

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 4, 2006

# 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열적 거동에 관한 실험연구

신우철\*, 백남춘\*\*, 김종현\*\*\*

\*대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr), \*\*한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr),  
\*\*\* (주)삼인이에스(jhkim@sahmin.com)

## Experimental Study on the Thermal Behavior of Solar Space Heating & Hot Water System in Apartment

Shin, U-Cherul\*, Baek, Nam-Choon\*\*, Kim, Jong-Hyun\*\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),  
\*\*Korea Institute of Energy Research(baek@kier.re.kr)  
\*\*\*SAHM-IN ES INC.(jhkim@sahmin.com)

### Abstract

In this paper, an experiment was carried out to investigate the thermal behavior and performance on a solar space heating & hot water system in an apartment. Measurement was continued for 6 months between January 1st 2004 and June 31th 2004. The results show that there is no problem in control and operation in case of connection this system with conventional space heating and hot water system, and that the thermal performance of this system and indoor thermal environment is good.

Keywords : 태양열 난방 및 급탕시스템(Solar Space Heating & Hot Water System),  
태양열 집열기 (Solar Collector), 태양열 축열조(Solar Thermal Storage Tank)

### 1. 서 론

최근 유가의 급등과 더불어 신재생에너지는 환경친화적인 청정에너지로서 기후변화협약과 화석에너지 고갈에 대한 적극 대응방안으로 관심을 더

욱 모으고 있다. 현재 정부의 국내 신재생에너지 보급목표는 2006년 에너지소비량의 3%, 2011년 5%로 설정하고 있으며, 이를 위해 기술개발 추진, 제도·정책 개선 등 다양한 활동을 펼치고 있다. 한편 태양열은 기존 화석연료에 비해 지역적 편중

접수일자:2006년 11월 11일, 심사완료일자:2006년 12월 8일

이 적으며 무공해 무제한의 청정에너지원으로서 태양광, 바이오매스, 지열, 연료전지 등 어떠한 다른 신·재생 에너지보다도 경제성이 높은 에너지원으로 평가되고 있다. 국내의 태양열시스템은 단독주택용의 태양열온수기와 중·대규모의 태양열 급탕시스템이 보급되고 있는 상태이며, 공동주택을 위한 태양열 난방 및 급탕시스템은 전무한 실정으로서 시스템의 개발 및 보급의 필요성이 매우 높게 제기되고 있다.

그러나 국내에서 연구 목적을 제외하고 공동주택에 태양열 시스템이 적용된 사례는 한 두건에 불과하여 이와 관련된 설계자료 또한 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 공동주택에 대한 태양열 난방 및 급탕시스템의 적용 가능성을 검토하고 최적 설계기법을 확보하기 위한 목적으로, 시공 중인 아파트를 대상으로 시스템의 열적 거동에 관한 실증실험을 실시하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험대상세대

그림 1은 실험세대에 대한 평면도를 나타낸 것이다. 32평 규모의 정남향 배치로서, 좌측세대가 15층인 반면 실험세대는 11층 최상층으로서 4면이 외기에 면해 있다. 세대별 난방 및 급탕은 가스보일러에 의한 개별방식으로 설계되었으나 실험 당시에는 가스배관이 없는 상태로서 등유보일러를 보조열원으로 사용하였다. 태양열 시스템은 가급적 기존의 난방 및 급탕 시스템의 설계변경 없이 연계할 수 있도록 설계하였으며, 태양열 집열기를 비롯한 관련 기계실을 실험세대의 옥상층에 설치하였다.

### 2.2 태양열 난방 및 급탕시스템

그림 2와 표 1은 본 실험에 사용된 태양열 시스템의 계통도와 주요 시스템 사양을 나타낸 것이다. 하절기 과열 및 동절기 동파방지를 위해 반 밀폐식으로 설계하였다. 이 방식은 축열조와 이용부 사이

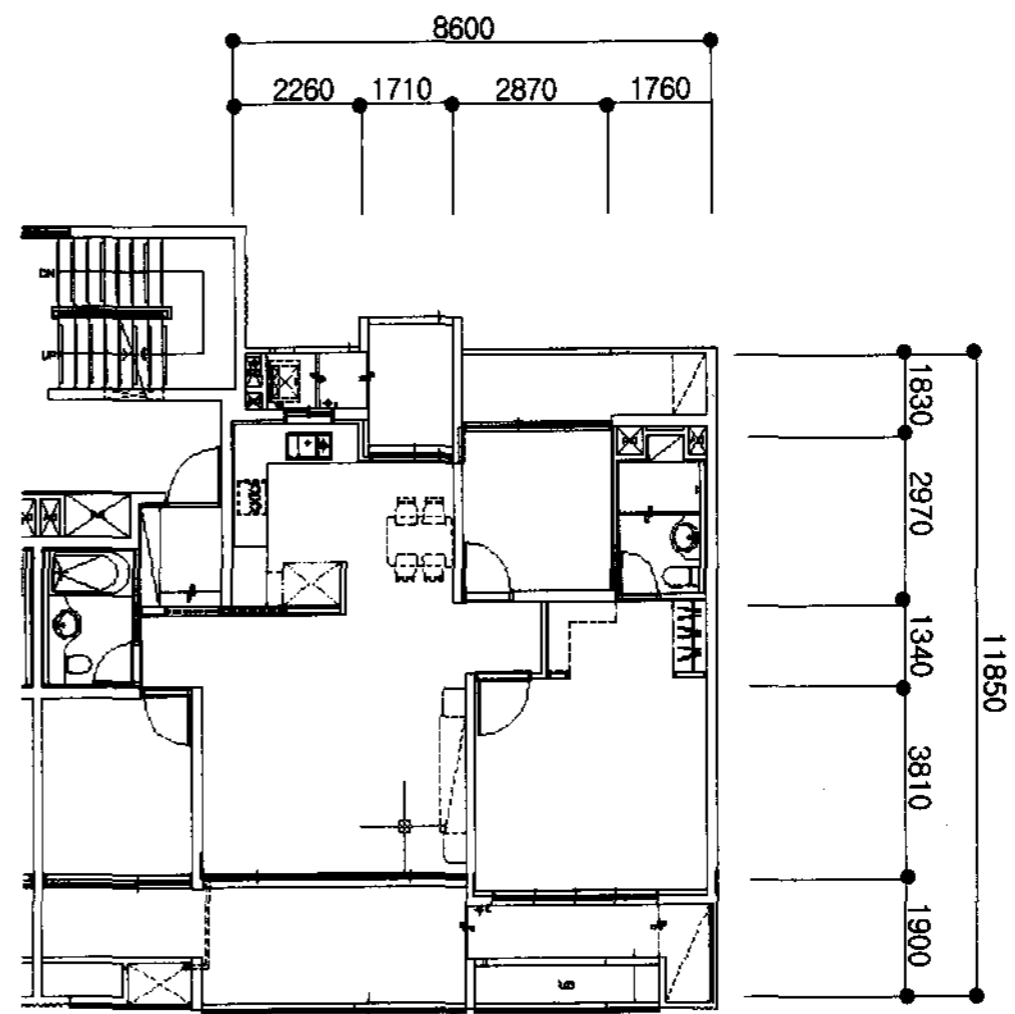


그림 1. 실험세대의 평면도

의 수두차가 높을 경우 밀폐식에 비해 펌프동력비가 약간 증가하나 하절기 과열에 의한 시스템 고장이나 동절기 동파를 근본적으로 차단할 수 있는 장점을 갖고 있다.

