

# 태양열 급탕시스템의 최적화 운전을 위한 열성능 분석

신우철\*, 윤종호\*\*, 백남춘\*\*\*, 곽희열\*\*\*\*

대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr), \*\*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),  
, \*\*\*한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr), \*\*\*\*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

## Thermal Performance Analysis for Optimal Operation of Solar Hot Water System

Shin, U-Cheul\* Yoon, Jong-Ho\*\* Baek, Nam-Choon\*\*\* Kwak, Hee-Yeul\*\*\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr)

\*\*Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

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

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

### Abstract

On-off differential controller is one of the very important component which has influence on the system performance of the solar hot water system. In this study, it was analysed the influence of "on-off" setting temperature on the system efficiency and the electrical consumption by circulation pump. This study was performed by computer simulation using TRNSYS program. The simulation system was developed in this study was verified the its reliability by the experimental results.

Keywords : 태양열 급탕 시스템(Solar hot water heating system, 시스템 효율(System efficiency), TRNSYS(트랜시스), 최적화 운전(Optimal operation)

### 1. 서 론

08년 한해 동안 시공된 태양열 급탕시스템의 총 집열면적 51,552m<sup>2</sup>로서 이중 가정용 온수기를 포함한 소형 시스템(단위 시스템의 집열기 면적 50m<sup>2</sup> 이하)의 집열면적은 29,098m<sup>2</sup>가 되며, 나머지가 중·대형 시스템(단위 시스템의

집열기 면적 50m<sup>2</sup> 이상)을 중심으로 보급이 이루어지고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 국내에서 연구 목적을 제외하고 최근 보급이 활성화 되고 있는 중·대규모 태양열 급탕시스템에 대한 실증 실험이 부족한 상태로서 최적설계 및 운전조건,

투고일자 : 2011년 4월 4일, 심사일자 : 2011년 4월 11일, 게재확정일자 : 2011년 4월 15일  
교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

경제성 분석 등을 위한 기초자료가 현재까지 미흡한 실정이다.

국내 연구동향을 살펴보면 김 등<sup>2)</sup>이 실증 실험을 바탕으로 시뮬레이션 분석을 실시한 바 있으나 집열기 면적 2.5m<sup>2</sup>의 소규모 태양열 급탕시스템으로 한정되었다. 또한 백 등<sup>3)</sup>은 집열면적 25m<sup>2</sup>의 가정용 태양열 난방 및 급탕시스템과 집열면적 88m<sup>2</sup>의 대중 목욕탕용 온수급탕 시스템에 대한 실증실험을 실시하였으나 시뮬레이션은 온수부하를 가정한 상태에서 주요 설계인자에 대한 민감도분석만을 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 기 수행된<sup>4)</sup> 대학 기숙사 태양열 급탕시스템의 급탕사용량 및 사용분포, 펌프의 전력소비량 등의 실증실험 자료를 바탕으로 중대형 태양열 급탕시스템의 최적화 운전을 위한 제어조건 도출과 열성능을 분석하고자 한다.

## 2. 실증실험

### 2.1 시스템 개요

그림 1과 표 1은 기숙사에 설치된 태양열 급탕시스템의 계통도와 주요 제원을 나타낸 것이다. 태양열 시스템은 축열조와 집열부가 열교환기에 의해 분리되는 밀폐형 부동액 방식으로 설계되었으며, 예열방식으로서 태양열에 의해 가열된 시수는 보일러에 의해 설정 온도로 승온되어 공급된다. 시스템 제어는 차온제어방식이 사용되고 있다.

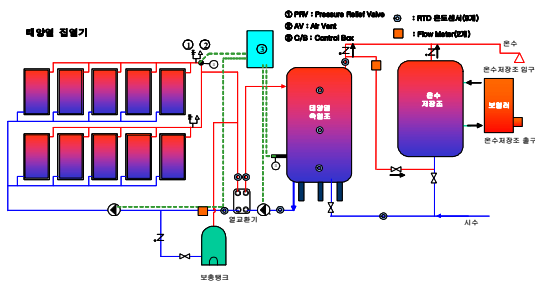


그림 1. 태양열 급탕시스템의 계통도

표 1. 태양열 시스템 사양

구분	형식	수량	규격/용량
태양열집열기	평판형	52	동관/동관, 104m <sup>2</sup>
	방위각/경사각	-	-45°/35°
태양열축열조	원통입형	1	SUS304, / 5,200L
팽창탱크	원통횡형	1	SUS304, /40L
저탱조	원통입형	1	SUS304, / 10,000L
자동제어기	차온제어	1	IC 센서, /1~25℃
열매체 펌프	자흡식	2	PU-758M, /15m <sup>3</sup> /h
축열조 펌프	IN-LINE	2	PH-K202, /15m <sup>3</sup> /h
열교환기	관형	1	100,000kcal/hr

### 2.2 실증시험 방법

표 2는 본 실험에 사용된 주요 측정기기 및 센서의 주요사양을 나타낸 것이다. 총 9개의 RTD 온도센서가 태양열 축열조와 열교환기의 입·출구 주변에 각각 매입되었으며, 집열부와 축열부의 작동유체 순환량과 급탕사용량을 측정하기 위한 전자 유량계가 각각의 배관에 설치되었다.

