

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 2, 2006

기숙사 태양열 급탕시스템의 열성능에 관한 실증연구

신우철*, 백남준**, 곽희열***, 주현로****

*대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr), **한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr),
한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr), *대전대학교 대학원 건축학과(juhl2514@naver.com)

An Experimental Study on the Solar Hot Water Heating System for the Dormitory of University

Shin, U-Cheul* Baek, Nam-Choon**, Kwak, Hee-Yeul***, Ju, Hyunlo-Lo****

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

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

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

***Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Daejeon University(juhl2514@naver.com)

Abstract

The Purpose of this work is to investigate a long-term thermal performance of active solar hot water heating system for the dormitory of university. For this, monitoring system including temperature sensors, flow-meters was installed in this system. Measurement was continued for 13 months between April 1st 2004 and May 31th 2005.

As results, hot water demand, daily and monthly hot water load distribution which are necessary for the solar system design were suggested. Also thermal stratification in solar buffer tank was observed in the point of increasement of system efficiency. The yearly solar fraction and system efficiency of this system are about 29.5% and 44.9% respectively.

Keywords : 급탕량(Hot Water Usage), 급탕량 분포(Hot Water Profile), 시스템 효율(System Efficiency), 태양열 급탕시스템(Solar Hot Water Heating System), 태양열 의존율(Solar Fraction)

1. 서 론

최근 유가의 급등과 더불어 신재생에너지는 환경친화적인 청정에너지로서 기후변화협약과 화석

에너지 고갈에 대한 적극적인 대응방안으로 관심을 모으고 있다. 현재 정부의 국내 신재생에너지 보급목표는 2006년 에너지소비량의 3%, 2011년 5%로 설정하고 있으며, 이를 위해 기술개발,

접수일자:2006년 5월 22일, 심사완료일자:2006년 6월 22일

보급정책 및 지원제도 개선 등 다양한 활동을 펼치고 있다. 특히 재생에너지 중에서 태양열 이용 기술(주로 저온이용 분야)은 상당수준의 기술 확보로 단기간 내에 보급확대가 가능한 분야로 평가받고 있으며, 보급중심으로의 기술개발이 정부 차원에서 추진되고 있는 단계이다.

그러나 국내에서 연구 목적을 제외하고 최근 보급이 활성화 되고 있는 중·대규모 태양열 급탕시스템에 대한 실증실험이 전무한 실정으로서 설계 및 경제성 분석을 위한 기초자료가 부족한 상태이다. 이에 따라 본 연구에서는 최근에 적용대상 중에 한 분야를 차지하고 있는 기숙사의 태양열시스템 설계에 활용될 수 있는 자료 확보를 위해 현재 작동 중에 있는 특정 대학 기숙사 태양열 급탕시스템을 대상으로 장기간 모니터링을 실시하여 급탕사용 패턴, 태양열시스템 거동 및 각종 실증시험자료를 수집 및 분석하였다.

2. 시스템 및 실증시험 개요

2.1 실험 대상 건물

표 1은 태양열 급탕시스템이 설치된 건물의 주요 재원을 나타낸 것이다.

태양열 급탕시스템이 설치된 건물은 대전 소재의 M 대학교 여학생 기숙사로서, 지하1층 지상 5층의 연면적 1,940평을 갖고 있다. 최초 숙박시설로 계획·시공되었으나 2003년부터 기숙사로 용도 변경되었으며, 태양열 시스템도 이 과정에서 추가적으로 설치되었다.

표 1. 대상건물

구분	설계치
규모	지하1층, 지상 5층
연면적	6,411.24m ² (1939.4평)
실 수	80실
사용인원	320명
1인당 온수사용량	113L/일
일평균 온수사용량	32,266L/일

태양열 급탕시스템의 설계 시 적용된 1인당 온수사용량은 113L/일¹⁾로서, 건물의 일일 총 급탕사용량은 32ton으로 추정되었다.

2.2 시스템 개요

그림 1과 표 2는 기숙사에 설치된 태양열 급탕시스템의 계통도와 주요 사양을 나타낸 것이다. 태양열에 의해 가열된 시수는 보일러에 의해 설정 온도로 승온되어 공급된다. 즉 태양열 예열방식으로 설계되었다. 태양열 시스템은 축열조와 집열부가 열교환기에 의해 분리되는 밀폐형 부동액 방식을 사용하였으며, 시스템 제어는 일반적으로 사용되는 차온제어방식을 사용하였다.