태양열 집열기는 32평형의 최상층 1세대 기준으로 난방과 급탕 겸용으로 평판형 24장(약 44.6m<sup>2</sup>)을 정남향 45°로 경사로 3단 8열로 설치하였다. 집열기 외에 태양열 시스템의 주요구성품인 축열탱크와 열교환기, 컨트롤박스, 압력탱크 등은 옥상의 기계실에 설치하였으며, 하부 실험세대와의 배관은 샤프트 공간을 통하여 연결하였다.

그림 3은 태양열 축열조의 구조를 나타낸 것이다. 여기서 난방 축열조와 급탕 축열조를 일체형으로 설계하여 열손실과 설치공간을 최소화 하였다. 이 일체형 축열조는 상단부 일부(약250ℓ)를 곡면으로 분리해서 급탕 축열조로 사용하고 하단부는 난방 축열조로 사용된다. 따라서 집열 열교환기는 난방 축열조를 직접 가열하게 되며, 급탕 축열조는 분리막을 통해 간접 가열된다. 이때 난방 축열조는 아무리 낮아도 35 ~ 40°C 이상되고, 축열조내 온도층화로 난방 축열조 상단부의 온도가 가장 높기 때문에 급탕 축열조의 온도는 항상 난방 축열조의 온도보다

높거나 비슷한 온도를 유지하게 된다. 또한, 시수는 난방 축열조의 하부에 설치된 예열 열교환기로 1차 가열된 후 급탕축열조에 유입되게 된다.

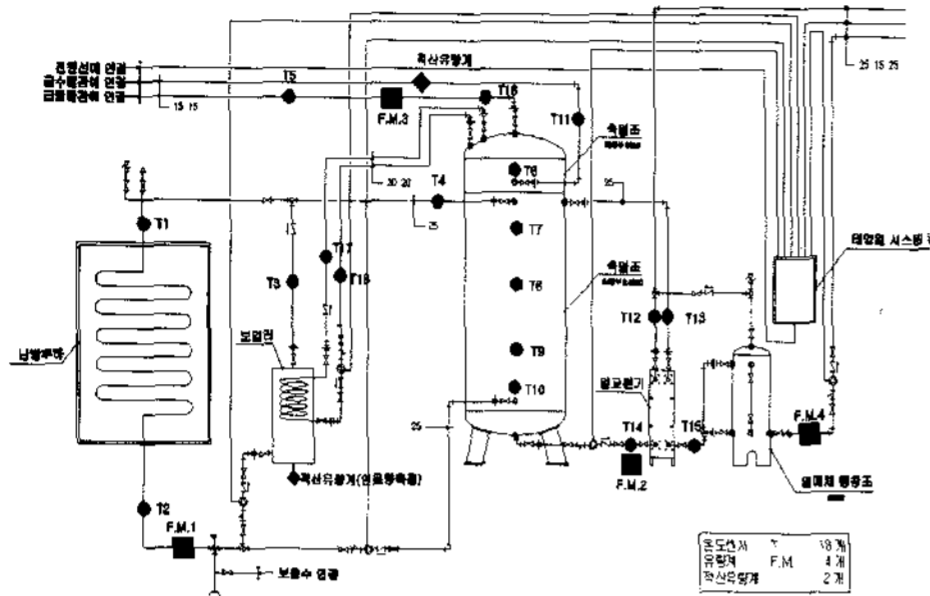


그림 2. 태양열 시스템 계통도 및 측정센서위치

표 1. 태양열 시스템의 주요사항

구분	항목	사항
집열기	최고효율(FR <sub>τα</sub> )	0.71
	열손실계수(FRUL)	23 kJ/m <sup>2</sup> h°C
	경사각	45°
	방위각	0
축열조	급탕축열조	0.25 m <sup>3</sup>
	난방축열조	2.5 m <sup>3</sup>
열교환기	형식	판형
	용량	20,000 kcal/h
펌프	집열펌프	2.5 m <sup>3</sup> /h
	축열펌프	2.5 m <sup>3</sup> /h
	난방순환펌프(보일러)	2.1 m <sup>3</sup> /h
	난방순환펌프(난방축열조)	2.1 m <sup>3</sup> /h
보조열원	최대용량	28,000 kcal/h
	열원	등유

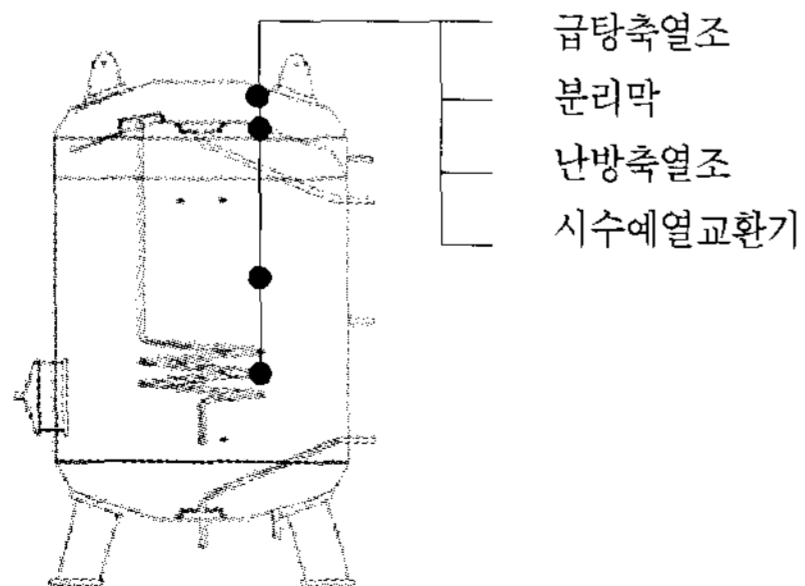


그림 3. 이중 축열조

### 3. 측정시스템

시스템의 작동 상태 및 열성능 분석을 위한 데이터 수집(Data Acquisition) 시스템을 구축하였다. 주요 측정 장치는 표 2와 같다.