표 2. 측정 장비

구분	측정 장비	수량
데이터 수집	Data Logger(HP34970A)	1
	Data Acquisition S/W(LabView)	1
온도	RTD Thermometer	9
유량	DN25 JIS20K,ENDRESS+HAUSER	2
일사량	EPPLEY RADIOMETER	1
전력량	HOIKI 전력테스터: M3169	1

표 3은 운전 중 시스템의 제어조건과 순환펌프(집열 및 축열펌프)의 유량 및 소비전력 등을 정리한 것이다. 집열 및 축열펌프의 집열기 단위면적당 실제 순환유량은 각각 84liter/m<sup>2</sup>h (총 유량 : 8.8m<sup>3</sup>/h)와 144liter/m<sup>2</sup>h(총 유량 : 15m<sup>3</sup>/h)로서 일반적인 기준 설계안인 40~60liter/m<sup>2</sup>h에 비해 많이 운전되고 있는 것을 알 수 있다.

그림 2 ~ 5는 실증실험을 통해 정리된 부하패턴으로서 월 평균 일일 급탕사용량, 요일별 급탕비율, 일일 시간별 급탕비율을 나타낸 것이다.

표 3. 시스템 운전조건

구분	설정치	
제어조건	$\Delta T_{on}$	11℃
	$\Delta T_{off}$	3℃
집열펌프 유량, 소비전력	8.8 m <sup>3</sup> /h, 1.44kW	
축열펌프 유량, 소비전력	15 m <sup>3</sup> /h, 0.35kW	

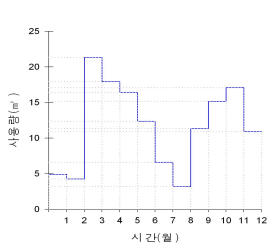


그림 2. 월별 일일 급탕사용량

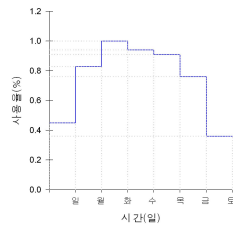


그림 3. 요일별 급탕비율

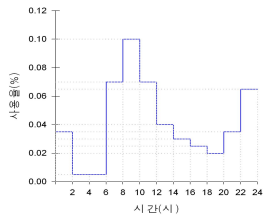


그림 4. 일일 시간별 급탕비율

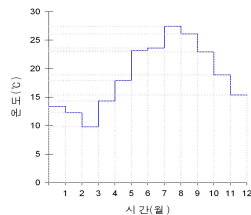


그림 5. 월 평균 시수온도

### 3. 시뮬레이션의 타당성 검토

#### 3.1 분석도구

본 연구에서는 태양열 급탕시스템의 열성능 해석을 위한 시뮬레이션 도구로서 TRNSYS(A Transient System Simulation Program)<sup>5)</sup> 15를 사용하였다.

태양열 급탕시스템의 열성능 평가의 기준이 되는 시스템 효율은 '전 집열량 기준'과 펌프 전력소비량이 제외된 '순 집열량 기준'으로 각각 구분하였다.

- 전 집열량 기준 시스템 효율 :

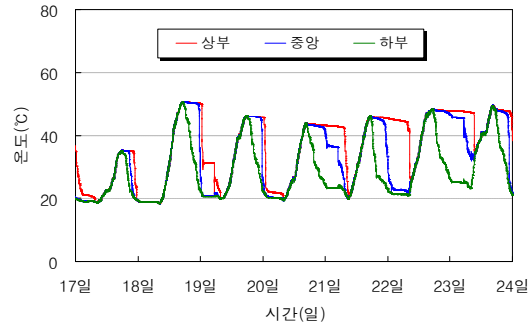
$$\eta = \frac{\text{태양열 공급열량}}{\text{집열면 총일사량}} \times 100$$

- 순 집열량 기준 시스템 효율 :

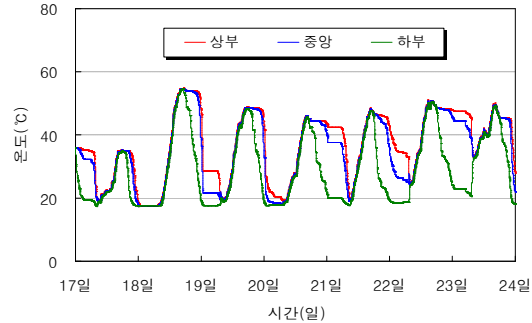
$$\eta = \frac{\text{태양열 공급열량} - \text{펌프전력}}{\text{집열면 총일사량}} \times 100$$

