

태양열 실증시스템의 진공관형 태양열 집열기 장기 열성능

이 호*, 주홍진**, 윤응상***김상진**** 곽희열*****

*전주대학교 대학원 건축공학과(hlee@jj.ac.kr), **한국에너지기술연구원(joo@inhaian.net)

한국에너지기술연구원(yoon@kier.re.kr),*전주대학교 건축공학과(kimsj@jj.ac.kr)

*****한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

Long-term thermal performance of evacuated tubular solar collector for demonstration system

Lee, Ho*, Joo, Hong-Jin**, Yoon, Eung-Sang, Kim Sang-Jin****, Kwak, Hee-Youl*****

*Dept. of Architecture, Graduate School, Jeon-ju University(hlee@jj.ac.kr),

**Korea institute of energy research (joo@inhaian.net)

***Korea institute of energy research (yoon@kier.re.kr)

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

*****Korea institute of energy research (hykwak@kier.re.kr)

Abstract

This paper presents demonstration study results derived through field testing of a part load solar energized cooling system for the library of a cultural center building located in Gwangju, Korea. First operating demonstration system was set up in Gwangju in 2005. These system comprises the 200m² evacuated tubular solar collector, a 6m³ heat storage tank.

In a 2006, daily average of insolation showed about 506W/m², the solar collector efficiency was 44%. In a 2007, daily average of insolation showed about 507W/m², the solar collector efficiency was 42%. As a result, evacuated tubular solar collector kept the high efficiency for two years.

Keywords : 진공관형 태양열 집열기 (evacuated tubular solar collector), 태양열 냉방 (solar cooling), 집열 효율 (collector efficiency), 태양열 난방 (solar space heating)

기 호 설 명

T_i : 집열기 입구온도 (°C)

T_o : 집열기 출구온도 (°C)

I_t : 집열면 총 일사량 (W/m²)

A_c : 집열면적 (m²)

\dot{m} : 공급유량 (ℓ/min)

1. 서론

무한한 에너지원이며, 청정한 에너지원인 태양열에너지는 미래의 에너지 자원으로써 각광받고 있으며 태양열 에너지의 보급과 발전 사업은 지속적으로 이루어지고 있다. 기존의 화석연료 사용은 한정된 양을 점차 고갈시키고 있으며, 유가상승을 야기 시켜 전 세계의 경제에 큰 영향을 끼치고 있는 실정이다. 또한 지구온난화가 가속되면서 환경에 대한 관심이 대두되고 CO₂ 절감과 화석연료를 대체할 지속가능한 에너지 개발의 필요성은 세계적으로 공통된 연구과제로 인식되고 있으며, 이러한 조건에 부합되는 대체에너지원에 하나로 태양에너지를 고려 할 수 있다.

현재 우리나라의 태양열 이용분야에서 보급이 가장 활성화된 분야는 평판형 태양열 집열기를 이용한 가정용 온수급탕 시스템이다. 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은 온도에서 높은 효율을 유지하고, 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있으나, 60℃ 이상의 열원을 요구하는 건물의 난방, 냉방 및 산업공정열의 이용으로는 효율 적이지 못하다.

우리나라의 경우 전체 에너지사용량의 97%를 수입하는 에너지 수급문제를 고려해 볼 때, 대체에너지로서 태양에너지 수요는 온수급탕보다는 건물의 냉·난방 및 산업공정열 분야가 훨씬 크다. 따라서 고효율 중온용 태양열 집열기술의 개발 및 실용화 연구를 통해 한국에너지기술연구원에서 국내 최초로 개발된 단일 진공관형 집열기를 이용한 태양열 냉난방시스템의 실증 시스템이 현재 광주 서구문화센터에서 운전 중이다.

본 연구에서는 지난 2006년 1월부터 현재까지 광주 서구문화센터에서 수행된, 태양열 냉·난방 시스템 실증시험의 평균일사량 및 획득량 데이터를 2년간 측정 하였으며, 이를 토대로 우리나라 환경에 적합하고, 온수급탕 뿐만 아니라 건물의 냉난방 및 산업 공정열 적용이 가능한 중온용 고효율 진공관형 집열

기의 장기 열성능 결과를 분석하였다.