표 2. 주요 측정기기 사양

구분	장치	수량
유량측정	FLOMAG MP 400	4
	Toshiba Model LF400	2
온도측정	RTD-Type 온도센서	17
	T-Type 온도센서	42
Data acquisition	HP 34970A	1
	HP 34901A	2
	HP 34908A	1
	872357A USB/GPIB Interface	1
일사측정	EPLAB PSP	1

데이터 측정은 “태양열 측정 시스템”과 온수온도 측정 시스템으로 구분된다. “태양열 측정 시스템”은 시스템의 작동 상태 및 열성능을 분석하게 되며, 총 42개의 T-Type 온도센서로 구성된 “온수온도 측정 시스템”은 난방온수공급에 따른 실내의 열적 반응을 체크하게 된다. 표 3은 각 실에 공통적으로 설치된 온도센서의 수량 및 위치를 나타낸 것이다. 온수관 직상부와 중간부를 기준으로 배관의 상하부에 각각 2개의 온도센서를 설치하였다.

표 3. 실별로 설치된 온도센서

위치	수량
바닥슬라브표면 (온수관하부)	1
바닥슬라브표면 (온수관사이)	1
온수온도표면 (온수관상부)	1
온수온도표면 (온수관사이)	1
실온	2

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 동절기 실험

태양열 시스템의 난방성능 분석을 위한 동절기 실험을 2004년 1월 6일부터 17일까지 12일간 실시하였으나 본 고에서는 실내온도를 22℃로 설정한 1월 6일부터 12일까지 기간에 대하여 고찰하였다. 단, 이 기간 중 시수공급라인의 동파방지를 위하여 급탕실험은 제외하였다.

본 실험의 난방방식은 “축열조 우선 연속난방”으로서, 표 4에 나타난 바와 같이 난방 축열조의 난방가능 최저온도를 45℃로 설정하고 이 조건을 만족하는 경우 난방 축열조에 의한 온수공급이 보일러보다 우선하게 된다.

표 4 난방 제어 설정온도

구 분	설정온도
실내설정온도	22℃
축열조 최저온수 공급온도	45℃
보일러 온수 공급온도	50℃

그림 4는 실험기간 중 기상조건을 나타낸 것이다. 현장에 측정된 일평균 경사면 일사량과 일평균 외기온은 각각 4520 kcal/m<sup>2</sup>와 5.1℃을 보이고 있다.

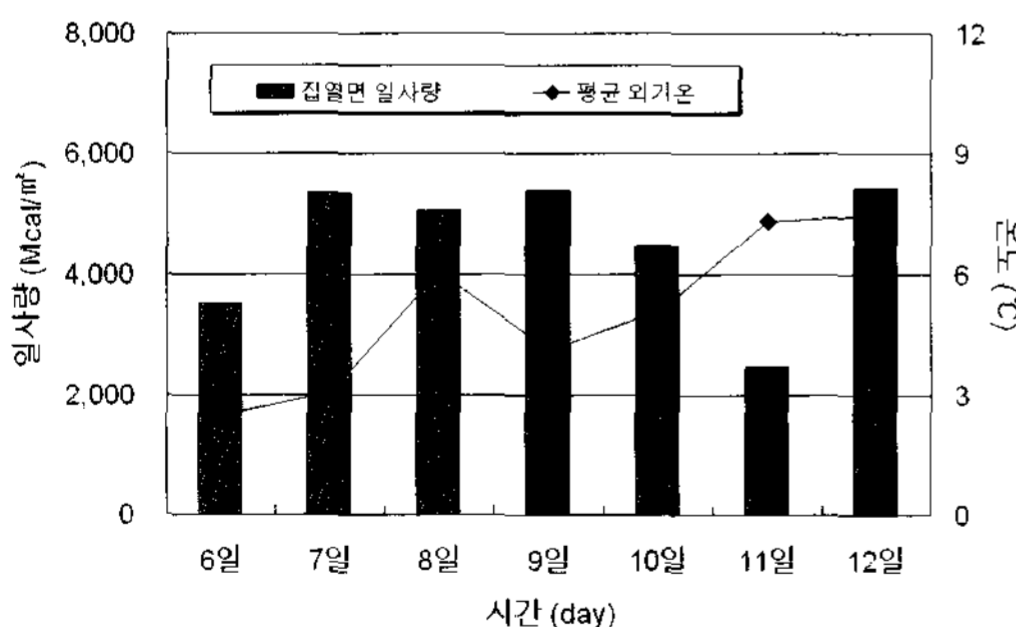


그림 4. 집열면 총 일사량 및 평균 외기온

그림 5는 실험기간 동안의 일별 난방 공급열량 및 태양열 의존율을 나타낸 것이다. 태양열 의존율은 소비된 총 난방에너지에 대한 태양열로 공급된 열량 비를 의미한다. 동절기 실험기간 동안 본 시

스템의 태양열 의존율은 평균 69%로서 일사조건에 따라 최소 40%에서 최대 96% 이상을 나타내고 있다. 즉 맑은 날은 거의 100% 태양열로 난방이 가능하며, 흐린 날의 경우에도 40% 정도는 태양열로 난방이 공급되고 있음을 알 수 있었다. 실험기간 동안의 1일 평균 난방에너지는 약 56Mcal이며, 이중 태양열로 39Mcal가 공급된 것으로 분석되었다.