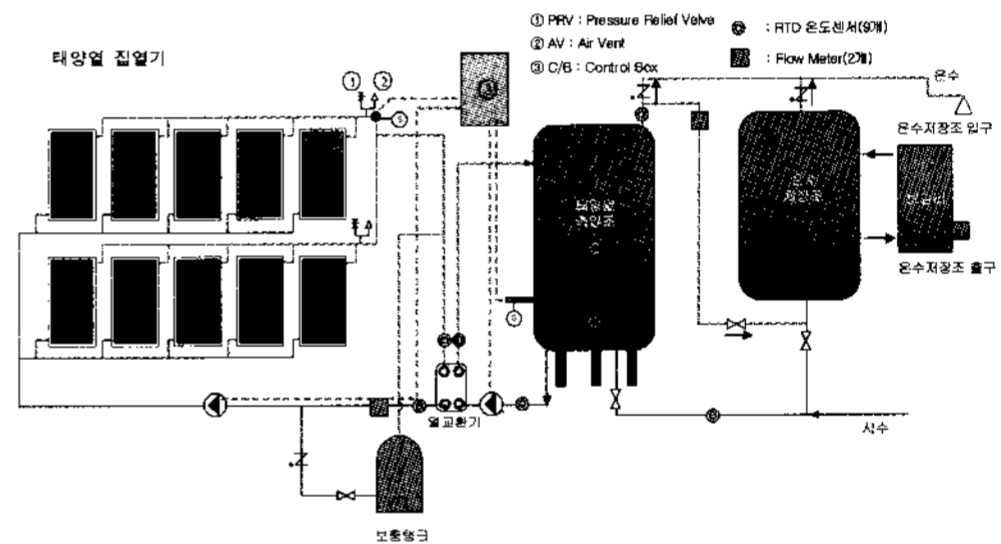


그림 1. 태양열 급탕시스템의 계통도

표 2. 태양열 시스템 사양

구분	형식	수량	규격/용량
태양열집열기	평판형	52	동관/동판, 104m ²
	방위각/경사각	-	남서 10°/35°
태양열축열조	원통입형	1	SUS304, / 5,200L
팽창탱크	원통형	4	SUS304, /40L
열매 보충조	원통입형	1	FRP, /1,000L
자동제어기	차온제어	2	IC 센서, /1~25℃
열매채 펌프	자흡식	2	PU-758M, /15m ³ /h
축열조 펌프	IN-LINE	2	PH-K202, /15m ³ /h
열교환기	판형	1	100,000kcal/hr

2.3 실증시험 방법

표 3은 본 실험에 사용된 주요 측정기기 및 센서의 주요사양을 나타낸 것이다. 총 9개의 RTD 온도센서를 태양열 축열조와 열교환기의 입·출구

주변에 각각 설치하였다. 또한 집열부와 축열부의 작동유체 순환량과 시수사용량을 알기 위해 각각의 배관에 유량계를 설치하였다.

표 3. 측정 장비

구분	측정 장비	수량
Data Acquisition	Data Logger(HP34970A)	1
	Data Acquisition S/W(LabView)	1
온도	RTD Thermometer	9
유량	Flow Meter	2
일사량	Actinometer	1
전력량	HOIKI 전력테스터:M3169	1

그림 2는 측정시스템의 실시간 원격 모니터링 화면을 나타낸 것으로서 LabView를 이용하여 작성하였다. 이 화면을 통하여 데이터 측정간격을 원격 제어하고, 실시간 측정데이터를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 데이터 측정을 위한 시간 간격을 1분으로 설정하였다.

시스템은 여기에 부착된 제어장치에 의해 정상적으로 제어되도록 하였으며, 본 연구를 위해 작동방법이나 부하 등을 특별히 변경시킨 것은 없었다.

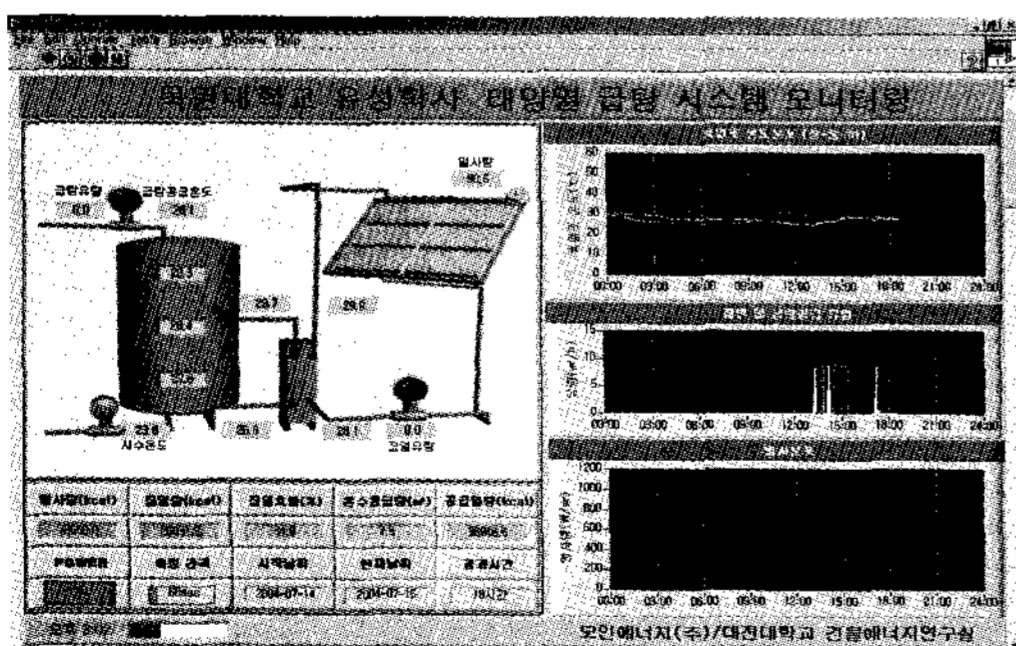


그림 2. 원격 모니터링 화면

3. 결과분석 및 고찰

시스템의 열성능 분석을 위한 데이터 측정을 시스템이 설치된 2004년 3월부터 2006년 3월까

지 실시하였으나, 본고에서는 2004년 4월부터 2005년 5월까지 측정된 데이터를 기준으로 결과를 분석하였다.