#### 3.2 시뮬레이션의 타당성 검토

그림 6은 실측과 시뮬레이션에 따른 1 주간의 축열조 열적거동을 비교한 것이다. 두 결과 모두 축열과정에서 축열조의 온수는 완전 혼합되어 상하부가 동일한 온도가 나타나고 있으며, 급탕사용으로 인해 시수가 축열조 내부로 유입되는 방열과정에서 드러나는 온도 성층화 현상 또한 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) 실험결과



(b) 시뮬레이션결과

그림 6. 축열조 온도분포

### 4. 시뮬레이션 결과분석

본 연구에서는 시스템의 최적운전을 위한 제어조건으로서 집열 및 축열펌프의 순환유량과 차온제어기의 작동 및 정지 온도차

( $\Delta T_{on}$ 와  $\Delta T_{off}$ ) 등을 설정하고 이에 따른 열 성능을 분석하였다. 이때 시뮬레이션을 위한 기상자료는 한국태양에너지학회에서 발표된 대전지역 표준기상데이터를 사용하였다.

그림 7은 실제 운전 중인 집열 및 축열펌프의 순환유량(이하 기준안 : 84liter/m<sup>3</sup>h)을 전술한 기준 설계치(50liter/m<sup>3</sup>h)로 변경할 경우(이하 기준 설계안), 이에 따른 ‘전 집열량 기준’ 시스템 효율과 소비전력을 비교한 것이다. 기준 설계치가 적용될 경우 최소 0.3%(8월)에서 최대 2.6%(5월)까지 시스템 효율이 기준안에 비해 증가하는 반면 월 평균 전력소비량은 45% 내외로 크게 감소하는 것으로 분석되었다. ‘순 집열량 기준’ 연평균 시스템 효율은 기준안과 기준 설계치가 각각 31.4%와 34.2%로서 펌프의 전력소비를 고려하지 않은 ‘전 집열량 기준’ 33.6%와 35.4%에 비해 다소 낮아지나 그 차이는 2.8%로서 더욱 벌어지게 된다. 따라서 펌프의 용량이 과다하게 설계할 경우 펌프의 소비전력이 증가할 뿐만 아니라 시스템 효율 또한 저하되는 것을 알 수 있다.

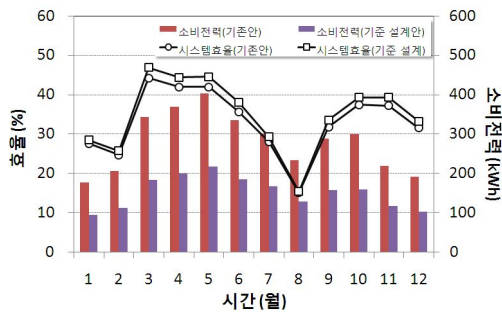


그림 8. 순환유량에 따른 시스템 효율 및 소비전력

그림 9는 집열 및 축열펌프의 순환유량이 동일하다고 가정한 상태에서 차온제어기의 정지 온도차( $\Delta T_{off}$ )의 변화에 따른 ‘순 집열량 기준’ 연평균 시스템 효율을 비교한 것이다.  $\Delta T_{off}=0$ 일 때 펌프유량에 따른 시스템 효율의 차이는 1% 미만이나  $\Delta T_{off}$ 이 증가할수록 점차 커지는 것을 알 수 있다.  $\Delta T_{off}=6^{\circ}\text{C}$

에서 펌프유량이 기준안, 84liter/m<sup>3</sup>h일 때의 시스템 효율은 26.9%로서 펌프유량이 기준 설계치, 50liter/m<sup>3</sup>h일 때의 32.2%에 비해 5% 이상 낮아지고 있다. 따라서 시스템의 최적운전을 위해서는 펌프순환유량을 적정 유속의 허용범위까지 낮추고 가급적  $\Delta T_{off}$ 을 적게 설정되어야 한다.

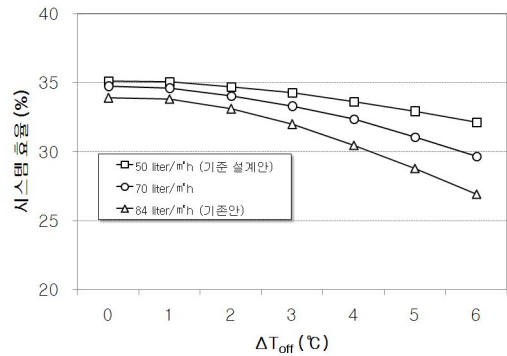


그림 9. 집열 및 축열펌프 유량에 따른 시스템 효율

그림 10은  $\Delta T_{on}$ 이 20°C일 때  $\Delta T_{off}$ 의 변화에 따른 시스템 효율을 비교한 것이다.  $\Delta T_{on}=10^{\circ}\text{C}$ (그림 9)과 비교할 때 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다.

