

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 4, 2006

# 태양열 시스템의 제어조건에 따른 난방 및 급탕 실증연구

곽희열\*, 김정배\*\*, 주홍진\*\*\*, 김종보\*\*\*\*

\*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr), \*\*한국에너지기술연구원(doctorkjb@kier.re.kr),  
\*\*\*인하대학교 기계공학과 대학원(20wind20@naver.com), \*\*\*\*인하대학교 기계공학과(cbkim@inha.ac.kr)

## Demonstration study on Heating and Hot water According to Control Condition of Solar System

Kwak, Hee-Youl\*, Kim, Jeong-Bae\*\*, Joo, Hong-Jin\*\*\*, Kim, Jong-Bo\*\*\*\*

\*Korea Institute of Energy Research, Renewable Energy Research Dept(hykwak@kier.re.kr)  
\*\*Korea Institute of Energy Research, Renewable Energy Research Dept(doctorkjb@kier.re.kr)  
\*\*\*Dept. of Mechanical Eng, Graduate School, Inha University(20wind20@naver.com)  
\*\*\*\*Dept. of Mechanical Eng, Inha University(cbkim@inha.ac.kr)

### Abstract

This study describes thermal performance of heating and cooling demonstration system using ETSC(Evacuated tubular solar collector) installed at Seo-gu art center of Kwangju. For demonstration study, a reading room with about 350m<sup>2</sup> was heated and cooled using that system. The demonstration system was consisted of ETSCs, storage tank, hot water supply tank, subsidiary boiler, and subsidiary tank.

From January to March in 2006, demonstration test were performed with 4 control mode to find the optimum control condition for solar thermal system. After experiments and analysis, this study found that solar thermal system of control mode IV was corresponded to 78% for the hot water supply and 49% for space heating.

Keywords : ETSC(Evacuated tubular solar collector) 진공관형 집열기, 태양열급탕 (Solar hot water), Solar Heating system (태양열난방), Demonstration Study (실증연구)

### 1. 서론

신재생에너지원 중에서 비교적 적은 연구개발 비용과 짧은 연구개발 기간에 다양한 분야에 실용화가 가능한 자원중의 하나가 바로 태양열이다. 그 동안 태양열 이용기술의 실용화는 평판형 태양열 집열기를 이용한 가정용 태양열 온수기를 중심으로 보급이 활발하게 진행되어 왔다. 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은 온도(60℃ 이하)가 요구되는 온수 급탕 및 난방 보조 열원으로 높은 효율을 나타내는 집열기이지만, 60℃ 이상의 열원을 요구하는 건물 난방 및 냉방용으로의 이용은 효율적이지 못하다. 따라서 고효율 중온용 태양열 집열기술의 개발 및 실용화 연구가 필요하다. 이런 중온용 집열기를 이용하여 보급 잠재력이 큰 건물 냉난방, 산업공정열 등의 새로운 적용분야에 대한 이용기술의 개발이 또한 절실히 요구된다.

따라서 우리나라 환경에 적합하고, 온수급탕 뿐만 아니라 건물의 냉난방 및 산업 공정열 적용이 가능한 중온용 고효율 진공관형 태양열 집열기를 이용한 태양열 냉난방시스템의 실증 연구가 현재 광주 서구문화센터에서 진행 중이다.

본 논문에서는 태양열 냉난방시스템 중 냉방시스템을 제외한 2006년 1월부터 3월까지 동절기 기간의 제어조건에 따른 태양열 난방 및 온수급탕에 대한 열성능 실험을 수행하였으며 냉방을 제외한 난방 및 온수급탕 시스템에서의 태양열 이용 효율을 극대화하며 보조난방의 사용을 최소화하고 태양열 난방에 사용되고 남은 잉여열원을 급탕에너지에 최대한 사용할 수 있는 최적의 제어조건을 찾고자 하였다. 이를 위해 난방 및 급탕 운전조건을 변화시켜 4가지의 제어모드를 구축하였고, 이 모드들의 성능특성을 실험적으로 측정하고 정량적으로 분석하였다. 표 1은 실증 실험기간에 주어졌던 조건을 나타내는 표이며 제어 조건으로는 난방 공급 조건 (축열조 상단온도), 급탕 공급 조건 (축열조 상단온도), 난방 가동 조건 (열람실 실내온도)이다.

표 1. 제어조건

제어모드	제어조건			비고
	난방공급 축열조 상단온도	급탕공급 축열조 상단온도	난방가동 열람실 실내온도	
I	50℃ ≥ ON 45℃ ≤ OFF	55℃ ≥ ON 50℃ ≤ OFF	22℃ ≥ ON 24℃ ≤ OFF	1월5일-2월1일
II	40℃ ≥ ON 35℃ ≤ OFF	50℃ ≥ ON 45℃ ≤ OFF	22℃ ≥ ON 24℃ ≤ OFF	2월2일-2월9일
III	40℃ ≥ ON 35℃ ≤ OFF	50℃ ≥ ON 45℃ ≤ OFF	20℃ ≥ ON 22℃ ≤ OFF	2월10일-3월9일
IV	40℃ ≥ ON 35℃ ≤ OFF	40℃ ≥ ON 35℃ ≤ OFF	21℃ ≥ ON 23℃ ≤ OFF	3월10일-3월31일

### 2. 진공관형 태양열 집열기

현재 태양열 이용분야에서 가장 널리 보급되어 있는 분야는 평판형 태양열 집열기를 이용한 가정용 태양열 온수기와 강제 순환형 태양열 온수급탕 시스템이다. 그러나 궁극적으로 대체에너지로써 태양열 분야의 최종목표는 온수급탕 뿐만 아니라 에너지 수요가 큰 중온(60-150℃) 영역의 냉·난방과 산업 공정열 분야의 열원을 안정적으로 확보하는데 있다. 그림 1에서 보는바와 같이 진공관형 집열기는 열 응답성이 빠르고 열수송 능력이 탁월한 히트파이프를 사용하며, 태양열 흡수판과 외부사이에 진공상태를 유지함으로써 평판형 집열기와 달리 외부로의 열손실이 없으므로 중온 영역에서도 높은 효율을 유지하는 것을 알 수 있다. 따라서 중온 범위에서 안정적으로 작동하며, 건물의 난방 및 냉방용으로 적합하다.