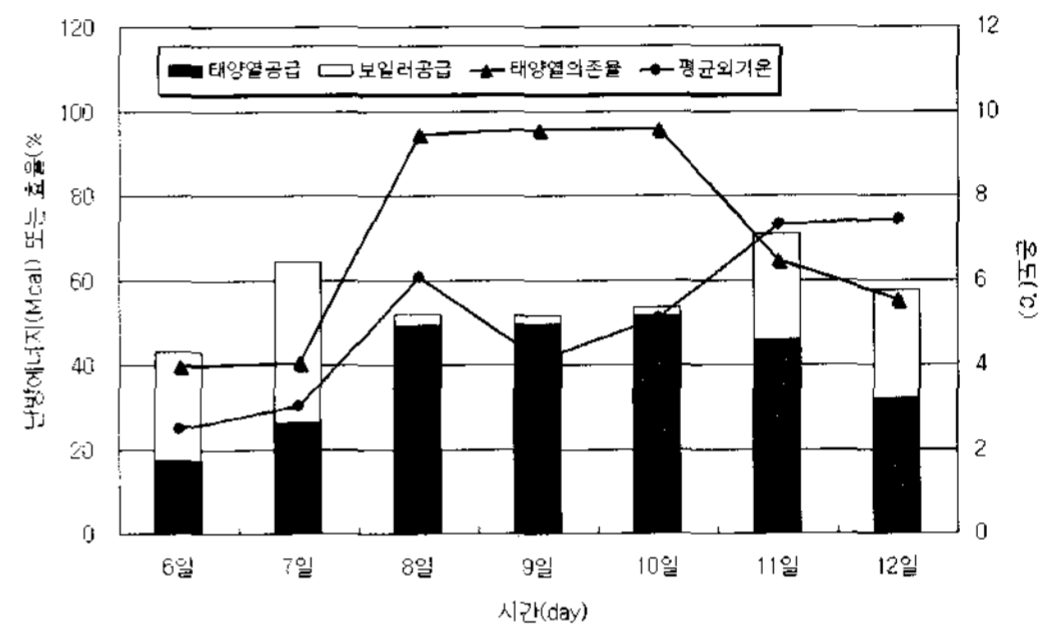


그림 5. 동절기 난방공급열량 및 태양열의존율

그림 6은 온수공급온도에 따른 난방온수유량 및 실온분포를 나타낸 것이다. 보일러 난방순환펌프의 유량은 1.03m<sup>3</sup>/h, 난방축열조 순환펌프 유량은 0.88m<sup>3</sup>/h로서 동일한 펌프용량에도 불구하고 관내 마찰저항에 따라 실제 순환유량은 차이를 드러내고 있다. 보일러 온수공급온도가 약 50℃로서 일정한 반면, 난방축열조 공급온도는 45~65℃로서 20℃의 편차를 보이고 있다. 온수 순환펌프의 1회 가동시간과 이에 따른 실온을 비교하면 보일러에 비해 상대적으로 고온수로 공급되는 난방축열조의 펌프가동시간이 짧고 실온변화 또한 큰 것을 알 수 있다. 그러나 각 실의 온도편차는 최대 3℃ 범위에서 적절하게 제어되고 있다. 난방 온수공급 패턴과 시간을 살펴보면, 1일 4회 정도 온수가 공급되고 있으며 1일 평균 가동시간은 약 350분으로 분석되었다.

한편 실온은 각 실의 문을 닫고 밀폐한 상태에서 측정된 결과로서 거실의 온도센서로 대표 제어되고

있으나 북측실을 제외하고 모든 실의 온도분포가 거의 동일한 것을 알 수 있다. 북측실의 경우 외부 열손실에 비해 온수공급 유량이 적은 것으로 판단되며 유량을 증가시킬 필요가 있다.

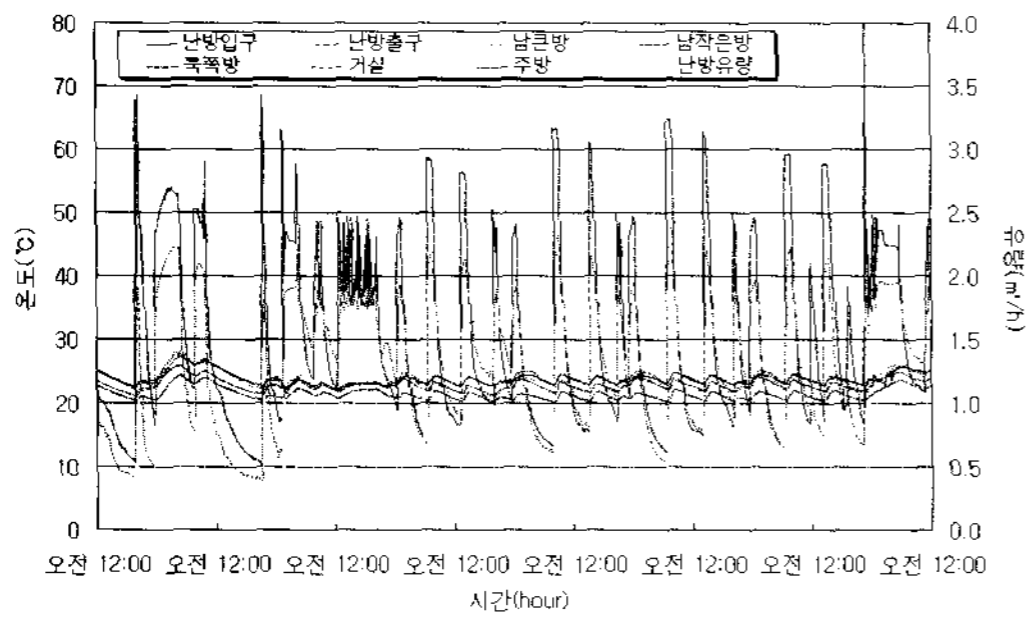


그림 6. 동절기 난방유량 및 실온분포

그림 7은 남측 거실과 북측실의 바닥온도분포를 나타낸 것이다. 순환펌프 가동 시 온수온도의 표면 온도는 공급온수온도에 따라 큰 변화를 나타내고 있으며, 실온에 비해 4~8°C 정도 높은 분포를 보이고 있다.

온수관 직상부와 중간부의 바닥 온도차는 공급 온수온도에 비례하여 증가하고 있으나 온수공급 중단 시에는 거의 동일한 온도분포를 보이고 있다. 남측 거실의 경우 온수관 직상부의 온도는 최고 38°C의 분포를 나타내어 높은 공급온수온도에도 불구하고 과열의 우려는 없으며, 중간부의 최저 온도 또한 약 30°C로서 열적 쾌적감 측면에서도 무리가 없는 것으로 판단된다.

실온이 낮은 북측방의 평균 바닥온도는 남측 거실에 비해 약 5°C 낮은 분포를 보이고 있다. 직상부와 중간부의 온도차는 더욱 증가하고 있으며 온수공급 중단 시 남측 거실에 비해 상대적으로 빨리 온도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 온수공급유량이 작기 때문인 것으로 추정된다.

그림 8은 실험기간 중 축열조 온도분포를 나타낸 것이다. 난방축열조가 집열된 태양열이 열교환기를 거쳐 직접 축열되는 반면, 급탕축열조는 난방

축열조를 걸쳐 공급되는 시수라인과 하부 난방축열조 사이의 분리막(철판)에 의해 가열되는 간접방식을 선택하고 있다.

일사조건이 양호한 경우 난방축열조는 60°C 이상 가열되고 있으며, 축열 과정에서 상·하부 거의 균일한 온도분포를 보이고 있다. 그러나 난방이 공급되면서 하단부 부터 온도가 급격히 떨어지며 최종적으로 상단부의 온도가 난방최저온도(설정온도)까지 낮아지고 있다. 이 과정에서 난방축열조 내의 성층화가 비교적 잘 유지되는 것을 알 수 있다.

본 실험에서는 급탕축열조는 난방축열조의 온도에 비해 다소 완만한 온도 변화곡선을 그리고 있다. 즉 난방축열조의 영향을 받아 난방온수공급에 따라 난방축열조 온도가 낮아질 때 급탕축열조의 온도 또한 점차 떨어지고 있으나 그 하강폭은 상대적으로 적으며 일조조건이 열악한 상태에서도 40°C(설정온도) 이상의 급탕가능 온도를 보이고 있다.