표 4는 측정기간 중 시스템 운전과 관련된 제어조건과 순환펌프(집열 및 축열펌프)의 유량 등을 정리한 것이다.

표 4. 운전조건

구분	설정치	
제어조건	ΔT_{on}	11°C
	ΔT_{off}	3°C
집열펌프 유량	9m³/h	
축열펌프 유량	15m³/h	
급탕 공급온도	60°C	

3.1 온수 사용 패턴 분석²⁾

가. 월 평균 일일급탕량

그림 3은 기숙사의 월 평균 일일 급탕량과 1인당 일일 급탕량을 나타낸 것이다. 이 기간의 재실자 변동 사항을 살펴보면 학기 중의 재실자 수는 350명 정도로 거의 일정한 반면 방학 기간 중에는 1/5 수준인 70~80명 정도로 조사되었다. 여기서 방학 기간 중의 재실자는 기록상의 재실자로서 잦은 외부활동으로 인해 실제 재실자와 일치하지 않는 것으로 파악되었다. 학기 중의 월별 급탕분포를 살펴보면 3월의 사용량이 가장 많은 상태에서 5월까지 점차 감소하는 반면 9월부터 11월까지의 급탕량은 다시 증가 추세를 보이고 있다. 이 기간의 재실자 수가 거의 변동이 없는 상태에서 이와 같은 급탕량의 변화는 시수온도가 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 그림 4의 월 평균 시수온도분포에서 확인할 수 있다.

학기 중 월 평균 1인당 일일 급탕량을 살펴보면 3월이 61ℓ/인·day로서 가장 많은 사용량을 보이고 있으며, 가장 적게 사용하는 12월의 31ℓ/인·day와 비교할 때 2배 정도의 차이를 드러내고 있다. 이 결과를 급탕시스템 설계 기준치로 적

용된 113ℓ/인·day와 비교할 때 최소 50%이상 작은 것을 알 수 있다.