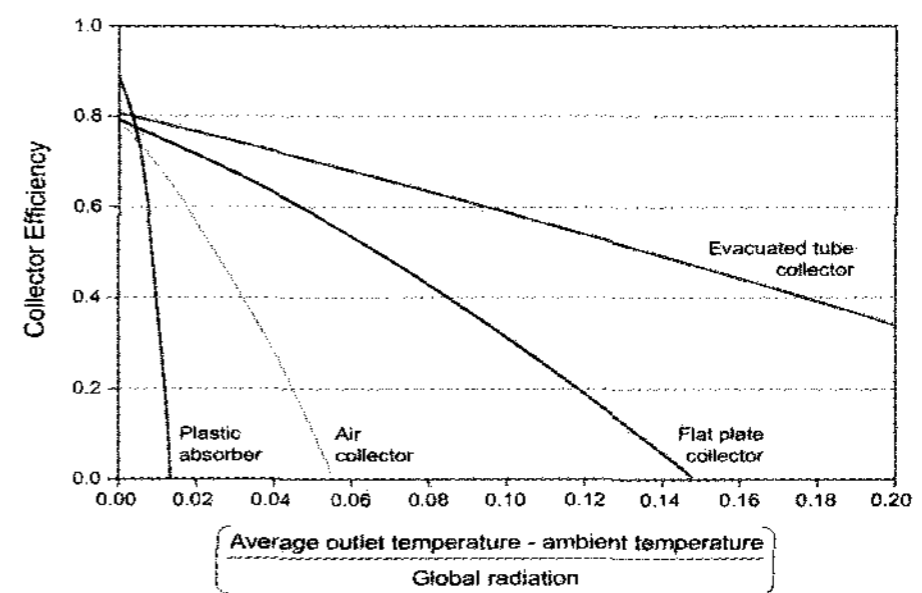


그림 1. 태양열 집열기 성능곡선

### 3. 태양열 난방 및 급탕 실증 시스템

#### 3.1 실험 대상 건물

표 2는 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 2. 대상건물

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

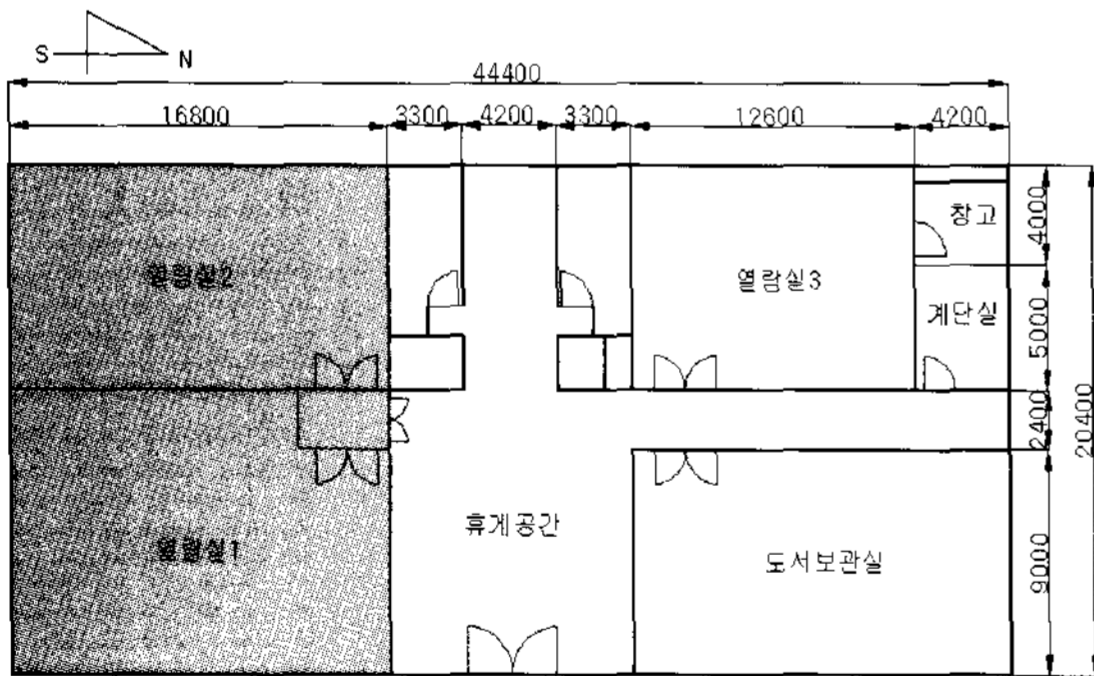


그림 2. 서구문화센터 3층 평면도

#### 3.2 실증시스템 개요

그림 3은 서구문화센터 옥상에 설치된 진공관형 집열기를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 건물의 옥상 휴게 공간 상부에 캐노피 형태로 계획하여 차양시설의 역할도 수행 하도록 기능적인 면과 외형적인 면을 동시에 고려하여 설계하였다.



그림 3. 진공관형 집열기 설치 사진

그림 4, 그림 5는 태양열 냉난방 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 태양열 냉난방 및 급탕 시스템의 구성은 표 3과 같이 흡수식 냉동기, 냉수탱크, 냉각탑, 태양열 집열기, 축열탱크, 급탕탱크, 보조 보일러와 보조 온수탱크로 설계되었다. 이중 동절기 기간의 태양열 난방 및 급탕 시스템은 흡수식 냉동기, 냉수탱크, 냉각탑을 제외한 시스템으로 그림 5와 같다.

광주 서구문화센터에 설치한 태양열 냉난방 및 급탕 시스템은 태양에너지와 도시가스에 의하여 독립적으로 냉난방이 되도록 설계되었다. 따라서 태양에너지를 연간 최대한 사용할 수 있으며 태양에너지가 없을 때는 보조열원 (도시가스) 보일러에 의하여 운전되도록 설계되었다.