2. 진공관형 태양열 집열기

진공관형 태양열 집열기는 유리관, 집열판, 히트파이프로 이루어져 있으며, 요소 기술 및 태양으로부터 유용에너지를 얻는 과정은 다음과 같다.

태양일사는 진공이 유지되는 유리관(Evacuated tube, House Keeper Sealing, Getter)내의 집열판으로 조사되어 집열판(Titanium Selective Coating)에 부착된 히트파이프(Heat Pipe)로 흡수된 에너지를 전달한다. 히트 파이프 내의 작동유체의 상변화를 통해 집열기 상부(응축부)로 증기가 상승하여 Manifold에서 작동매체와 열교환을 통해 유용에너지를 얻는다.

그림 1은 집열기 종류에 따른 일반적인 효율곡선을 나타낸 것이다. 평판형 집열기는 비교적 낮은 온도영역에서 효율이 높으나 60℃ 이상의 온도 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℃ 이상의 온도영역에서 높은 효율을 나타낸다.

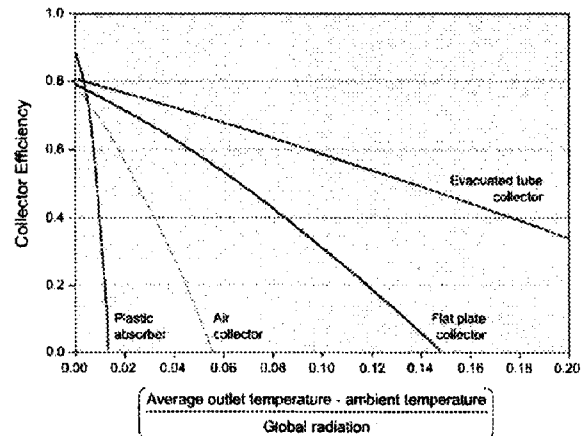


그림 1. 집열기 효율 곡선

2. 태양열 실증 시스템

2.1 실증시스템

그림 2는 광주 서구문화 센터에 설치된 진공관형 집열기 전경을 나타내는 사진이다. “태양열 냉·난방/급탕 시스템”을 위해 집열기 107모듈 1070튜브로 약 200m²가 설치하였고, 그중 37모듈, 370튜브는 경사각 25°로 설치하였고 70모듈 700튜브는 경사각 20°로 설치되었다. 국내 최초로 연구 개발된 진공관형 태양열 집열기를 이용하여 에너지 수요가 큰 건물의 냉·난방 분야에 적용하여 신뢰성, 유효성 및 안전성을 확보하고자, 실증연구를 2005년 9월부터 수행하였다. 광주서구문화센터에 설치된 태양열 시스템은 진공관형 집열기를 통해 획득한 열량을 판형열교환기를 통해 축열조에 저장하고 축열조에 저장된 열을 냉·난방 및 급탕에 사용하는 시스템이다. 그림 3은 태양열 냉난방 시스템의 계통도를 나타낸 그림이다.

