 방식은 급탕 부하에 최우선으로 태양에너지를 공급하며 급탕에 공급되고 남은 잉여열원을 냉·난방에 사용되는 방식이다. 이러한 제어 방식은 급탕 사용량이 많은 건물에서 태양열 시스템을 사용할 경우 태양에너지의 효율적 사용 측면에서는 가장 유용한 방법이다.

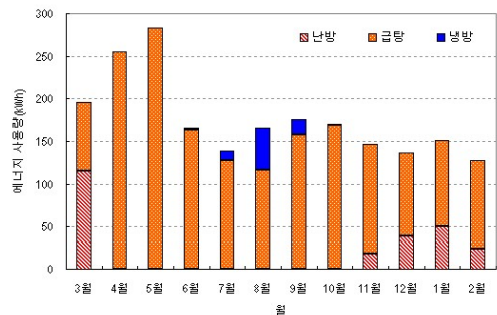


그림 5. 월별 에너지 사용량

2008년 3월부터 2009년 2월까지 급탕에 공급된 태양에너지는 일일평균 약 149kWh로 분석되었으며, 동절기 난방에 공급된 태양에너지는 일일평균 약 49kWh, 하절기 냉방에 공급된 태양에너지는 일일평균 26kWh로 나타났다. 따라서 연간 태양에너지 사용량의

경우 급탕에너지에 공급된 양이 총 태양에너지로부터 공급한 양의 약 84%로 분석되었다. 또한 난방에 공급된 태양에너지는 12%, 냉방에 공급된 태양에너지는 4%로 나타났다.

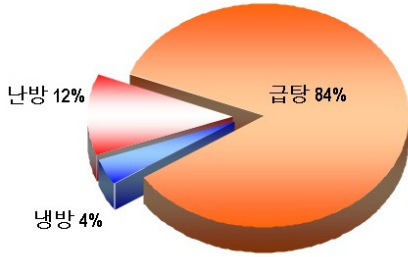


그림 6. 에너지 사용 분포

### 3.2 일별 태양열 냉방 및 급탕 성능

그림 8은 하절기인 2008년 8월 6일의 냉동기 작동상태를 나타낸 것이다. 평균 일사량이 610.07 W/m<sup>2</sup>으로 나타났으며, 오전 12시 5분부터 오후 6시까지 약 6시간 동안 흡수식 냉동기가 실온에 따라 간헐적으로 작동하는 것을 알 수 있다.

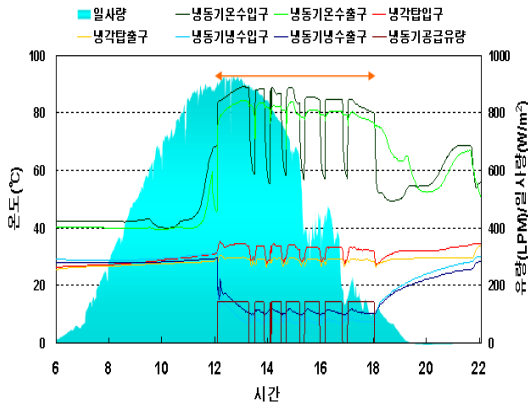


그림 7. 2008년 8월 6일 흡수식냉동기 작동상태

그림 8은 2008년 8월 6일의 냉방 및 급탕에너지 사용량을 나타낸 것이다. 태양열 냉·난방 시스템이 설치되어 있는 서구문화센터의 특성상 급탕 사용량이 많은 오전 10시부터 14시까지 식당에서 필요한 급탕을 우선적

으로 공급하며 급탕에 공급되고 남은 잉여열 원만이 냉방에 사용된다. 따라서 태양열 냉방시간의 경우 오전 12시부터 약 6시간동안 냉방이 가동되는 것을 알 수 있다. 2008년 8월 6일 냉방과 급탕에 사용된 열량은 각각 태양열 냉방이 99.05 kWh, 태양열 급탕이 173.55 kWh로 나타났다.

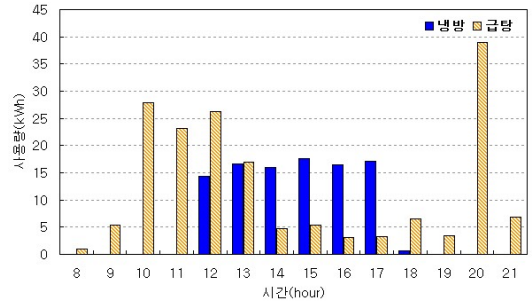


그림 8. 2008년 8월 6일 냉방 및 급탕 사용량

### 3.2 일별 태양열 난방 및 급탕 성능

그림 9는 동절기인 2008년 12월 1일의 축열조 온도 분포 및 급탕 사용량을 나타낸 것이다. 축열조의 온도를 보면 일사량이 비교적 적은 오전 8시에도 축열조의 온도가 60°C 이상으로 유지된 것을 알 수 있다. 이는 전날의 축열조의 온도가 높게 유지되어 있어 일사량이 적은 오전 시간에도 축열조의 온도가 높게 유지되는 것이다.