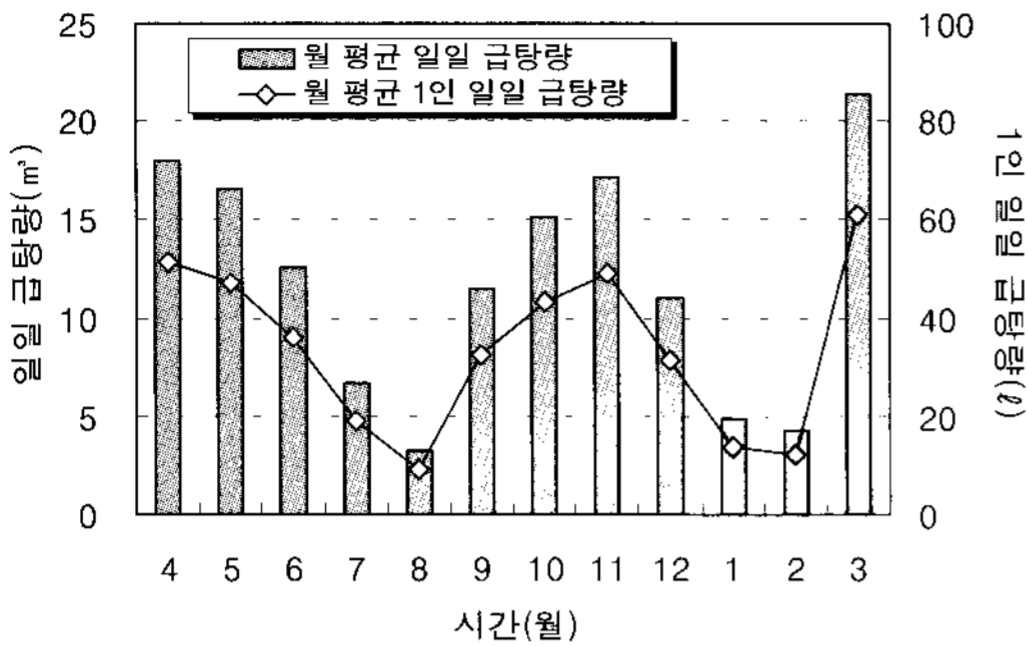


그림 3. 월 평균 일일 급탕량

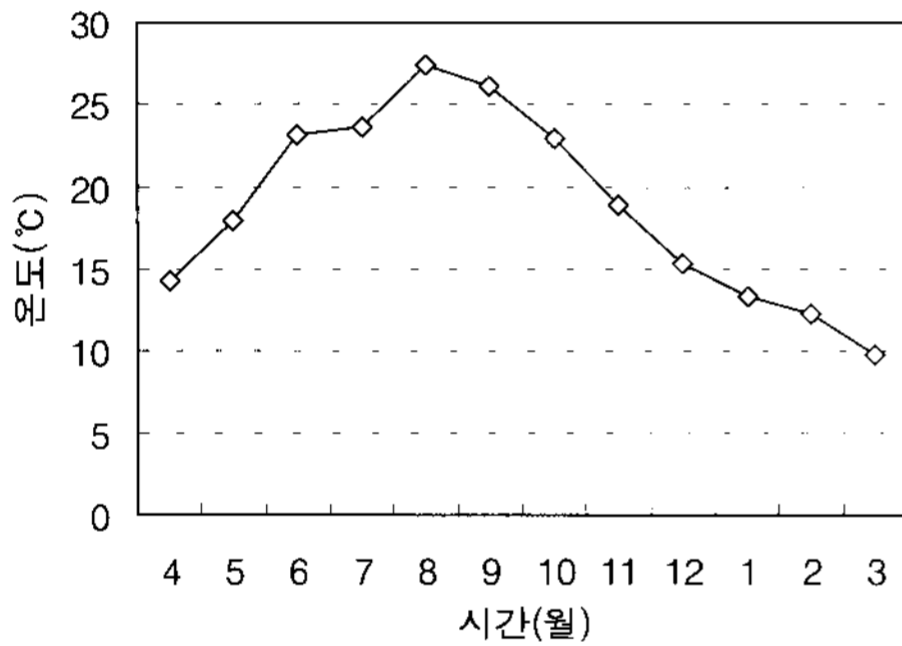


그림 4. 월 평균 시수온도분포

나. 요일별 급탕량

그림 5는 주간 총 사용량을 기준으로 년 평균 요일별 급탕비율을 정리한 것이다. 화요일에 가장 많은 급탕량이 소비되고 있으며 가장 적은 토요일에 비해 약 2.8배 많은 것으로 나타났다.

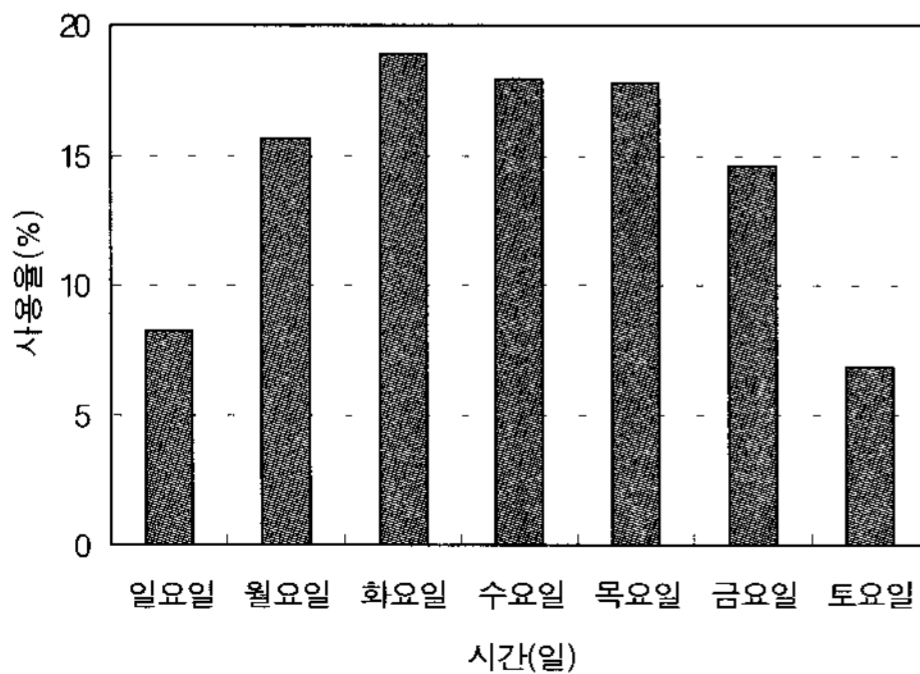


그림 5. 년 평균 요일별 급탕비율

다. 시간별 급탕분포

그림 6은 2004년 4월부터 2005년 3월까지의 년 평균 시간별 일일 급탕비율을 나타낸 것이다. 0.7% 미만의 아주 적은 양을 사용하는 오전 3시부터 6시까지 4시간을 제외할 때 일일 급탕 사용시간은 20시간인 것으로 추정되며, 피크시간(오전 9시)의 급탕사용량은 평균 일일 시간별 급탕량의 2.4배인 것으로 분석되었다. 한편 오전 7시부터 오전 9시까지는 계절에 약간 차이는 있으나 거의 태양열이 집열되기 이전이거나 집열 초기 단계로서 전체 급탕사용량의 33% 이상이 이 시간대에 온수가 소비되는 것을 알 수 있다.