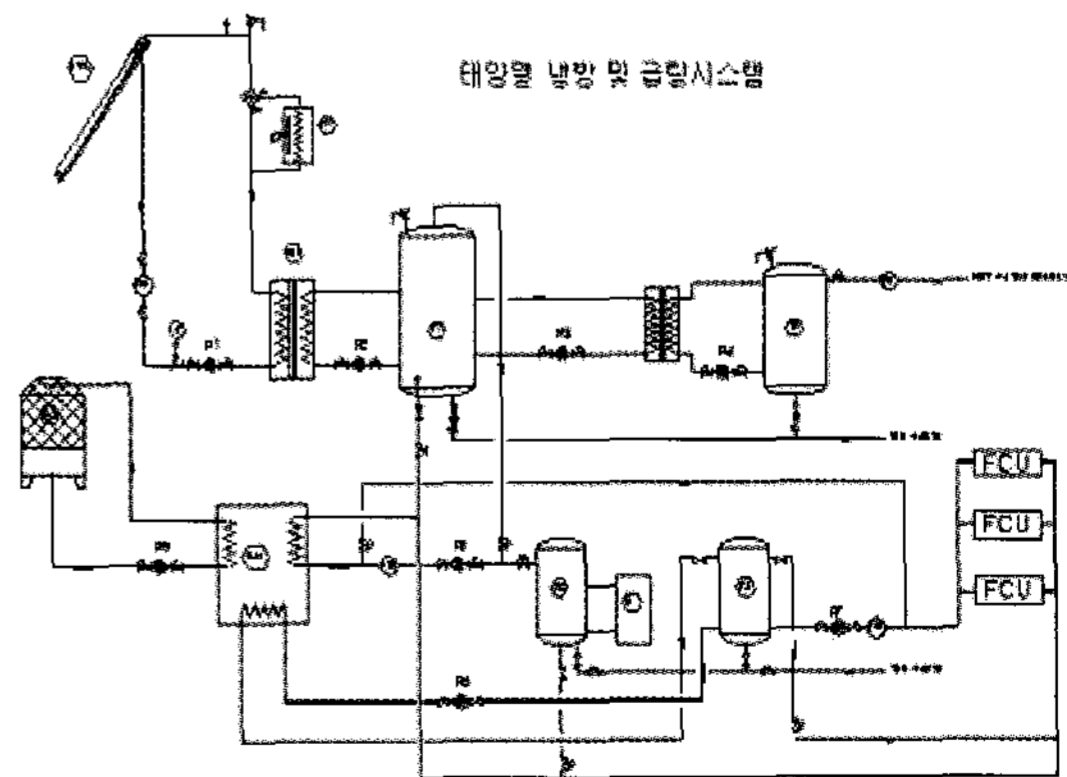


그림 4. 태양열 냉방 및 급탕시스템

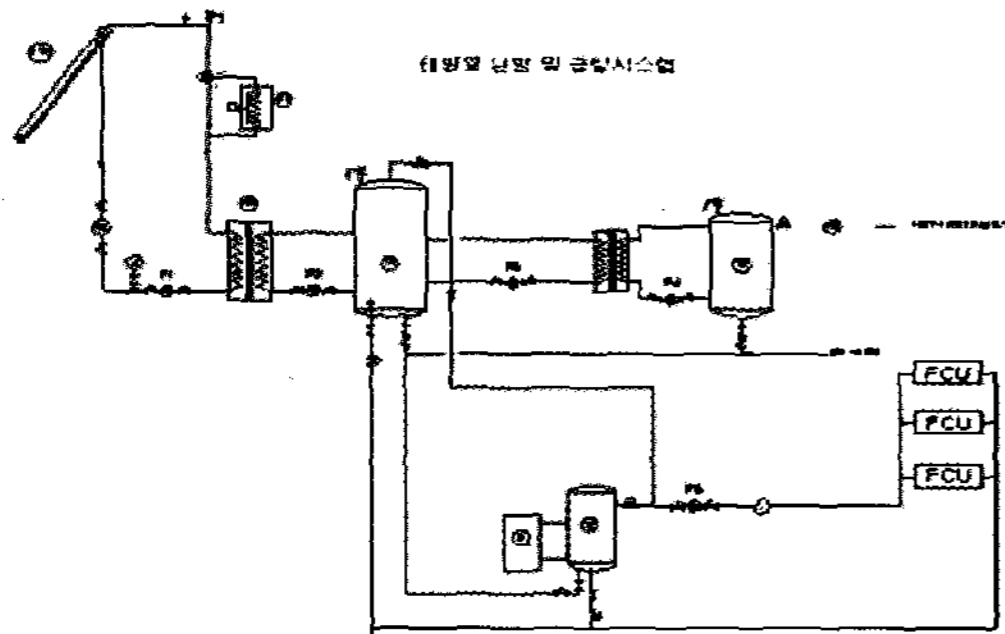


그림 5. 태양열 난방 및 급탕시스템

표 3. 태양열 시스템 사양

Items	수량	형식	명칭	용량	비고
집열기	107 Module	히트 파이프식	진공관형 집열기	Aperture Area 200m <sup>2</sup>	급탕, 냉/난방용
탱크류	1	원통입형	Solar Storage TANK	6,000 l	태양열 축열조
	1	원통입형	밀폐형 팽창탱크	200 l	급탕용
	1	원통입형	Hot Water TANK	3,000 l	온수 축열조
	1	원통입형	Auxiliary TANK	2,000 l	보일러 보조탱크
	1	원통입형	Cool water storage	2,000 l	냉수탱크
냉동기	1	일중효용 흡수식	WFC-SC10	10RT	냉방용
냉각탑	1	원형	Cooling tower	30RT	냉방용
열교환기	1	PLATE	판형 열교환기	170,000 Kcal/hr	급탕, 냉/난방용
	1	PLATE	판형 열교환기	50,000 Kcal/hr	급탕용
보일러	1	입형	가스 보일러	81.4kW	급탕, 냉/난방용

### 3.3 제어 및 모니터링

태양열 냉난방 및 급탕 시스템은 무인으로 운전할 수 있도록 시스템 제어 및 모니터링 시스템이 갖추어져 있다. 그림 6은 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.

태양열 냉난방 시스템의 운전은 3층 열람실 1, 2에 하절기에는 냉방을 동절기에는 난방을 독립적으로 공급할 수 있도록 작동되며, 난방 및 냉방에 사용되고 남은 잉여 에너지는 온수급탕에 이용하도록 설계되었다. 또한 비 난방 및 비 냉방 기간(3-4월, 10-11월)에는 태양으로 부터 획득한 모든 에너지는 온수급탕으로 이용되도록 설계되었다.

태양열 실증 시스템의 원격제어는 다음과 같은 5 가지의 제어부를 가지고 있다.

- 진공관형 태양열시스템 과열방지를 위한 방열기 팬 ON-OFF 제어
- 태양열시스템(집열기, 축열조) 펌프 ON-OFF 제어
- 열원(태양열, 보조보일러)별 온도에 따른 운전 제어
- 온수급탕을 위한 태양열 축열조 및 급탕 축열조 펌프 ON-OFF 제어
- 열람실 난방 시간 및 온도 제어

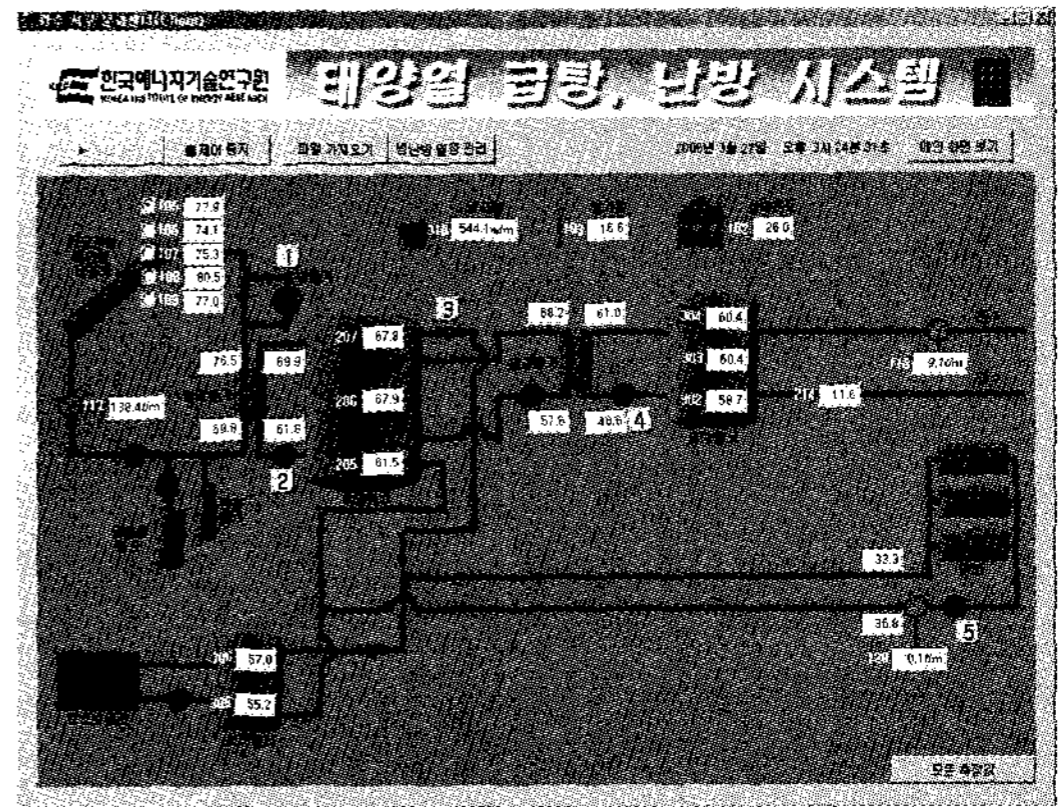


그림 6. 원격 모니터링 화면

### 4. 결과 및 고찰

2005년 8월부터 광주 서구문화센터에서 운전을 시작한 태양열 냉난방 실증시스템은 하절기 냉방모드와 동절기 난방모드로 운전되고 있다. 이 중에서 동절기 난방모드의 난방 및 급탕에너지에 대한 운전 결과를 정리하였다.