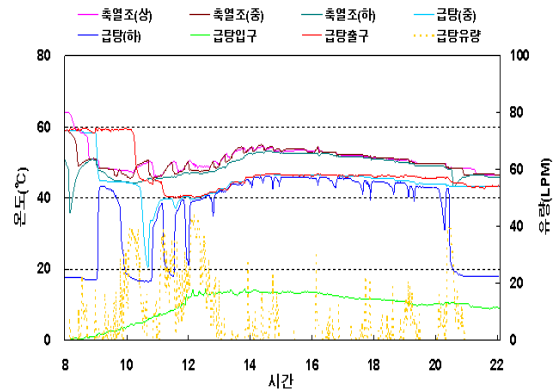


그림 9. 2008년 12월 1일 축열조 온도분포 및 급탕유량

그림 10은 2008년 12월 1일의 난방 및 급탕 사용량을 나타낸 것이다. 평균일사량이 504.15 W/m<sup>2</sup>으로 측정되었다. 난방 사용시간의 경우 오전 8시부터 오후 5시까지 약 9시간 동안 급탕을 충족시키면서 연속적으로 난방이 공급된 것을 알 수 있다. 일사량이 비교적 적은 오전 시간에도 태양열 난방이 가동된 것은 앞에서 언급했듯이 전날의 영향을 받아 오전시간에 축열조의 온도가 높게 유지되었기 때문이다. 이날 난방과 급탕에 사용된 열량은 각각 161.99 kWh, 240.46 kWh로 나타났다.

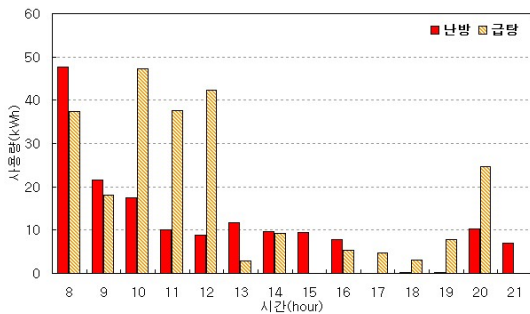


그림 10. 2008년 12월 1일 난방 및 급탕 사용량

## 5. 결론

국내 처음으로 광주 서구문화센터에 설치된 태양열 급탕 및 냉난방 실증시스템을 운전을 통해 2008년 3월부터 2009년 2월까지 연간 태양열 냉방, 난방 및 급탕 열성능에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 2008년 3월부터 2009년 2월까지 광주서구 문화센터에서 측정된 일평균 일사량 값은 472 W/m<sup>2</sup>으로 측정되었으며, 태양열 냉·난방 시스템에 사용된 진공관형 집열기의 일일 평균 집열 효율은 40%로 분석되었다.
- (2) 태양에너지 냉·난방 시스템에서 사용된 연간 태양에너지 사용량의 경우 급탕에너지에 공급된 양이 총 태양에너지로부터 공급한 양의 약 84%, 난방 12%, 냉방에

공급된 태양에너지는 4%로 나타났다.

- (3) 태양열 냉·난방 시스템이 설치된 광주 서구문화센터의 특성상 급탕부하가 매우 많아 기존의 냉·난방 우선 조건보다는 급탕 우선 조건으로 변경하였다. 이러한 제어 방식은 급탕 사용량이 많은 건물에서 태양에너지의 효율적 사용 측면에서는 가장 유용한 방법이다.

## 참 고 문 헌

1. H.Y. Kwak, C.Y. Choi, "Heating & cooling load estimations for solar thermal driven air conditioning building", WCWRF
2. 주홍진 외. "진공관형 집열기를 이용한 흡수식냉방 시스템 실증연구", 대한설비공학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 61-66, 2006.
3. 광희열 외 "태양열 시스템의 제어조건에 따른 난방 및 급탕 실증연구", 한국태양에너지학회 논문집, pp. 119-126 v.26, n.4, 2006.
4. 이호 외 "태양열 냉방 및 급탕 시스템의 제어 조건에 따른 열성능", 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, pp. 214-219, 2008