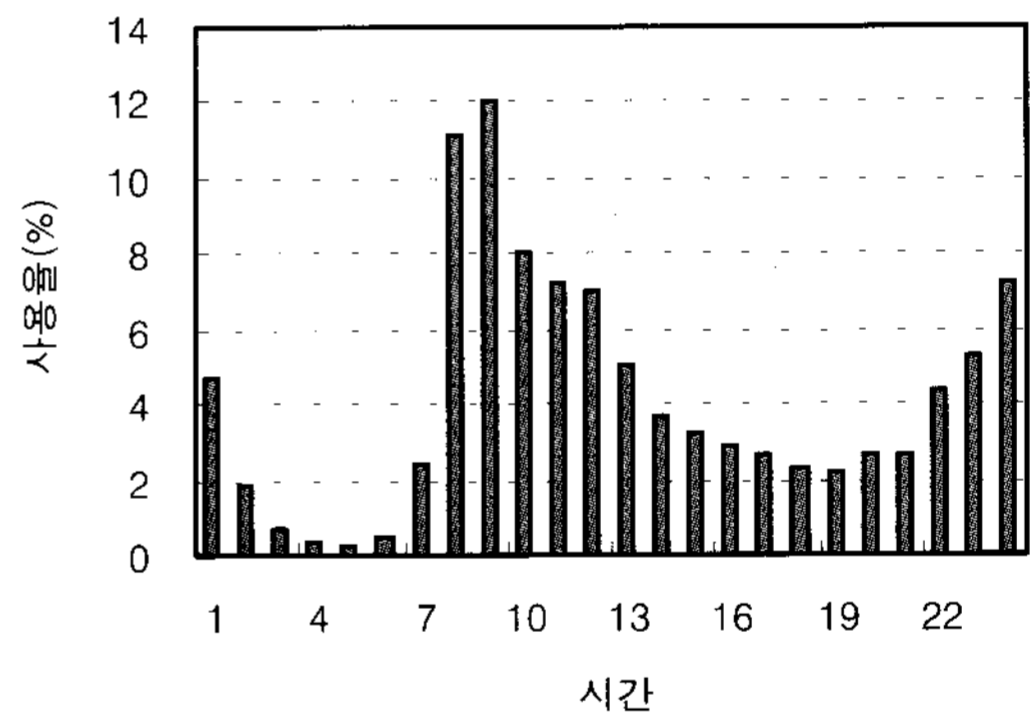


그림 6. 년 평균 시간별 일일 급탕비율

3.2 시스템의 열성능

그림 7은 측정기간 동안의 태양열 시스템의 일별 태양열 의존율과 집열효율을 나타낸 것이다. 여기서 태양열 의존율은 총 급탕공급열량에 대한 태양열 공급열량의 비를 의미하며, 집열효율은 집열면에 입사된 총 일사 중에서 집열량 비로 정의된다. 태양열 의존율은 정의에서 알 수 있는 바와 같이 급탕부하와 일사량에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 년 평균 의존율은 29.5%로서 총 급탕부하에 비해 집열기 설치 면적이 상대적으로 작음을 알 수 있다. 일사량이 양호한 경우 집열효율은 40~60%의 범위를 보이고 있으며, 년 평균 집열효율은 44.9%인 것으로 분석되었다.

한편 축열조로부터 측정된 년 평균 1일 태양열 공급열량은 130Mcal로서 1일 집열량 154Mcal에 비해 약 13% 정도 적은 것으로 분석되었다. 배관 및 축열조의 열손실을 고려하더라도 다소 많은 양으로 파악되며 향후 시뮬레이션을 통한 자세한 분석이 요망된다.

년간 태양열 공급열량은 47.45Gcal로서 보조열원을 보일러 등유로 가정할 경우, 이산화탄소(CO₂)저감량은 16.6ton으로 예측되었다. 표 5는 CO₂ 저감량 계산시 적용된 기준을 예시한 것이다.

표 5. CO₂ 저감량 계산기준

구분	설정
연료	보일러 등유
석유환산계수	0.87
발열량	8,700kcal/liter
탄소배출계수	0.812
보일러 효율	85%
기간	2004년 4월 ~ 2005년 3월

그림 8은 월별 평균 태양열 의존율과 집열효율 분포를 나타낸 것이다. 급탕사용량이 많은 학기 중에 비해 사용량이 적은 방학기간의 태양열 의존율이 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 집열효율은 태양열 의존율이 높아질수록 낮게 나타나서, 최대 및 최소값은 4월과 8월에 각각 30%와 50%로서 월별 편차가 큰 것을 알 수 있다. 따라서 대학 기술사의 경우 태양열 시스템 적정규모를 산정할 때 이러한 방학기간 동안 열부하 감소를 특별히 고려해야 한다.

태양열시스템은 일반적으로 태양의존율이 높아지면 높아질수록 집열효율은 낮아지는 것이 일반적이다. 이것은 의존율이 높아지면 작동온도(축열 온도)가 높아지기 때문이며, 심지어는 축열조 온도가 과열온도까지 승온되어 태양열 시스템 작동을 멈춰야 하는 경우도 발생하게 된다. 따라서 태양열시스템은 태양의존율을 지나치게 높게 설계하

는 것은 비효율적이며, 일반적인 급탕의 경우 60~70%, 난방의 경우 40~60% 이내로 시스템 규모를 설계하는 것이 추천되고 있다.