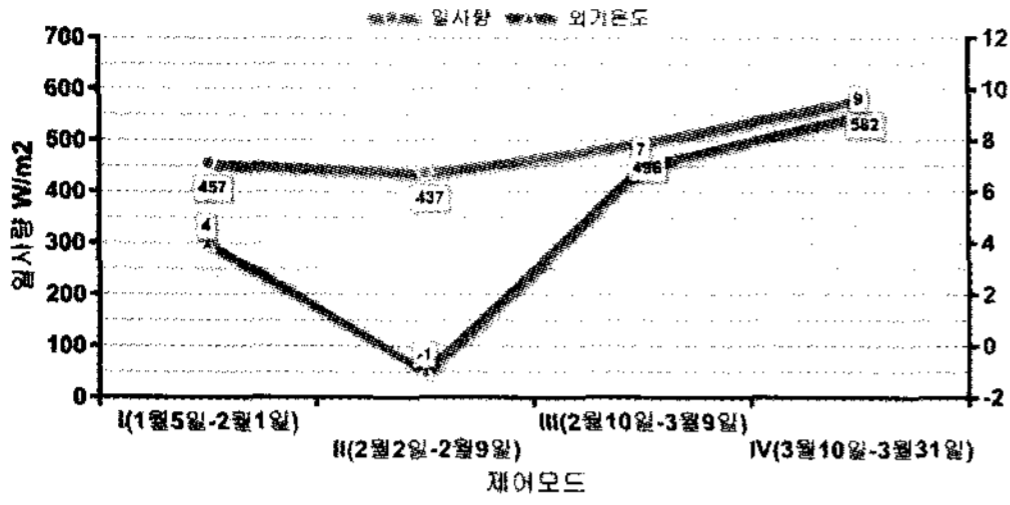


그림 7. 제어기간의 일사량 및 외기온도

그림 7은 1월 5일부터 3월 31일까지 열성능 분석 기간 동안 서구문화센터에서 측정된 평균 외기온도와 일사량을 나타낸 것이다.

kWh이며 이중 태양열 난방이 1,114 kWh 제어모드 I 기간의 열람실 실내온도는 외기온도에 상관없이 평균 22.5°C로 유지 되었으며 평균 집열 효율은 33%로 나타났다. 집열기 효율이 낮은 것은 여름철의 태양열 냉방을 위하여 진공관형 집열기의 설치 각도를 낮게 함으로써 겨울철의 낮은 입사각으로 인해 집열기의 효율이 감소한 것으로 사료된다. 제어모드 I 기간의 제어조건으로는 난방 공급조건 축열조 상단 온도 50°C ON - 46°C OFF, 급탕 공급조건 축열조 상단 온도 55°C ON - 50°C OFF, 난방 가동조건 열람실 실내온도 22°C ON - 24°C OFF로 제어하였다.

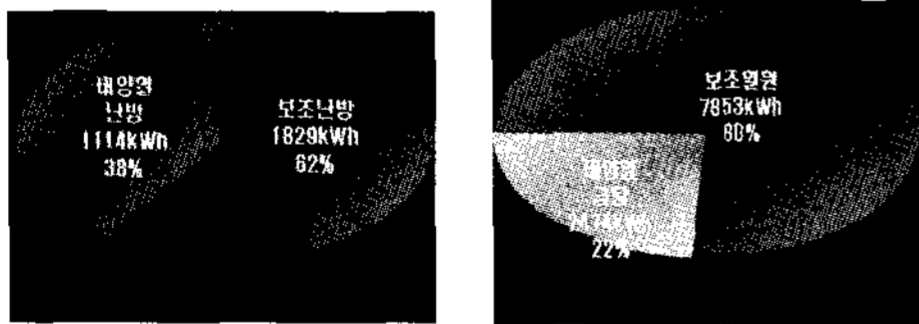
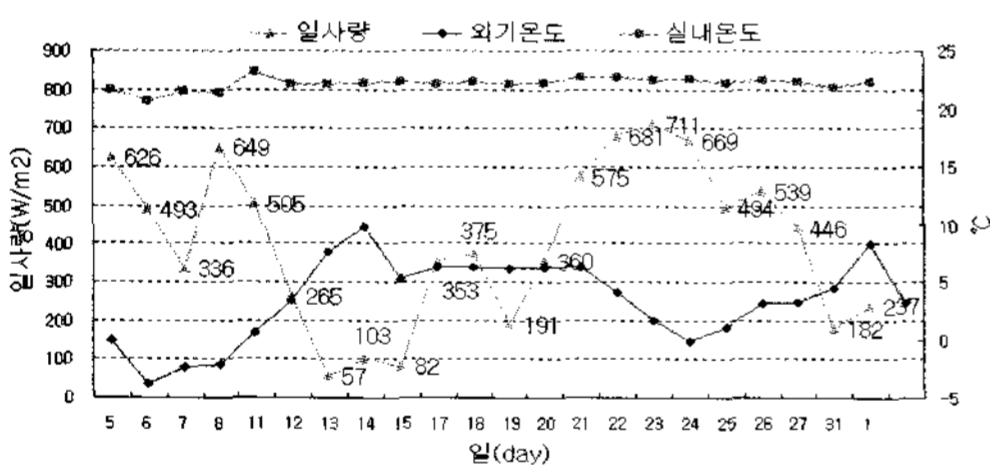
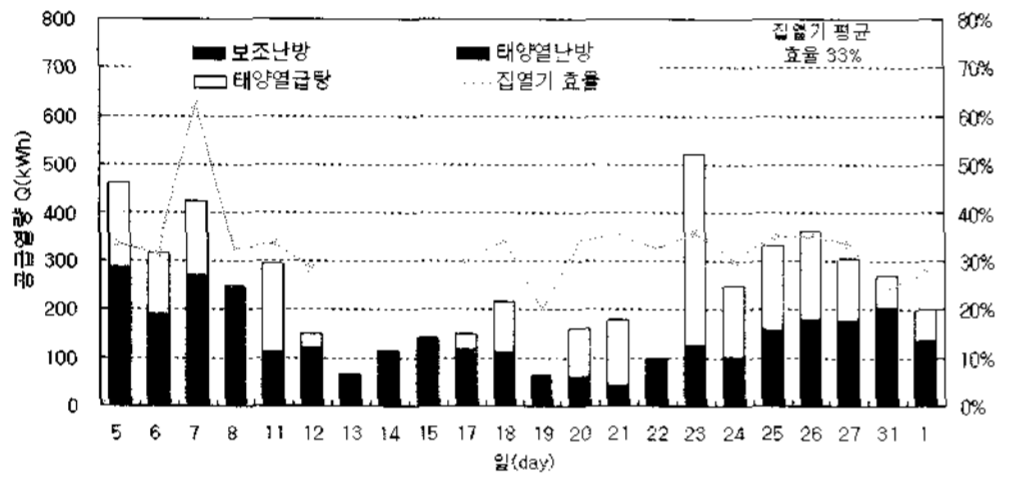


그림 8. 제어모드 I 기간의 에너지 사용분포

그림 8은 제어모드 I 기간인 1월 5일부터 2월 1일까지 특정일을 제외한 나머지 날들에 대한 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 보조난방 사용이 많았으며 외기온도와 실내온도의 차이가 커질수록 난방사용량이 증가한 것으로 분석되었다. 제어모드 I 기간의 난방에너지 사용량은 2,943