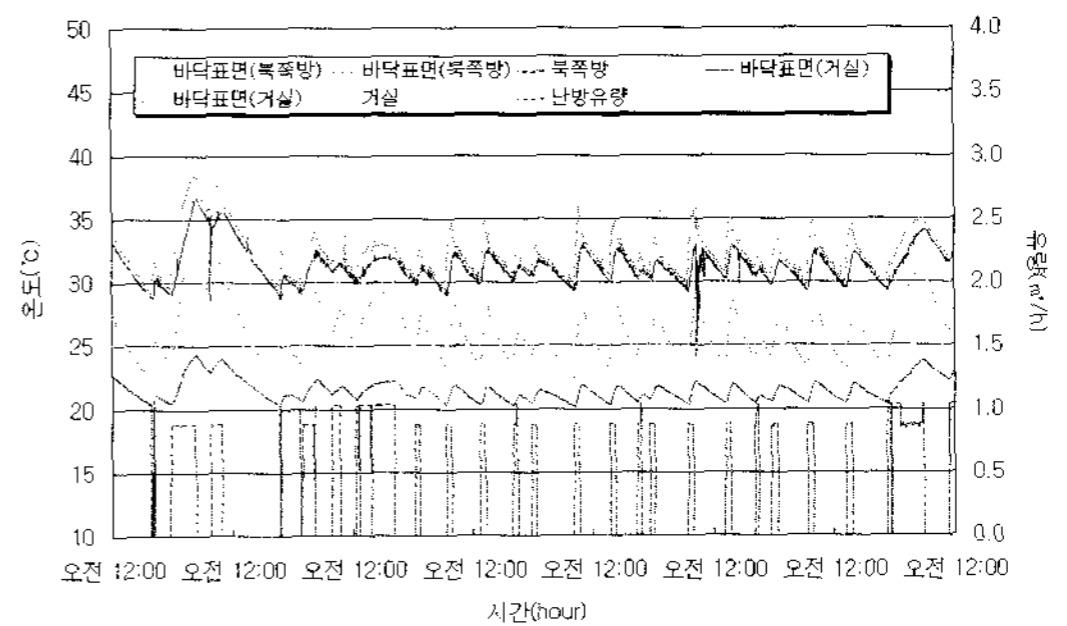


그림 7. 동절기 실온 및 바닥표면온도

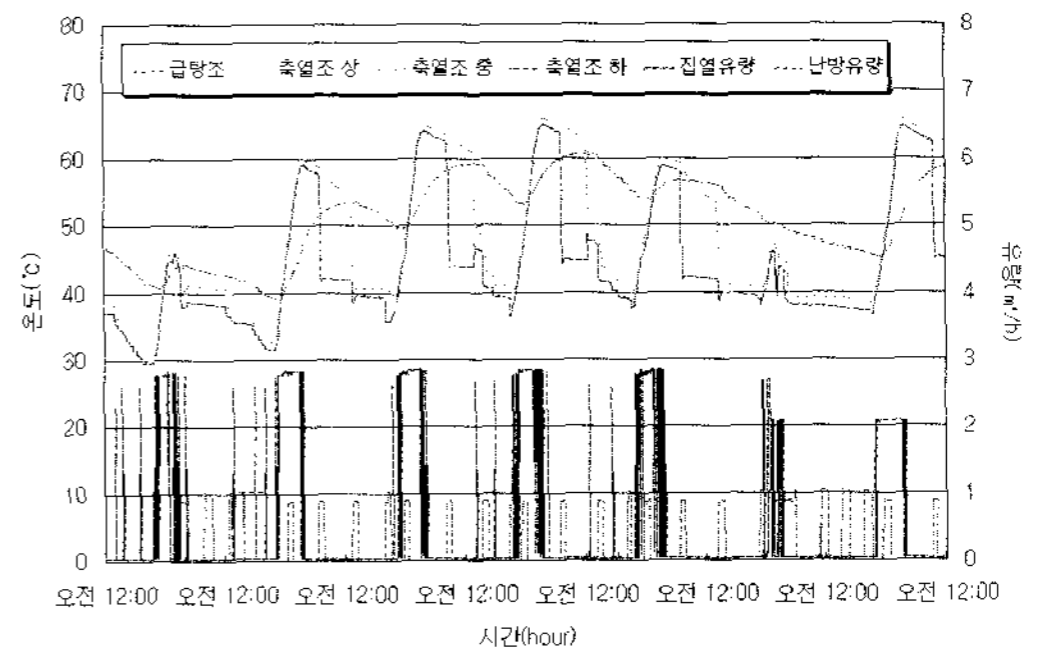


그림 8. 동절기 축열조 내부 온도분포

### 4.2 중간기 실험

4월에 진행된 중간기 실험에서 4월 20부터 25일까지 6일간의 데이터를 분석하였다. 동절기와 동일하게 이 기간 동안 실내온도는 동절기에 비해 다소 높은 24°C로 설정하였으며, “축열조 우선 난방 방식”으로 난방을 실시하였다.

이 실험에서는 온수급탕을 실시하였다. 급탕은 급탕축열조의 공급 온수온도에 따라 보일러가 가동되는 “태양열 예열방식”으로 운전하였다. 급탕의 사용패턴은 표 5와 같이 1일 2회 오전과 오후로 나누어 각각 200 liter/day를 사용하였다.

그림 9는 중간기 실험기간 중 기상조건을 나타낸 것이다. 일평균 외기온은 16.8°C로서 동절기 실험기간에 비해 11°C 높은 분포를 보이고 있으며, 현장에 측정된 일평균 경사면 일사량은 동절기에 비해 오히려 9% 감소한 4292 kcal/m<sup>2</sup>을 나타내고 있다.

표 5. 중간기 급탕 실험 조건

급탕량	200 liter	200 liter
급탕사용시간	오전 8시 ~ 오전 9시	오후 5시30분 ~ 오전 6시30분

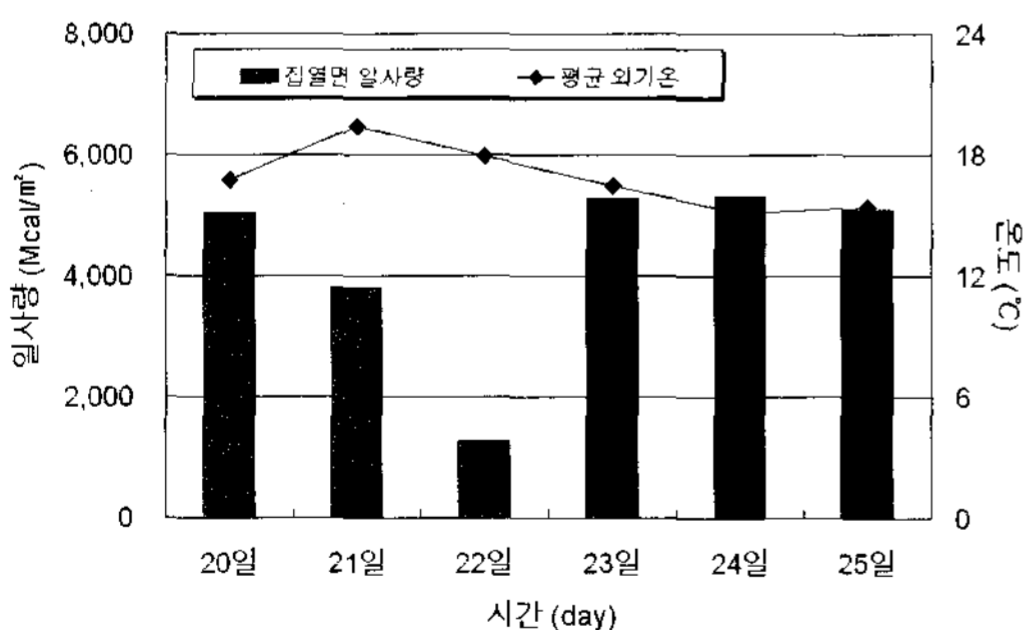


그림 9. 집열면 총 일사량 및 평균 외기온

그림 10은 중간기 실험 동안의 난방 공급열량 및 난방 태양열 의존율을 나타낸 것이다.