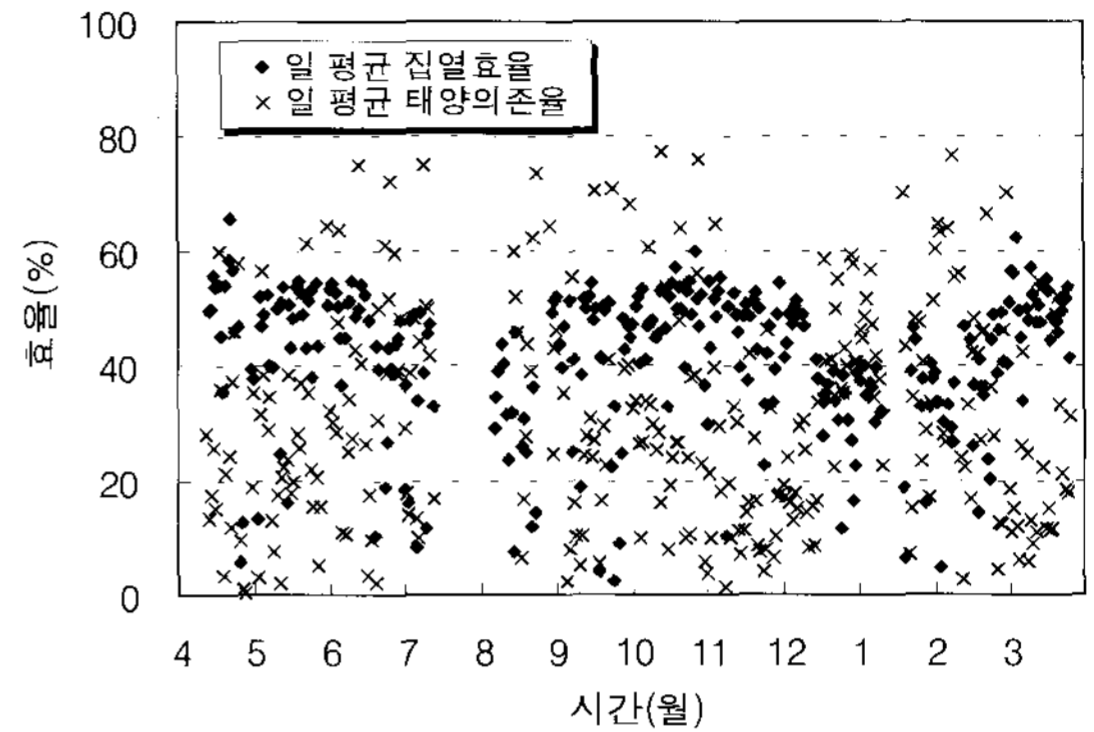


그림 7. 일 평균 태양열 의존율과 집열효율

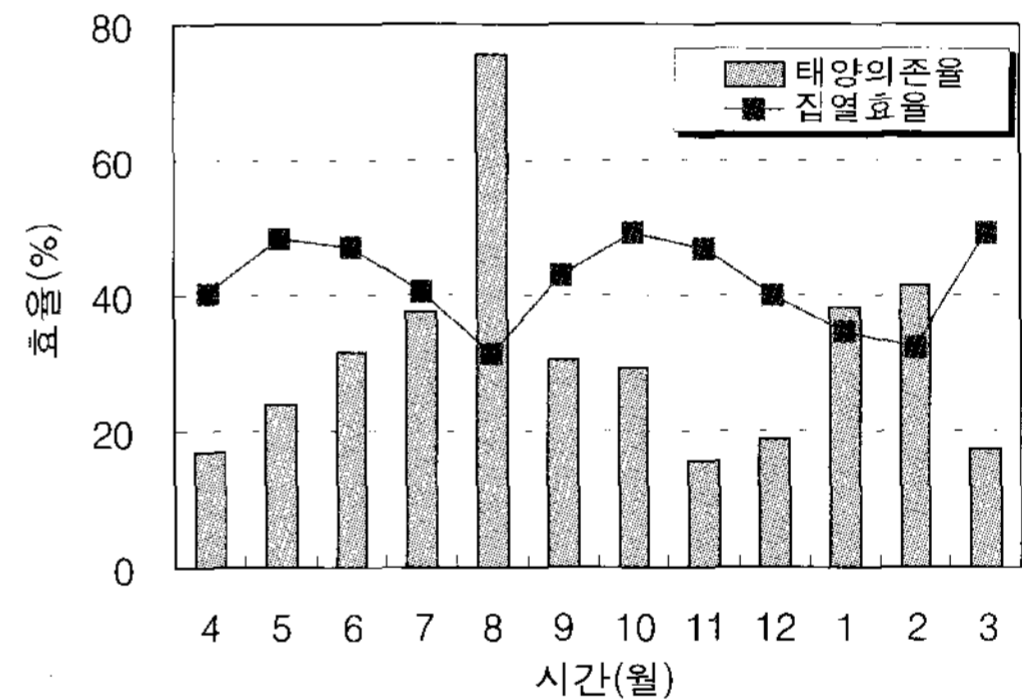


그림 8. 월별 태양열 의존율과 집열효율

3.3 축열조 온도분포

그림 9는 일사조건이 양호한 5월 중에 며칠동안의 태양열 축열조 내부 온도분포를 나타낸 것이다. 축열과정에서 축열조 상·중·하부 온도는 거의 동일한 분포를 보이고 있다(즉, 온도 성층화가 이루어지지 않음), 이것은 여러 가지 이유가 있을 것으로 사료되나 무엇보다도 디퓨저의 성능이 나쁘거나 유량이 지나치게 많을 때, 또는 펌프의 작동시간이 길 때 주로 나타나게 된다. 유량이 지나치게 많을 경우 축열조 하단부의 온도나 축열조 중상단부로 들어오는 온도 차가 적어지고 또한 아