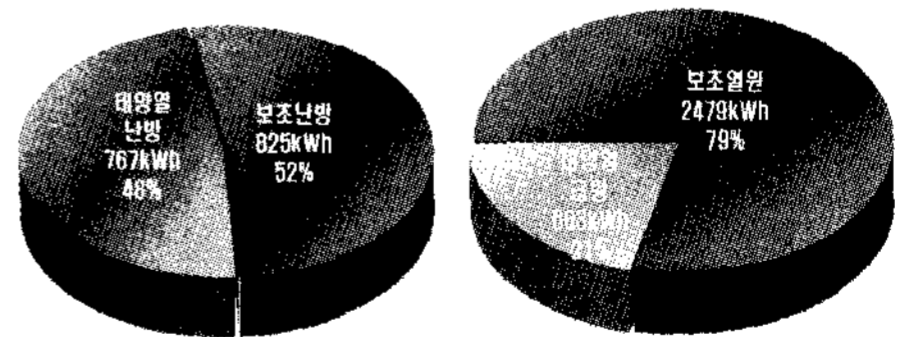
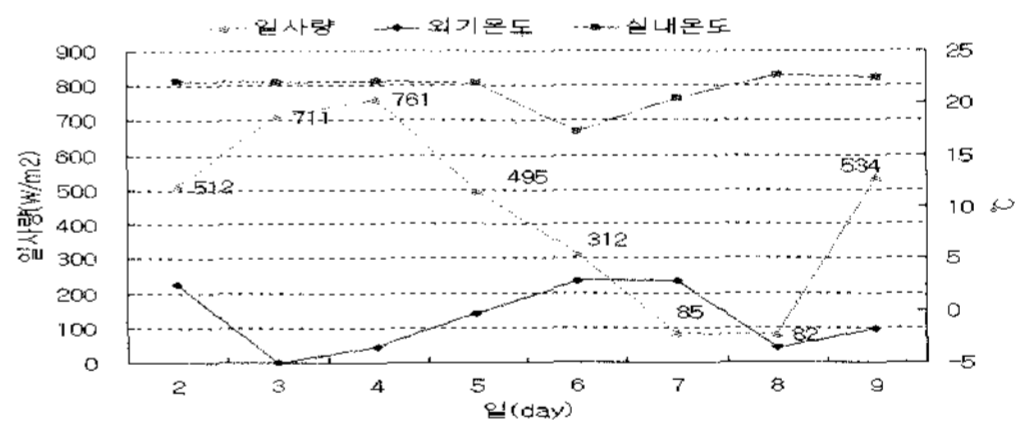
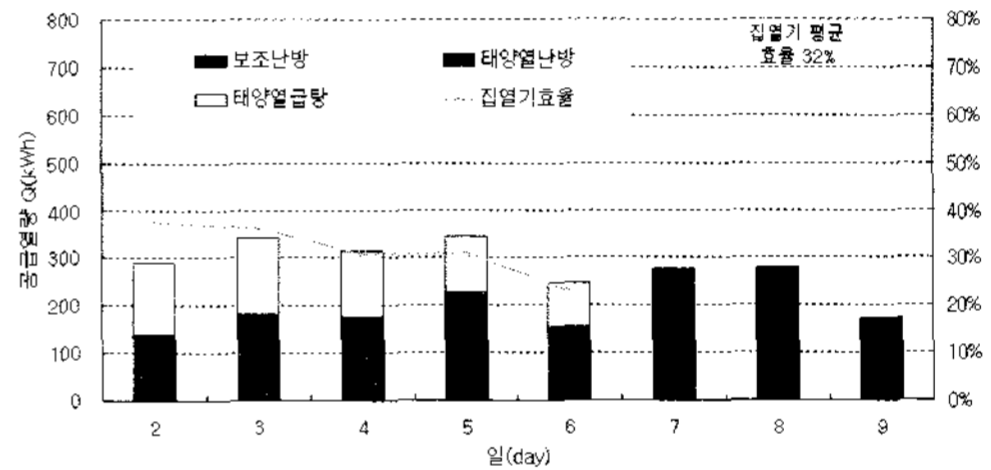


그림 9. 제어모드 II 기간의 에너지 사용분포

그림 9는 제어모드 II 2월 2일부터 2월 9일까지의 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 2월 7, 8일의 데이터를 보면 일사량이 낮음으로 인해 태양에너지 사용이 없는 것을 볼 수 있다. 9일의 경우 일사량이 높았음에도 태양에너지 사용이 없는 것은 7일과

8일 눈의 영향으로 집열기 위에 눈이 쌓여 집열기 작동이 제대로 이루어지지 않았기 때문이다. 제어 모드 II 기간의 열람실 1, 2의 난방에너지 사용량은 1,592 kWh이며 이중 태양열난방이 767 kWh로 난방에너지의 48%를 차지하였으며 제어조건 I에서의 40% 보다 8% 증가하였다. 이는 난방공급 조건인 축열조 온도를  $50^{\circ}\text{C} \geq \text{ON}$ ,  $45^{\circ}\text{C} \leq \text{OFF}$ 에서  $40^{\circ}\text{C} \geq \text{ON}$ ,  $35^{\circ}\text{C} \leq \text{OFF}$ 로 변경하여 태양열난방 의존율을 높일 수 있었다. 제어모드 II 기간의 열람실 실내온도는 평균  $22^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며 집열기 평균 효율도 제어기간 I과 비슷한 32%로 나타났다.

제어모드 II에서 태양열난방에 사용되고 남은 잉여열원을 통한 태양열급탕에너지는 663 kWh로 제어모드 II 기간에서의 급탕에너지 사용량 3,141 kWh의 21%를 난방에너지에 사용하고 남은 잉여열원으로 공급하였다.