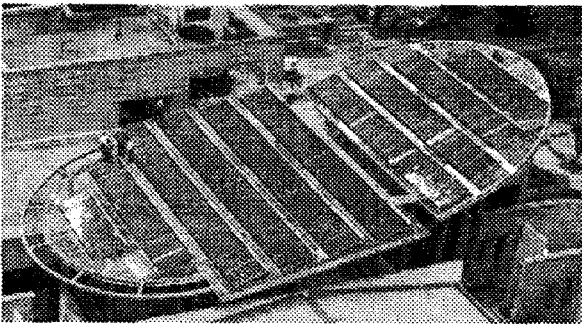


그림 2. 진공관형 집열기 설치 전경

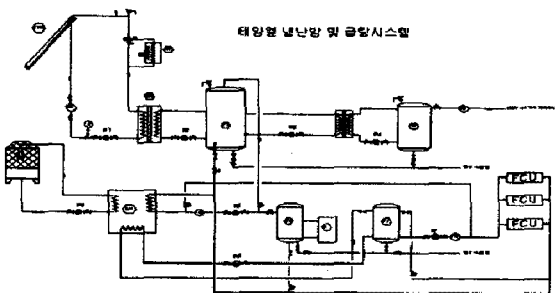


그림 3. 태양열 냉·난방 및 급탕시스템 계통도

2.2 작동조건

표 1은 태양열 냉난방 시스템에서 집열부 제어조건을 나타낸 것이다. 집열기 최상부에 설치된 온도 센서를 통해 과열방지 시스템을 작동 시키는 조건과 축열조 하부의 온도센서와 집열기 최상부 온도를 측정하여 집열펌프 ON/OFF를 제어하는 조건을 가지고 있다. 집열기 최상부 온도가 115℃ 이상 올라갈 경우 집열기 과열방지 방열기를 작동시켜 열을 방출하고 105℃ 이하일 경우 방열기를 OFF시키고 집열기 최상부 온도가 축열조 하부온도 + 7℃ 이상 높아지면 집열 순환 펌프가 작동되고 집열기 최상부 온도가 축열조 하부온도 + 3℃보다 낮아지면 OFF된다.

표 1. 제어조건

제어조건	설정 값
방열기작동 온도	집열기 상부 115℃ ≥ ON 집열기 상부 105℃ ≤ OFF
집열순환 펌프작동 온도	축열조 하부 + 7℃ ≤ ON 축열조 하부 + 3℃ ≥ OFF

3. 결과분석

태양열 냉·난방 시스템의 실증연구를 위해 광주 서구문화센터에 설치된 진공관형 집열기의 장기 열성능을 분석하기 위해 2006년 1월부터 2007년 12월까지 측정된 일사량, 획득량 및 집열효율 데이터를 분석하였다. 열성능 분석 평가는 오전 9시부터 오후 5시까지의 데이터를 사용하였다. 일사량 데이터를 오전 9시부터 5시까지 사용한 것은 태양으로부터 집열기에 떨어지는 유효한 일사량만을 기준으로 사용하였으며, 또한 일사량이 없는 우천 시나 일사량이 일일 평균 300W/m² 이하인 날들에 대해서는 본 연구에서는 배제하였다.

데이터 분석은 원격 모니터링을 통해서 대전에 위치한 한국에너지기술연구원에서 분석하였으며, 분석방법으로 시스템 효율(η)은 다음 식(1)과 같이 구할 수 있으며, 열 획득량

(Qgain)은 아래 식(2)과 같이 계산 되었다.

$$\eta = \frac{\int Q_{gain} dt}{A_c \int I_T dt} \quad (1)$$

$$Q_{gain} = \dot{m}(T_o - T_i) \quad (2)$$

3.1 계절별 특정일 일일 분석

그림 4는 계절별 태양의 고도를 나타내는 그림이다. 수평면의 경우 태양고도가 가장 높은 하지에 일사 획득에 유리하고 동지로 갈수록 태양고도가 낮아져 집열효율이 낮게 나타난다.

표 2는 광주의 위치인 위도 35.1°상의 계절별 태양의 남중고도를 나타낸 것이다. 광주는 위치적으로 남부지역에 위치하고 있어 우리나라 평균 태양고도(38°)보다 태양 고도가 높은 것으로 나타났다.

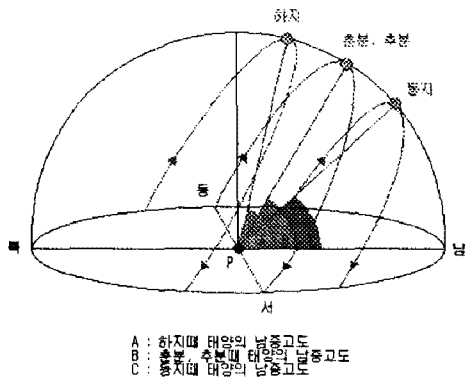


그림 8 계절별 태양의 고도

표 2. 광주지역의 태양의 남중고도(위도 35.1°)

날짜	3월 20일	6월 21일	9월 23일	12월 21일
절기	춘분	하지	추분	동지
고도각	54.9°	78.4°	54.9°	31.4°

그림 5는 2006년과 2007년의 각 계절별 특정일의 일일 평균일사량, 획득량, 집열효율 및 외기온도를 나타내는 그래프이다. 일사량 및 집열 각도가 비슷한 날의 일일 집열효율을 비교한 결과 2007년의 집열효율과 2006년의

집열효율이 유사하게 나타났으며, 진공관형 집열기 성능의 저하없이 안정적으로 유지되고 있는 것으로 나타났다.