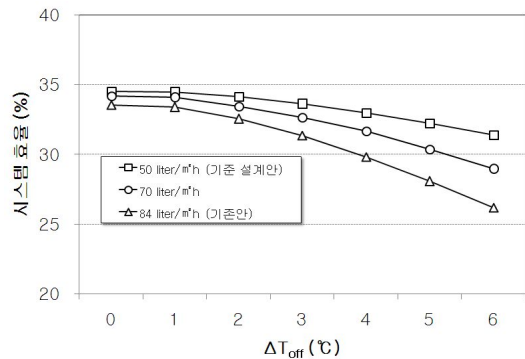


그림 10. 집열 및 축열펌프 유량에 따른 시스템 효율

그림 11은  $\Delta T_{off}$ 에 따른 집열량 대비 펌프의 소비전력량(이하 소비전력율)을 표시한 것이다. 운전시간이 상대적으로 가장 긴

$\Delta T_{off}=0$ 에서 소비전력율이 가장 높게 나타났으며  $\Delta T_{off}$ 이 증가할수록 점차 완만한 감소세를 보이고 있다. 또한 펌프의 순환유량이 증가할수록 소비전력율은 점차 높아지는 것을 알 수 있다. 기준 설계안에서  $\Delta T_{off}$ 에 따른 소비전력율은 1% 미만의 변화를 나타내고 있으나 펌프유량이 증가하는 기준안의 경우 2% 이상의 변화를 보이고 있다. 실제 운전 조건과 동일한( $\Delta T_{off}=3$ 일 때) 기준안의 소비전력율은 5.9%로서 실증실험 결과 6%<sup>4)</sup>와 비교할 때 거의 일치하는 것으로 나타났다.

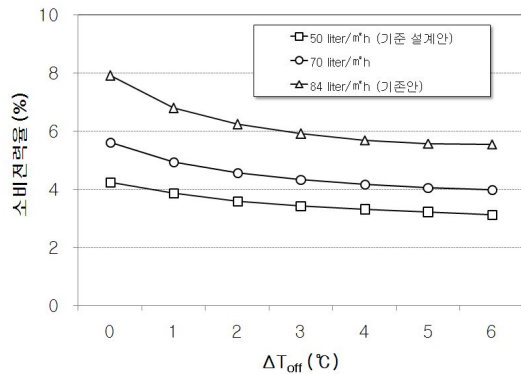


그림 11.  $\Delta T_{off}$ 에 따른 소비전력율

## 5. 결 론

본 연구에서는 실증실험 자료를 바탕으로 해석모델의 신뢰성을 검증하고, 검증된 해석모델을 이용해 기숙사에 설치된 태양열 급탕시스템의 최적운전을 위한 열성능 분석을 실시하였다. 시스템의 최적운전을 위한 주요변수로서 집열 및 축열펌프의 순환유량과 차온 제어기의 작동 및 정지 온도차( $\Delta T_{on}$ 와  $\Delta T_{off}$ ) 등을 설정하였으며, TRNSYS를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 시스템의 최적운전을 위해서는 펌프 순환유량을 적정 유속의 허용범위까지 낮추고 가급적  $\Delta T_{off}$ 을 적게 설정되어야 한다.

둘째,  $\Delta T_{off}$ 이 작을수록 연평균 시스템 효율은 증가하나  $\Delta T_{on}$  변화에 따른 효율변화는 거의 나타나지 않는다.

셋째, 태양열 공급열량 대비 집열 및 축열 펌프 작동에 따른 소비전력율은  $\Delta T_{off}$ 가 증가할수록 완만하게 감소하였으나, 펌프의 순환유량이 많을수록 소비전력율은 점차 높아지는 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : B551179-09-04-00)

## 참 고 문 헌

1. 에너지관리공단, 2008년 신재생에너지 통계, 2006
2. 최봉수, 김진홍, 강용태, 홍희기, "6kW급 태양열 온수급탕시스템의 실증실험 및 분석(제 2보 모델링 및 시뮬레이션)", 설비공학회 논문집, 제 16권 제 6호, pp. 556-565, 2004
3. 백남춘 외 4인, "설비형 태양열 시스템 실증시험 및 시뮬레이션 연구", 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2001.다.
4. 신우철 외 3인, "기숙사 태양열 급탕시스템의 열성능에 관한 실증연구", 태양에너지학회논문집, 제 26권, 제 2호 pp. 103-109, 2006
5. TRNSYS 14.2 Reference manual, University of Wisconsin -Maidison, 1996