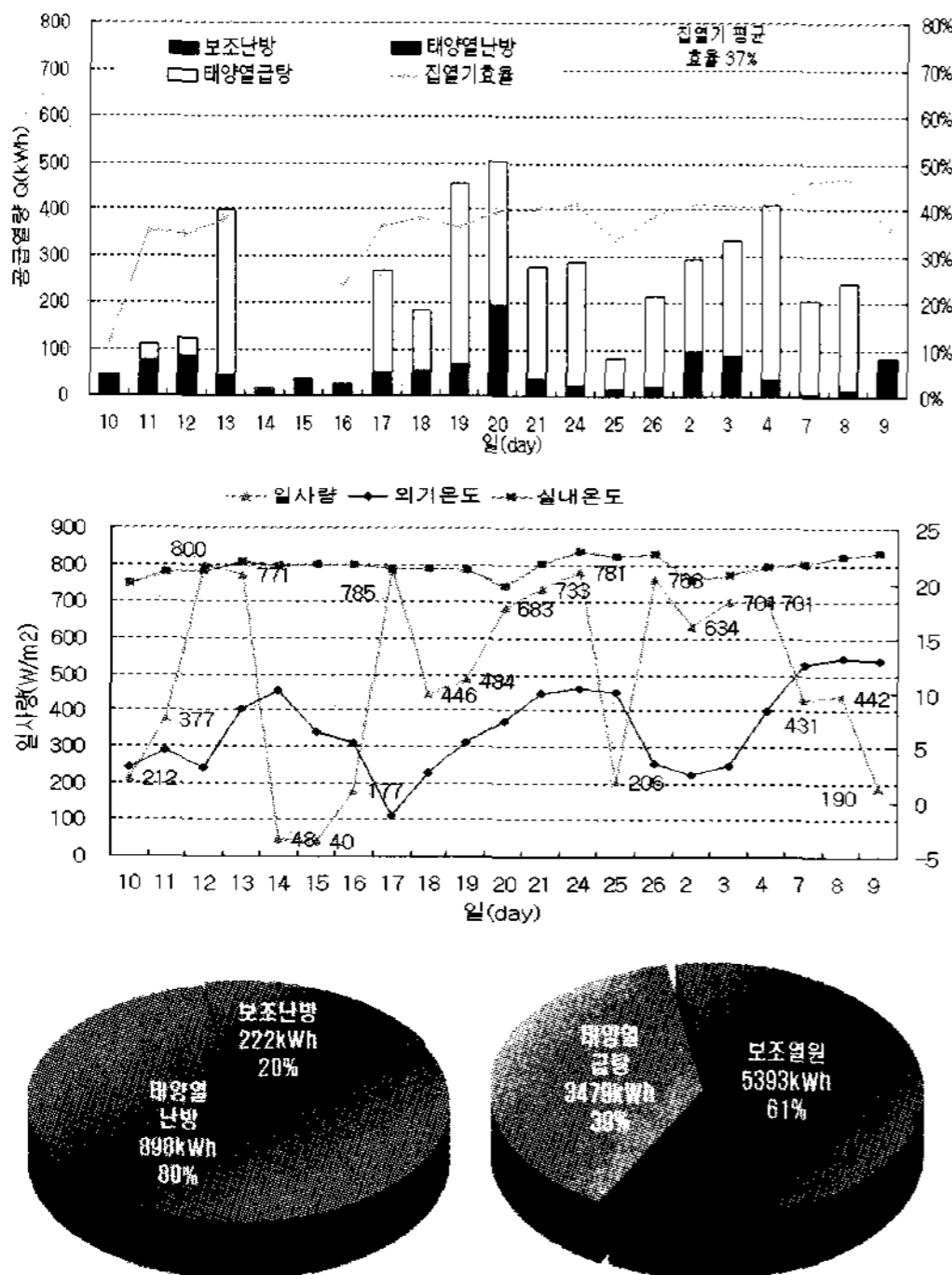


그림 10. 제어모드 III 기간의 에너지 사용분포

그림 10은 제어모드 III 기간(2월10일부터 3월 10일까지)의 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 제어 모드 I, II와 비교하여 난방 에너지 사용량이 감소한 것과 태양열 급탕 사용량이 급격히 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 실내 난방 가동 조건인 열람실 실내온도를 제어모드 II의  $22^{\circ}\text{C} \leq \text{ON}$ ,  $24^{\circ}\text{C} \geq \text{OFF}$ 에서  $20^{\circ}\text{C} \leq \text{ON}$ ,  $22^{\circ}\text{C} \geq \text{OFF}$ 로 변경함으로써 난방에너지 사용량을 줄이는 동시에 태양열 난방 의존율과 태양열 급탕 공급량을 높일 수 있었다.

태양열 난방의 의존율이 급격히 증가한 이유는 따뜻해진 외기온도와 난방 부하량을 줄여서 높아진 이유도 있지만 FCU로 보내지는 난방 공급 온수의 온도를 적정 수준으로 낮춤으로써 실내온도는 제어모드 I, II의 평균 실내온도  $22^{\circ}\text{C}$  보다 약  $0.5^{\circ}\text{C}$  낮은  $21.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 또한 난방 가동 조건인 실내온도를  $22^{\circ}\text{C} \text{ ON}$ ,  $24^{\circ}\text{C} \text{ OFF}$ 에서  $20^{\circ}\text{C} \text{ ON}$ ,  $22^{\circ}\text{C} \text{ OFF}$ 로 바꿔줌으로써 난방에 사용되는 보조열원을 최소화 할 수 있었다. 제어모드 III 기간의 난방에너지 사용량은 1,119 kWh이며 이중 태양열 난방이 897 kWh로 태양열 난방 의존율을 80% 이상 높일 수 있었다. 제어모드 III 기간의 잉여열원을 통한 태양열 급탕에너지 사용량은 전체 급탕에너지 사용량 13,009 kWh의 27%인 3,479 kWh로 나타났으며 제어모드 I, II의 급탕에너지 기여도 보다 약 7% 이상이 증가한 것으로 분석되었다.

그림 11은 제어모드 IV 기간(3월 10일부터 3월 31일까지)의 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 그림 10에서와 같이 열람실 평균 실내온도가 증가한 것을 알 수 있다. 이는 실내 난방 가동조건인 열람실 실내온도를  $20^{\circ}\text{C} \leq \text{ON}$ ,  $22^{\circ}\text{C} \geq \text{OFF}$ 에서  $21^{\circ}\text{C} \leq \text{ON}$ ,  $23^{\circ}\text{C} \geq \text{OFF}$ 로 변경함으로써 열람실 실내온도가 제어모드 III의  $21.5^{\circ}\text{C}$ 에서 평균  $22.9^{\circ}\text{C}$ 로 높아졌다. 그림에서 보듯이 제어모드 IV는 잉여열원을 통한 태양열 급탕 공급량이 더욱 증가한 것을 볼 수 있는데, 이것은 태양열 급탕 공급 조건인 축열조 상단 온도를  $50^{\circ}\text{C} \geq \text{ON}$ ,  $45^{\circ}\text{C} \leq \text{OFF}$ 에서

40°C ≥ ON, 35°C ≤ OFF로 낮춤으로써 태양열 급탕 이용효율이 증가한 것으로 분석 되었다.