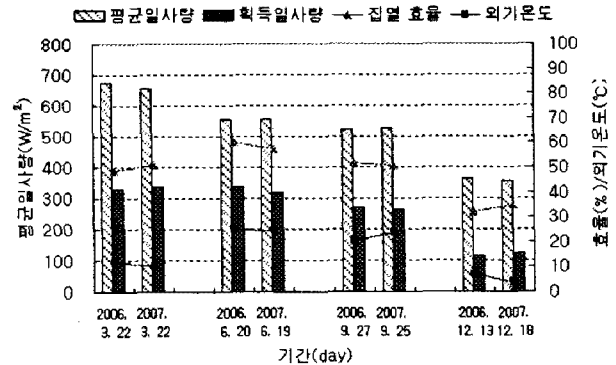


그림 9. 계절별 특정일 일일 평균일사량 및 획득량
2006년 6월 20일과 2007년 6월 19일의 집열효율이 평균일사량에 비해 높게 나타나고 2006년 12월 13일과 2007년 12월 18일의 집열효율이 낮게 나타난 것은 태양의 고도각이 여름철엔 높고 겨울철엔 낮기 때문에 서구문화센터에 설치된 진공관형 집열기의 설치 경사각(20°, 25°)에 의해서 태양의 고도각이 높은 여름철의 경우 집열 효율은 높게 나타나고 고도각이 낮은 겨울철에 경우 집열효율은 비교적 낮게 나타났다.