무리 디퓨저가 있다 하더라도 축열조의 유동이 발생하기 때문에 온도층화가 거의 생기지 않게 된다. 참고로 본 시스템은 축열부 순환유량은 15m³/h로 지나치게 많은데다가 집열열교환기로 나가는 배관과 들어오는 배관에는 디퓨저를 설치하지 않았다.

이와 같이 축열조 내의 온도층화 파괴는 집열기 작동온도를 높이게 되어 결과적으로 집열효율을 낮추게 된다. 따라서 축열과정에서 축열조 내부의 온도 성층화를 위하여 축열펌프의 순환유량을 감소시키거나 유입 및 유출배관 입·출구에 디퓨저를 적절하게 설계해서 설치해야 한다.

한편 급탕사용으로 인해 시수가 축열조 내부로 유입되는 방열과정에서는 축열조의 온도성층화 현상이 비교적 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 축열조 상부의 온도는 전반적으로 40℃ 내외로서 저탕조의 설정온도(60℃) 보다 낮기 때문에 대체적으로 저탕조에서 보조열원에 의해 승온되어야 함을 알 수 있다.

그림 10은 급탕사용량이 적은 8월의 방학 기간의 축열조 온도분포를 나타낸 것이다. 축열조 내부의 온도분포는 그림 9와 거의 동일하게 나타나고 있다. 축열조 최상부 온도는 대부분 60℃ 이상을 나타내어 보조열원에 의한 가열 없이 온수 공급이 이루어지는 것을 알 수 있으나 과열에 따른 사용자의 주의가 요망된다.

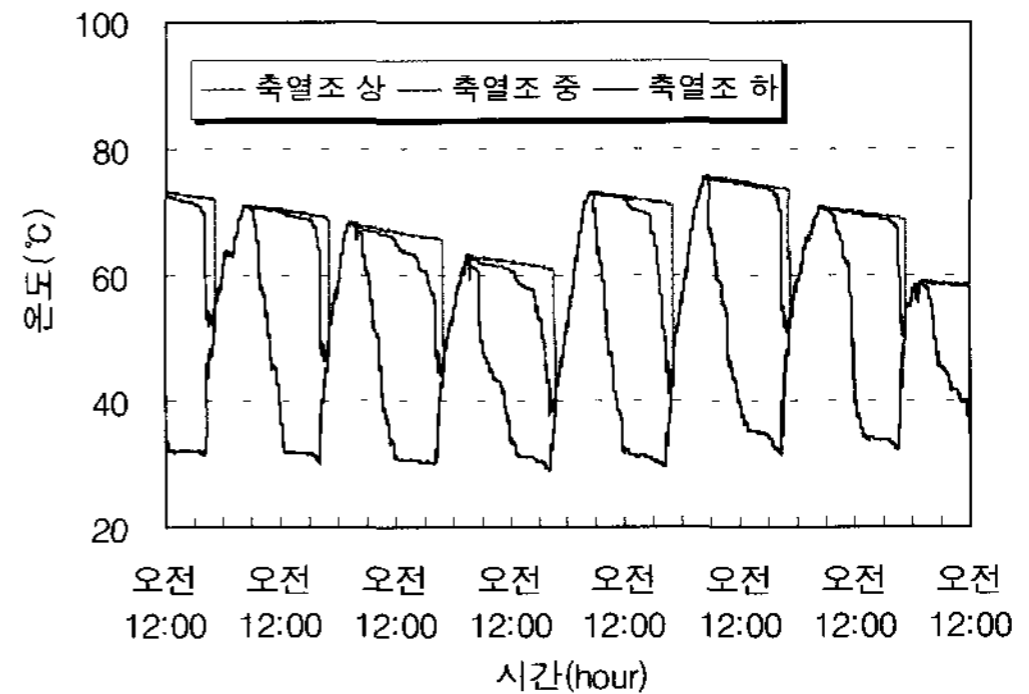


그림 10. 방학 기간(8월) 중 축열조 온도분포

3.4 펌프동력 분석

그림 11은 태양열 시스템의 운전과정에서 측정된 집열 및 축열 순환펌프의 소비전력을 나타낸 것이다. 가동 초기 기동동력이 정상운전 상태에 비해 15 ~ 85% 많은 것으로 측정되었으나 그 순간은 1초미만으로서 매우 짧은 것을 알 수 있다. 정상운전 상태에서 집열 및 순환펌프의 동력은 각각 1.44kW와 0.35kW로서 5.0시간으로 추정되는 년 평균 일일 펌프가동 시간을 고려할 경우 펌프의 1일 전기소비량은 9kWh인 것으로 분석되었다. 따라서 순환펌프의 전기사용량 대비 태양열 집열량(공급량 기준)은 14.4Mcal/kWh로서, 열량을 기준으로 비교하면 태양열 총 공급열량의 6% 정도가 펌프작동을 위해 소비되는 것으로 파악되었다. 외국의 경우 펌프의 소비동