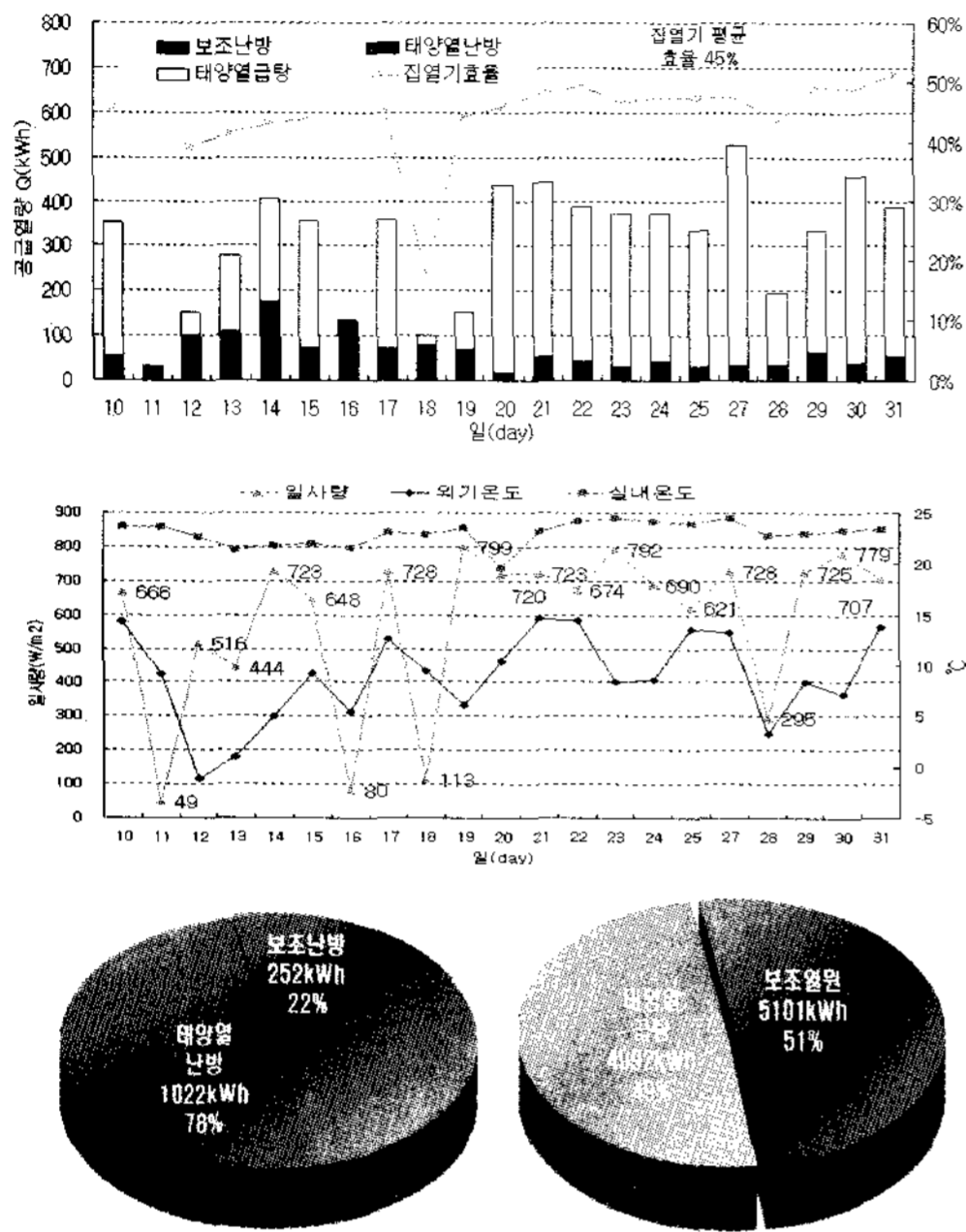


그림 11. 제어모드 IV 기간의 에너지 사용분포

제어모드 IV 기간의 태양열 난방의존율은 78%로 제어모드 III과 비슷하나 태양열 급탕 의존율은 49%로 제어모드 III에서 보다 약 10%정도가 높아졌다. 제어모드 IV 기간의 난방에 사용된 총 에너지량은 1274 kWh이며 이중 태양열 난방이 1022 kWh로 난방에너지의 78%를 태양에너지로 사용되었다. 이는 일사량이 안 좋은 날을 제외하면 대부분의 난방에너지는 태양에너지만으로 사용할 수 있었다.(3월 난방에너지 사용 기준) 또한 난방 에너지와 동시에 급탕에 사용된 태양 에너지량은 4992 kWh로써 전체 급탕에 사용된 에너지량 10093 kWh의 49%를 태양에너지로 사용되었다. 태양열의존율이 이렇게 높은 것은 외기온도의 상승으로 인한 난방에너지 사용량이 감소한 것도 있지만 난방을 하기 위해 열람실 안에 설치되어있는 FCU로 보내는 온수의 온도를 적정수준으로 낮춤

으로 인해서 난방에 사용되는 태양에너지의 의존율을 높일 수 있었다. 게다가 실내온도를 평균 1°C정도만 낮춰도 보조 난방의 사용을 최소화 할 수 있었다. < 참고 : 2006년 3월 일사량은 평년에 비하여 매우 높음 >

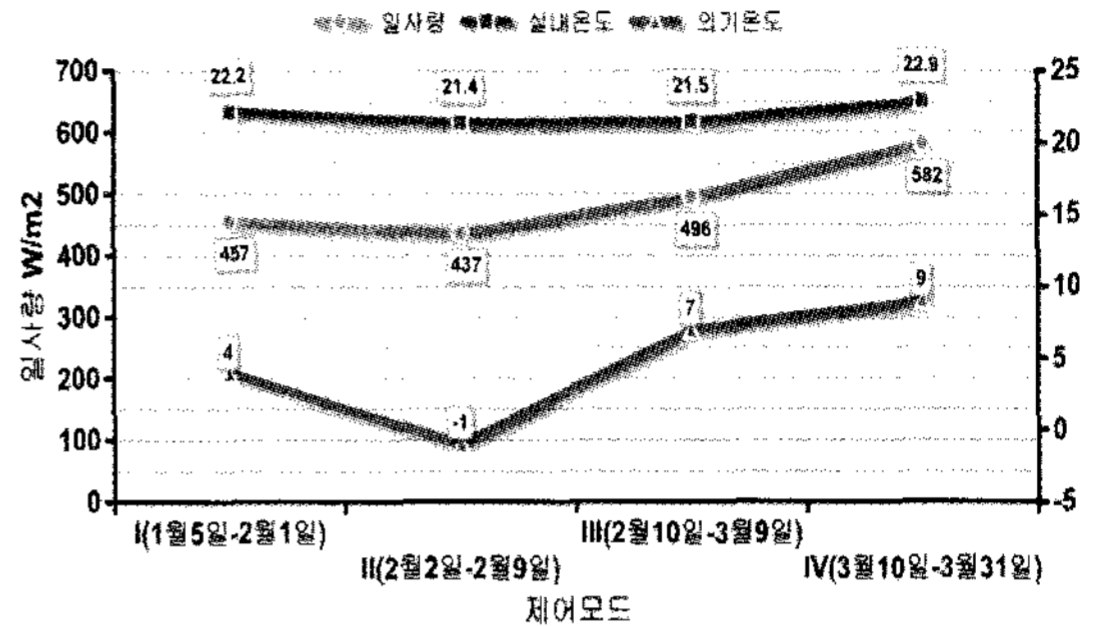


그림 12. 제어모드 기간의 실내온도 및 외기온도

그림 12는 4가지 제어모드 기간의 평균 실내온도와 외기온도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 외기온도의 영향에 상관없이 열람실 실내온도를 거의 일정하게 유지시킬 수 있도록 난방 시스템을 가동하였다.