이 기간의 평균 난방 공급열량과 평균 태양열 의존율은 각각 50 Mcal과 56.4%로서 동절기 실험

기간 결과와 비교하여 난방 공급열량이 단지 9% 정도 밖에 감소하지 않았다. 이와 같이 외기온이 높음에도 불구하고 난방공급열량이 큰 이유는 실험 세대 아래층의 평균 실내온도가 15°C 정도로 낮게 유지되어 실험세대 바닥을 통해 하부세대에 많은 열손실이 발생하는 것으로 추정된다. 또한 난방 태양열 의존율의 감소는 급탕공급으로 인한 난방축열조의 에너지손실에 일부 기인한 것으로 분석된다.

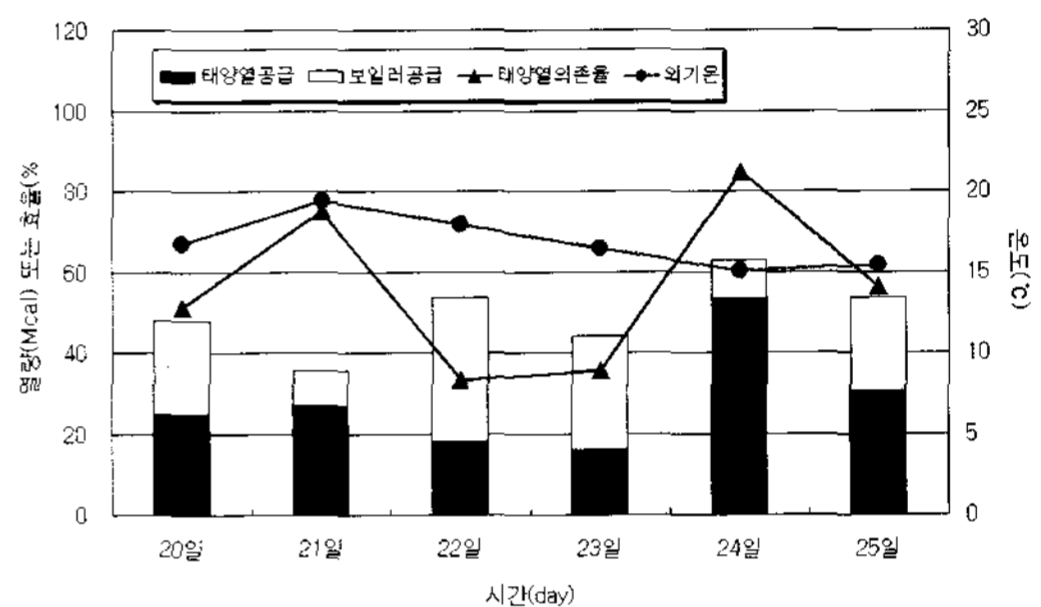


그림 10. 중간기 난방공급 열량 및 태양열의존율

그림 11은 급탕공급 열량 및 급탕 태양열 의존율을 나타낸 것이다. 온수사용량을 1일 400 liter로 설정하였으나 일별 실제 소비량은 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 일 평균 총 급탕에너지는 14.3 Mcal이며, 이 중에서 태양열 공급열량은 12 Mcal로서 평균 급탕 태양열 의존율은 96%인 것으로 조사되었다. 이중탱크형의 간접 열교환방식으로 설계된 급탕축열조의 경우 온수공급에 문제가 없는 것을 알 수 있다.

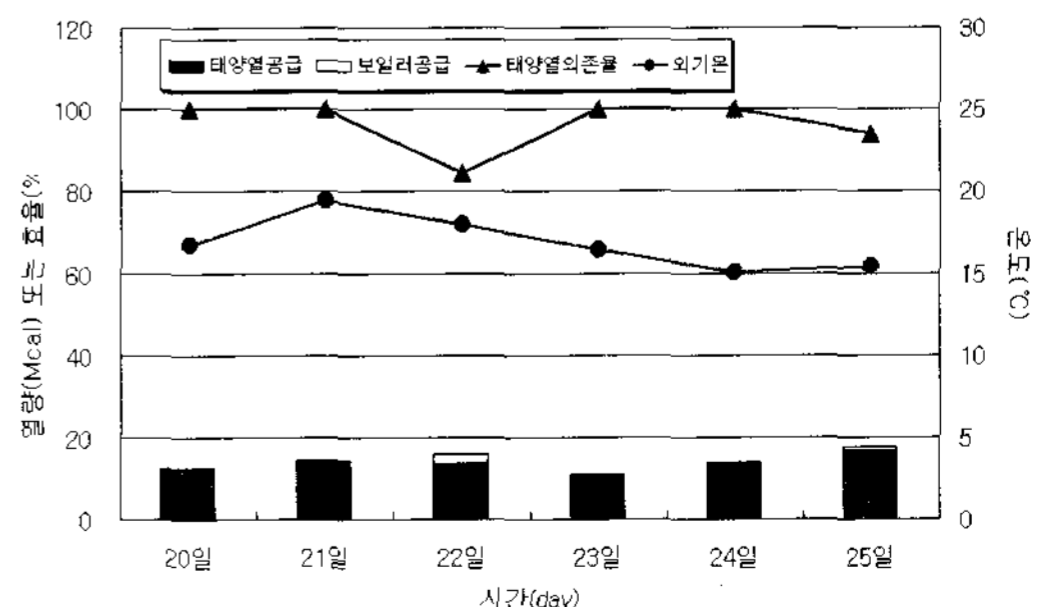


그림 11. 중간기 급탕공급 열량 및 태양열의존율

그림 12는 온수공급온도에 따른 난방온수유량 및 실온분포를 나타낸 것이다. 남측에 면한 거실 등이 북측에 면한 주방에 비해 지속적으로 2 ~ 3°C 높은 온도분포를 나타내고 있으나, 각 실의 온도편차는 2°C 이하 범위로서, 동절기 실험에 비해 더욱 안정된 온도분포를 보이고 있다.

난방 온수공급온도와 공급패턴을 살펴보면 동절기와 거의 유사한 형태로서 상대적으로 고온수로 공급되는 난방축열조의 펌프 가동시간이 짧고 실온 변화가 큰 것을 알 수 있다. 일평균 3회의 온수공급이 이루어지고 있으며, 온수공급시간은 370분으로 동절기와 비슷한 운전 시간을 나타냈다.