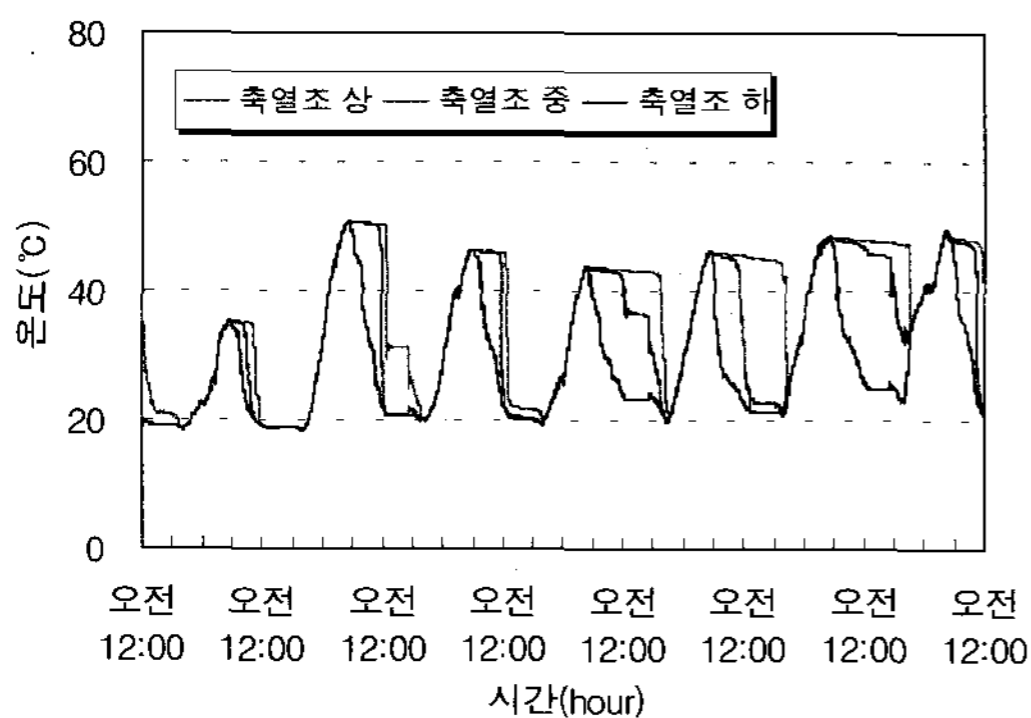


그림 9. 학기 중(5월) 중 축열조 온도분포



그림 11. 집열 및 순환펌프 소비전력

력은 열량기준으로 보면 대체적으로 3~5% 정도 인 것으로 발표되고 있는데 이것에 비하면 약간 크게 나타났다. 참고로 펌프동력은 배관의 길이, 유량 등에 따라서 다소 차이는 있을 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 대학교 기숙사에 설치된 태양열 급탕시스템을 대상으로 장기간 모니터링을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 학기 중 월 평균 1인당 일일 급탕량은 3월이 61ℓ/인·day로서 가장 많은 사용량을 보이고 있으며, 이 결과를 시스템 설계 시 적용된 급탕 기준치 113ℓ/인·day와 비교할 때 최소 50%이상 작은 것으로 분석되었다.

둘째, 년 평균 태양열 의존율은 29.5%로서 비교적 낮게 나타났으나 월별 격차(특히 하절기)가 크기 때문에 태양열 의존율을 높이기 될 경우 하절기 급탕부하에 비해 집열 가능한 열량과의 차이가 커져서 비경제적일 뿐만 아니라 시스템 과열에 따른 사용자의 주의가 요망된다.

셋째, 태양열 집열효율을 향상시키고 온수의 이

용율을 향상시킬 수 있도록 축열조내의 온도 성능 증화 장치인 디퓨저가 모든 배관의 입출구에 설치되어야 한다. 그러나 본 시스템은 축열조와 집열열교환기와 연결되는 배관의 입출구에 디퓨저 장치가 없는 것으로 확인되었으며 이로 인해 태양열 집열효율이 저하되었을 것으로 예상된다.

넷째, 밀폐형 부동액 방식으로 설계된 본 태양열 급탕시스템의 경우 펌프작동을 위해 소비된 전기에너지는 태양열 총 공급열량의 약 6% 정도로 약간 많이 나타난 것으로 사료되며, 이 결과는 향후 태양열시스템의 차온제어장치의 ON-OFF 설정치를 결정하는데 중요한 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 펌프의 용량을 결정하는데 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김교두, 건축설비핸드북, 도서출판 금탑, 1982.
2. 김종현, 김상헌 신우철, 백남춘, 대학 기숙사의 급탕량 분석, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, 2005, 6.