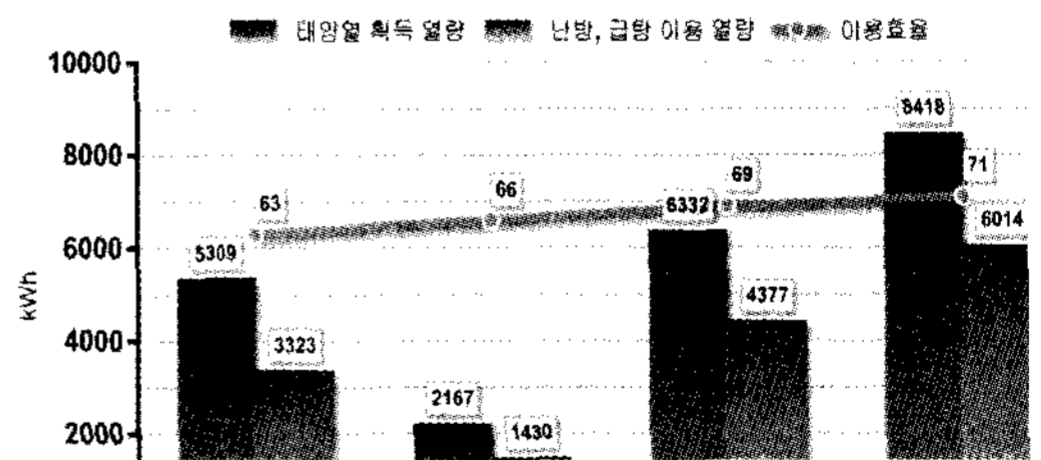


그림 13. 제어모드 기간의 태양열 획득에 따른 이용 효율

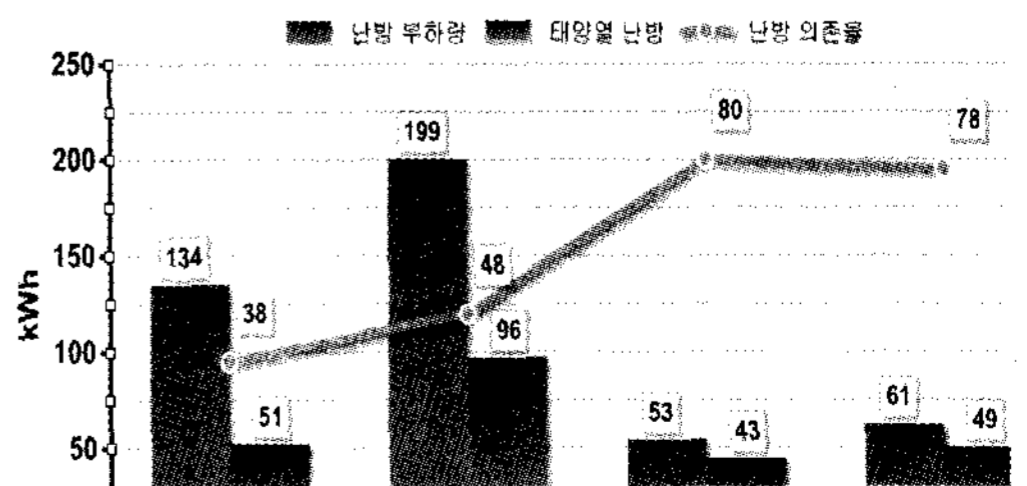


그림 14. 제어모드 기간의 일평균 태양열 난방 의존율

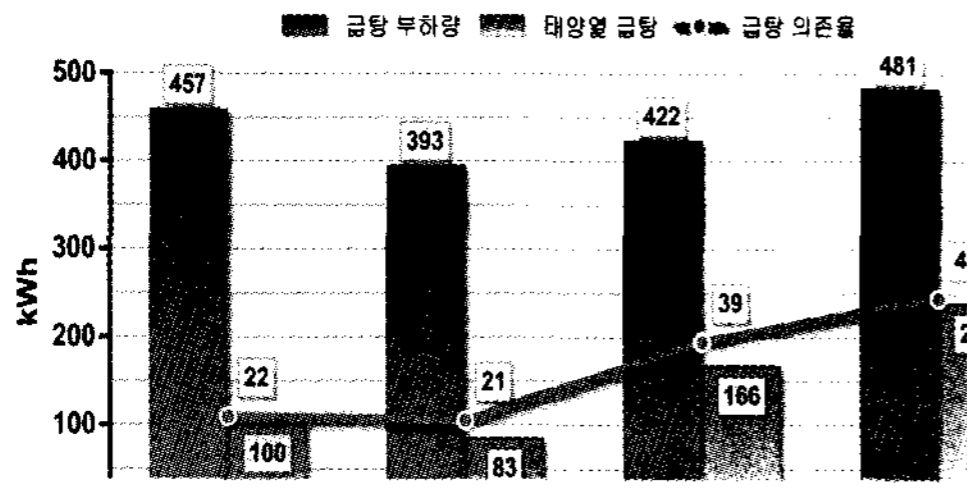


그림 15. 제어모드 기간의 일평균 태양열 급탕 의존율

그림 13~15는 실증 시스템의 태양열 이용 효율과 태양열 난방 및 급탕의 의존율을 제어모드 별로 보여주고 있다. 다른 제어모드로 작동된 4가지 기간 중 태양열 획득에 대한 이용효율은 그림 13에서처럼 70%로 동일한 반면 그림 13과 그림 14에서 보듯이 제어조건이 바뀔수록 태양열급탕 및 난방의 의존율은 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 3가지 제어조건인 난방 공급조건(축열조 온도), 급탕 공급조건(축열조 온도) 및 난방 가동조건(실내 온도)의 제어를 통해 보조 에너지 사용량은 줄이며 태양열 난방 및 급탕의 의존율을 높일 수 있는 제어모드를 구축할 수 있었다.

### 5. 결론

국내 처음으로 광주 서구문화센터에 설치된 태양열 급탕 및 냉난방 실증시스템을 운전하면서 동절기 기간인 1월부터 3월까지 4가지 제어모드에 따른 난방 및 급탕 성능을 분석하였다.

- 광주서구문화센터에 설치된 태양열 실증시스템은 국내 기술로 실용화 된 단일 진공관형 태양열 집열기, 축열조(태양열, 온수급탕, 보조보일러, 냉수), 팽창탱크, 보충수 탱크, 보조보일러, 10RT 1중 효율 흡수식 냉동기, 냉각탑 그리고 원격제어 및 모니터링 시스템으로 구성되어 있다.
- 실증장소인 광주서구문화센터는 서구 주민들을 위한 문화 공간으로 공연장, 헬스장, 에어로빅장, 열람실 등의 편의시설을 갖추고 있다. 태양열 냉방

및 난방 면적은 약 100평인 열람실 I, II에 난방과 동시에 단독 공급되도록 하였고, 하절기 냉방과 동절기의 난방을 공급하고 남은 잉여에너지는 온수급탕에 사용되고, 비 냉난방 기간에는 집열에너지의 전부를 급탕에 공급되도록 설계하였다.

- 동절기 태양열 난방 시스템의 경우 일사량이  $600W/m^2$  이상으로 쾌청한 날의 경우 태양열 난방 시간이 평균 10시간으로 열람실 1, 2에 필요한 난방에너지를 대부분 태양열로 공급하였고, 일사량이  $400-600W/m^2$  날의 경우 태양열 난방 시간은 평균 8시간을 태양열로 난방이 공급되는 것으로 분석되었다.
- 열람실의 특성상 내부에서 발생하는 인체발열량에 의한 난방 부하 감소로 인해 비교적 적은 양의 난방에너지로도 열람실내의 온도를 적정 온도를 유지할 수 있는 것으로 분석 되었다.
- 동절기 기간인 1월부터 3월까지 4가지 제어모드에 따른 난방 및 급탕 성능을 분석함으로써 태양열 시스템의 궁극적인 목적인 보조난방 사용을 최소화하였고 태양열 이용 효율을 극대화 할 수 있는 태양열 난방 및 급탕 시스템의 제어조건을 구축할 수 있었다.
- 제어모드 IV에 의해 열람실 1, 2에 공급되는 난방 에너지 중 태양열 난방 의존율을 78% 까지, 동시에 잉여열원을 이용한 태양열 급탕 의존율도 49% 이상 획득할 수 있었다. 이로써 보조난방 사용을 최소화하고 태양열 이용 효율을 극대화 할 수 있는 태양열 난방 및 급탕 시스템의 제어모드를 구축할 수 있었다.
- 동절기 태양열 평균 난방의존율은 61%로 분석되었으며, 잉여에너지를 이용한 태양열 급탕 의존율은 33%로 분석되었다.

### 참 고 문 헌

1. 곽희열외, "태양열 구동 흡수식 냉방시스템 실증연구", 산업자원부, 2006
2. 곽희열, 신우철, 김진희, 주홍진, 태양열 온수급탕 및 난방 실증시스템 열성능, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, 2006, 04.