3.2 월별 분석

그림 6은 2006년과 2007년 봄철(3월-5월)의 월별 일일 평균일사량과 획득량을 나타낸 그래프이

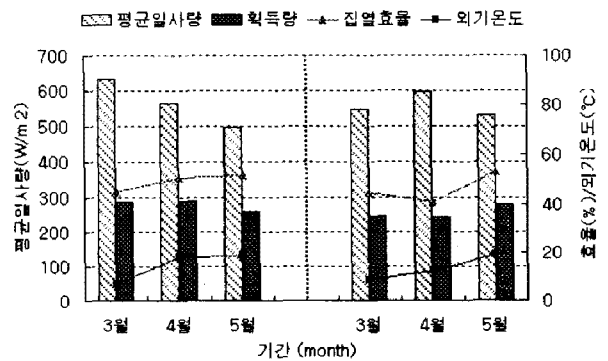


그림 11. 봄철월별 평균일사량 및 획득량

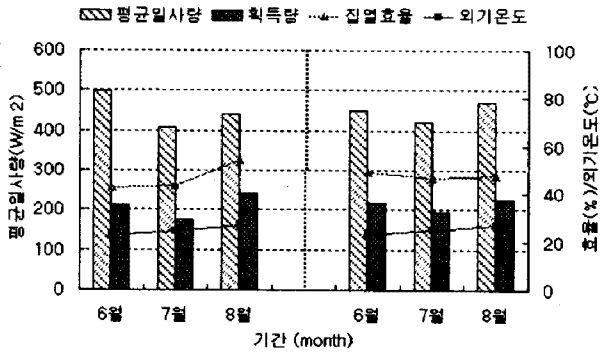


그림 12. 여름철 월별 평균일사량 및 획득량

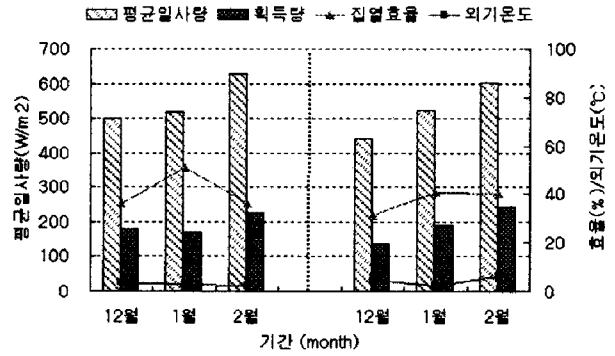


그림 14. 겨울철 월별 평균일사량 및 획득량

다. 2006년 봄철의 일일 평균 일사량은 565 W/m², 획득량은 일일 평균 276 W/m²로 집열 효율은 49%로 나타났으며, 2007년 봄철의 일일 평균일사량은 558W/m², 일일 평균 획득량은 256W/m²로 집열효율은 46%로 나타났다. 봄철의 경우 일일 평균 일사량이 500W/m² - 600W/m²의 조건에서는 약 47.5%의 집열효율을 보이는 것으로 나타났다.

그림 7은 2006년과 2007년 여름철(6월-8월)의 월별 일일 평균일사량과 획득량을 나타낸 그래프이다. 2006년 여름철의 일일 평균일사량은 450W/m², 일일 평균 획득량은 210W/m²로 집열효율 47%로 나타났으며, 2007년 여름철 일일 평균일사량은 447W/m², 일일 평균 획득량은 213W/m²로 집열효율은 48%로 나타났다. 여름철의 경우 일일 평균 일사량이 400W/m² - 500W/m²의 조건에서는 약 47.5%의 집열효율을 보이는 것으로 나타났다.

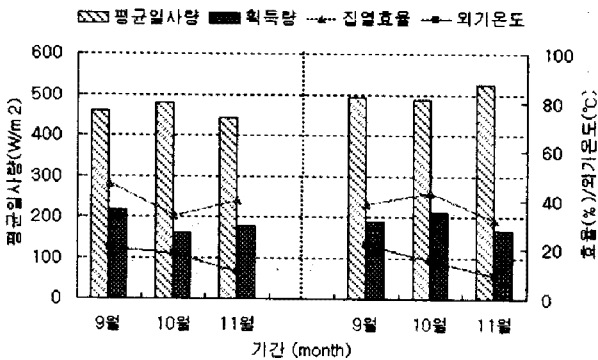


그림 13. 가을철 월별 평균일사량 및 획득량

봄철에 비해 평균일사량이 낮은데도 불구하고 집열효율이 상대적으로 높게 나타난 것은 앞에서 언급 했듯이 광주 서구문화센터에 설치된 진공관형 집열기의 설치각도를 하절기 냉방 사용을 위해 20°와 25°로 설치하여 광주의 하절기 태양고도가 78.4°(하지기준)에 위치함으로 인해 집열면에 수직으로 일사되는 시간이 길어 집열효율이 높은 것으로 사료된다.

그림 7은 2006년과 2007년의 가을철(9월-11월)의 월별 일일 평균 일사량과 획득량을 나타낸 그래프이다. 2006년 가을철의 일일 평균일사량은 460W/m², 일일 평균 획득량은 185W/m²로 집열효율은 40%로 나타났으며, 2007년 가을철의 일일 평균 일사량은 501W/m², 일일 평균 획득량은 189W/m²로 집열효율은 38%로 나타났다. 가을철 일일 평균 일사량이 400W/m² - 500W/m²의 조건에서는 약 39%의 집열효율을 나타내는 것으로 분석되었다.

그림 8은 2006년과 2007년의 겨울철(12월-2월) 월별 일일 평균 일사량과 일일 평균 획득량을 나타낸 그래프이다. 2006년 겨울철의 일일 평균 일사량은 549W/m², 일일 평균 획득량은 192W/m², 집열효율은 41%로 나타났으며, 2007년 겨울철의 일일 평균 일사량은 523W/m², 일일 평균 획득량은 190W/m²로 집열효율은 37%로 나타났다. 겨울철의 일일 평균 일사량이 400W/m²-600W/m²의 조건에서는 집열효율이 39%로 나타나는 것으로 분석되었다. 가을철에 비해 평균일사량이 높은

태도 불구하고 집열효율이 상대적으로 낮게 나타난 것은 진공관형 집열기의 설치각도가 낮아 동절기 태양고도가 31.4°(동지기준)에 위치함으로 인해 집열면과 수직으로 일사되는 시간이 짧아 집열효율이 낮게 나타난 것으로 사료된다.