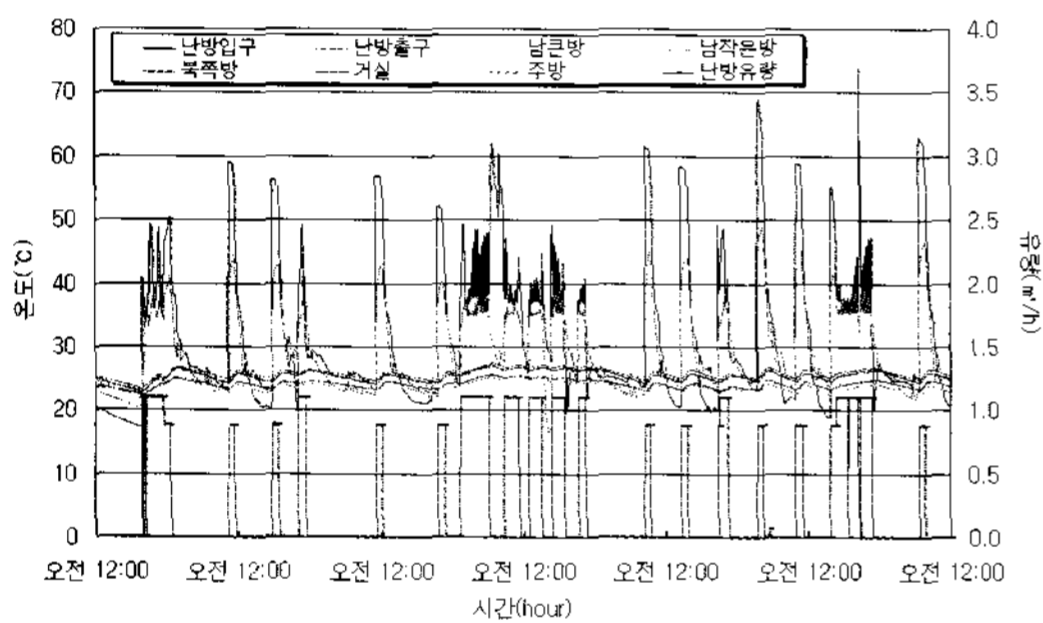


그림 12. 중간기 난방유량 및 실온분포

그림 13은 중간기의 남측 거실과 북측실의 바닥 온도분포를 나타낸 것이다. 순환펌프 가동 시 온수 온도의 표면온도는 공급온수온도에 따라 큰 변화를 나타내고 있으며, 최저24°C에서 최대38°C 정도의 표면온도를 나타내어 동절기와 거의 유사한 열적 거동을 보이고 있다. 온수관 직상부와 중간부의 바닥 온도차를 비교하면 북측실에 비해 남측 거실의 온도 편차가 다소 크게 나타나, 온수관 직상부의 온도는 최고 38°C의 분포를 나타내어 높은 공급온수온도에도 불구하고 과열의 우려는 없으며, 중간부의 최저온도 또한 약 30°C로서 중간기에도 열적 쾌적감 측면에서도 무리가 없는 것으로 판단된다. 온수공급이 중단되는 경우 중간부와 직상부의 바닥표면온도는 실온과 거의 동일한 온도분포를 보이고 있다.

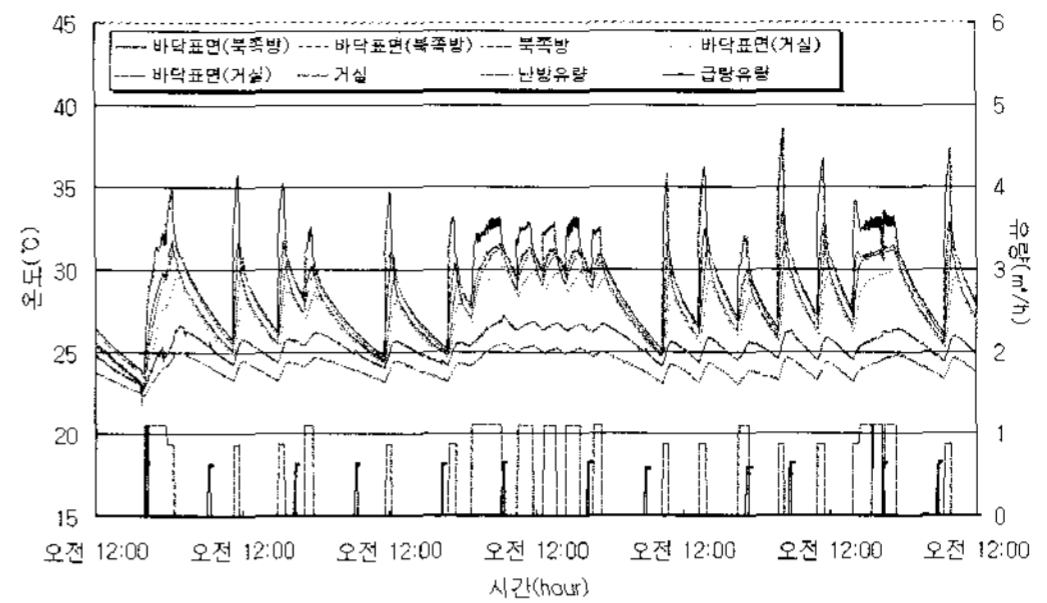


그림 13. 중간기 실온 및 바닥표면온도

그림 14는 동절기 실험에서 제외되었던 급탕공급이 실시된 상태에서 중간기 실험기간 중 축열조 온도분포를 나타낸 것이다. 축열과정에서 난방 축열조의 분리막에 의해 간접 가열되는 급탕 축열조의 온수온도는 50°C이상 상승하고 있다. 오후 온수사용에 따라 시수가 유입되면서 급탕 축열조의 온수온도는 5~8°C 정도 급격히 낮아지고 있으나 점차 다시 상승하고 있다. 평균 시수온도 17°C를 고려할 때 급탕 축열조의 온도 하강은 상대적으로 적은 것을 알 수 있다. 이것은 난방 축열조 하부의 열교환기에 의한 충분히 예열된 시수가 급탕 축열조로 공급되고 있기 때문이며, 이 과정에서 난방 축열조의 하부 온도가 낮아지고 있다. 오전의 경우 급탕 축열조의 온도저하는 오후에 비해 크게 나타나며, 이것은 난방 온수공급에 따라 난방 축열조의 온도저하에 따라 예열 열교환기에서 충분한 시수 예열이 이루어지지 않고 있는 것을 의미한다.