3.3 연간 분석

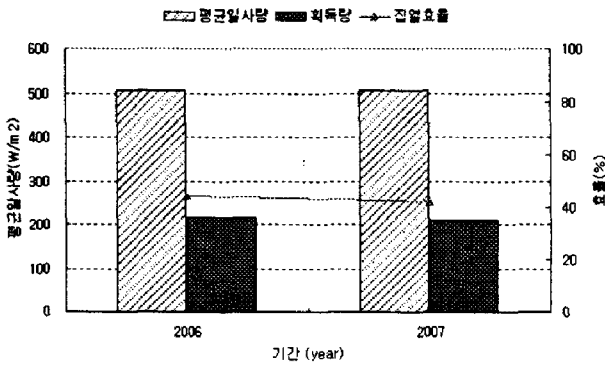


그림 16. 연간 평균 일사량 및 획득량

그림 10은 2006년과 2007년의 평균 일사량, 평균 획득량 및 집열효율을 나타낸 그래프이다. 2006년 연평균 일사량은 506W/m², 연평균 획득량은 216W/m²로 집열효율은 44%로 나타났으며, 2007년 연평균 일사량은 507W/m², 연평균 획득량은 212W/m²로 집열효율은 42%로 분석되었다.

2006년과 2007년의 연평균 일사량, 연평균 획득량 및 집열효율은 큰 차이를 보이지 않았으며, 연평균 일사량 500W/m² 이상의 조건에서는 약 43%의 집열효율을 보이는 것으로 나타났다.

결과적으로 진공관형 집열기의 연간 열성능은 월별 평균 43%로 태양열 냉·난방 시스템의 열원을 공급하는데 있어서 매우 안정적으로 작동되며, 장기간에 걸쳐서 성능에 큰 저하 없이 높은 집열효율을 유지하는 것으로 나타났다.

4. 결론

국내 처음으로 연구 개발된 진공관형 집열기

는 태양열 냉·난방 시스템이 실증되고 있는 광주 서구문화센터에 적용하였다. 진공관형 집열기의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위해 2년(2006 - 2007)동안 실증시험 결과를 분석하였다.

(1) 계절별 특정일 집열성능을 분석한 결과 진공관형 집열기는 외기온도의 영향을 받지 않고 집열기 설치 경사각에 따라 집열효율에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(2) 2006년과 2007년의 월별 집열성능을 분석한 결과 봄철의 일일 평균 일사량이 500W/m² - 600W/m²일 경우 집열효율은 42% - 50%이며, 여름철의 일일 평균 일사량이 400W/m² - 500W/m²일 경우 집열효율은 45% - 52%로 분석되었다. 가을철 평균 일일 일사량이 400W/m² - 500W/m²일 경우 집열효율은 39% - 49%로 나타났으며, 겨울철의 일일 평균 일사량이 400W/m² - 600W/m²일 경우 32% - 45%로 분석되었다.

(2) 연간 집열성능을 분석한 결과, 2006년 연평균 일사량 506W/m², 연평균 획득량 216W/m²로 집열효율은 44%로 나타났으며, 2007년 연평균 일사량 507W/m², 연평균 획득량은 212W/m²로 집열효율은 42%로 나타났다.

(3) 2005년 태양열 냉·난방 실증 연구로 광주 서구문화센터에 설치된 진공관형 집열기는 2008년 현재까지 집열성능의 저하 없이 안정적으로 작동되고 있으며 국내 최초로 개발된 진공관형 집열기의 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 곽희열, 태양열 구동 흡수식 냉방 시스템 실증 한국태양에너지학회지 제5권 제3호, 2006.9
2. 주홍진 외, 단일진공관형 집열기 히트파이프 작동유체에 따른 열성능 연구 한국태양에너지학회 논문집 제27권 제4호

2007.12

3. 박희열, 김진희, 산업공정열 적용 진공관
형 태양열시스템의 장기 열성능 연구 한
국태양에너지학회 2005년도 춘계학술발
표대회 논문집 2005. 6