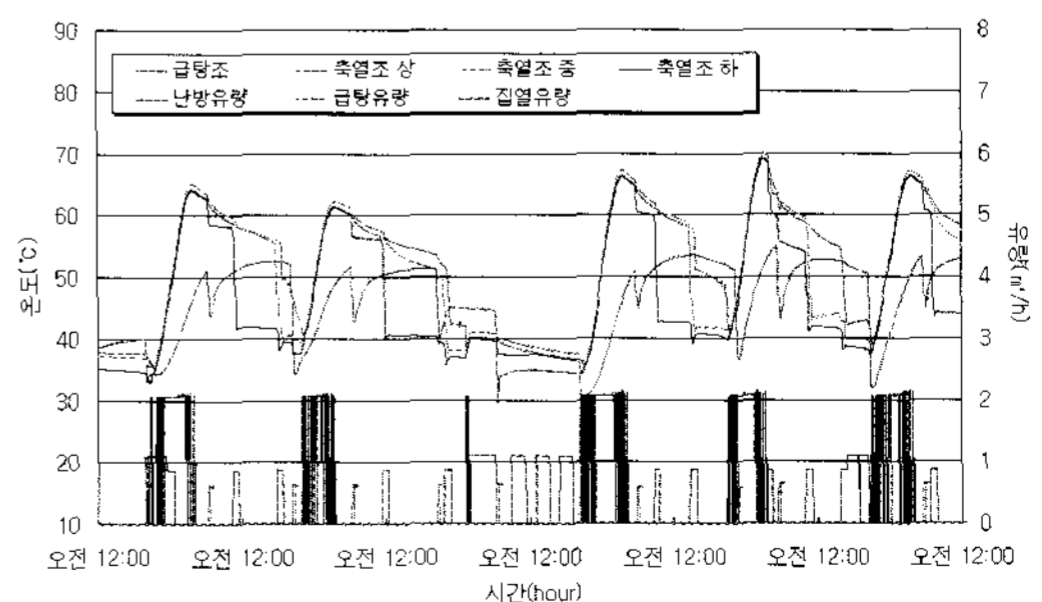


그림 14. 중간기 축열조 내부 온도분포

### 4.3 하절기 실험

하절기 실험은 기본적으로 난방부하 감소와 과열에 따른 태양열 시스템의 내구성을 평가하기 위하여 실시하였다. 실험은 일조조건이 상대적으로 우수한 6월 1일부터 6월 6일까지 6일간으로 실시하였으며 축열조에 대한 열적거동만을 분석하였다.

그림 15는 하절기 실험기간 중 축열조 온도분포를 나타낸 것이다. 일사량의 증가와 난방부하의 감소로 태양열 시스템의 과열로 인한 문제가 우려되었으나 시스템의 작동에 전혀 문제가 없는 것으로 관찰되었다. 일사조건이 양호한 연속 3일 동안 난방공급이 이루어지지 않은 난방 축열조의 온도는 85°C까지 상승하고 있으며, 급탕 축열조의 온도 또한 최대 80°C까지 올라가는 것을 알 수 있다. 하절기 급탕공급의 경우 과열에 의한 화상우려가 일부 우려되며 이에 대한 대책이 요구된다.

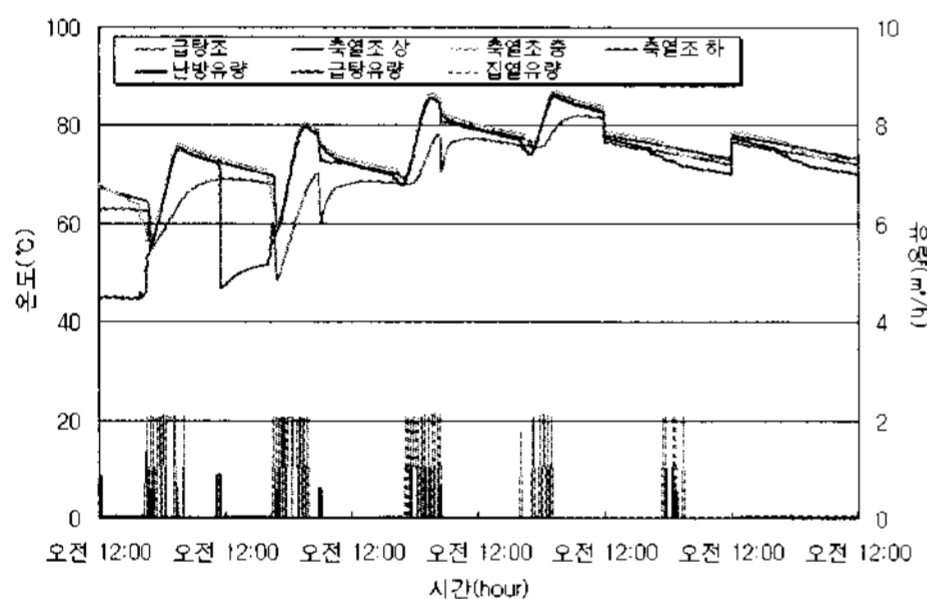


그림 15. 하절기 축열조 내부 온도분포

### 5. 결 론

본 연구에서는 공동주택에 적용되는 태양열 난방 및 급탕시스템의 적용 타당성과 최적 설계기법을 확보하기 위한 목적으로, 현재 시공 중인 아파트를 대상으로 시스템의 열적 거동에 관한 실증실험을 실시하였다. 태양열 시스템의 규모는 태양열 의존율 60%를 목표로 설계되었으며, 그 결과 집 열면적은 44.6m<sup>2</sup>로 하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 태양열 시스템을 기존의 난방 및 급탕시스템과 연계하는 경우 제어나 운전상의 문제점은 발생하지 않았다. 동절기 난방성능 실험 결과 평균 외기온 5.1°C인 상태에서 평균 난방공급 열량과 평균 태양열 의존율은 각각 56Mcal와 69%를 나타냈으며, 실온 및 바닥온도 또한 적절하게 제어되었다.

둘째, 급탕 실험이 추가된 중간기 실험 결과, 난방시스템의 경우 동절기와 거의 유사한 온열환경으로서 우수한 열성능을 나타냈으며 이중탱크형의 간접 열교환 방식으로 설계된 일체형 급탕축열조의 경우 평균 급탕 태양열 의존율은 96%로서 온수공급에 문제가 없는 것으로 분석되었다.

셋째, 하절기 일사량의 증가와 난방부하의 감소로 태양열 시스템의 과열발생에 의한 고장이 우려됐으나 시스템의 작동에 전혀 문제가 없는 것으로 평가되었다. 그러나 이 기간 동안 급탕 축열조의 온도는 80°C까지 상승하여, 급탕사용 시 과열에 의한 화상우려가 일부 우려되며 이에 대한 대책이 요구된다.

후 기

이 연구는 학술진흥재단 2003년도 지역대학우수과학자지원사업 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: D00733(R05-2003-000-11717-0)

### 참 고 문 헌

1. 신우철, 백남춘, "설비형 태양열시스템 설계분석 프로그램 개발", 한국태양에너지학회논문집, 제 23권, 제 4호, pp. 11-20, 2003.
2. 김종현, 신우철, 백남춘, 장문석, "아파트적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열성능 분석", 한국태양에너지학회 2004년 춘계학술발표회 논문집, pp. 98-102, 2004