대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.832~837

06-S-133

·태양열 시스템의 제어조건에 따른 난방 및 급탕 실증연구

주 홍 진†, 곽 희 열*, 김 정 배*, 김 종 보**
인하대학교 기계공학부 대학원, *한국에너지기술연구원 재생에너지연구부
**인하대학교 기계공학부 교수

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

Hong-Jin Joo*†, Hee-Youl Kwak**, Jeongbae Kim**, Jong-Bo Kim***
*Dept. of Mechanical Engineering, Inha University
**Korea Institute of Energy Research, Renewable Energy Research Dept
***Dept. of Mechanical Engineering, Inha University

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 331㎡ 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 cotnrol 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.

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

†Corresponding author
Tel.: +82+42-860-3093; fax: +82-42-860-3538
E-mail address: joo@kier.re.kr

1. 서론

신재생에너지원 중에서 비교적 적은 연구개발 비용과 짧은 연구개발 기간에 다양한 분야에 실용화가 가능한 자원중의 하나가 바로 태양열 이다. 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 요구 되는 온수 급탕 및 난방 보조 열원으로 높은 효율을 나타내는 집열기이지만, 70℃ 이상의 열원을 요구하는 건물 난방 및 냉방용으로의 이용은 효율적이지 못하다. 따라서 고효율 중고온용

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.

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 2006년 1월부터 3월까지의 제어조건에 따른 동절기의 태양열 난방 및 온수급탕에 대한 성능실험을 통하여 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. Table 1.은 실증 실험기간에 주어졌던 조건을 나타내는 표이며 제어 조건으로는 난방 공급 조건 (축열조 상단온도), 급탕 공급 조건 (축열조 상단온도), 난방 가동 조건 (열람실 실내온도)이었다.

Table 1. Control mode condition

제어조건 / 제어모드	난방 공급 조건 축열조 상단온도	급탕공급 조건 축열조 상단온도	난방 가동 조건 열람실 실내온도	비고
I	50℃≧ON 46℃≦OFF	55℃≧ON 50℃≦OFF	22℃≧ON 24℃≦OFF	1月5日-2月1日
II	40℃≧ON 35℃≦OFF	50℃≧ON 45℃≦OFF	22℃≧ON 24℃≦OFF	2月2日-2月9日
III	40℃≧ON 35℃≦OFF	50℃≧ON 45℃≦OFF	20℃≧ON 22℃≦OFF	2月10日-3月9日
VI	40℃≧ON 35℃≦OFF	40℃≧ON 35℃≦OFF	21℃≧ON 23℃≦OFF	3月10日-3月31日

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 대체에너지로서 태양열 분야의 최종목표는 온수급탕 뿐만 아니라 에너지 수요가 큰 중온(60-150℃) 영역의 냉·난방과 산업 공정열 분야의 열원을 안정적으로 확보하는데 있다. 진공관형 집열기는 열 응답성이 빠르고 열수송 능력이 탁월한 히트파이프를 사용하여 중온 범위에서 안정적으로 작동하며, 태양열 흡수판과 외부사이에 진공상태를 유지함으로써 평판형 집열기와 달리 외부로의 열손실이 없으므로 건물의 난방 및 냉방용으로 적합하다. 또한, 진공관형 집열기는 외형상의 문제점을 보완함으로써 건물의 외장적 요소로도 활용될 수 있다.

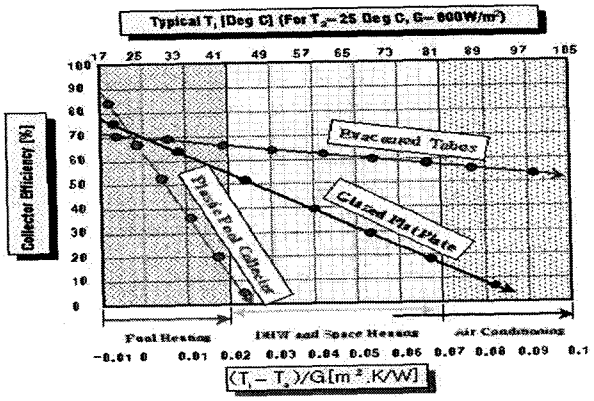

Fig. 1. Solar collector's efficiency curve

3. 태양열 난방 및 급탕 실증 시스템

진공관형 태양열 집열기를 이용한 태양열 냉난방시스템의 실증연구가 광주 서구문화센터에 부분 냉난방을 위하여 2005년 8월부터 진행 중이다.

광주 서구문화센터는 유동 인구가 많고 여러 가지 편의 시설에 필요한 온수사용량 및 냉난방 용량이 크게 요구된다. 이에 본 실증연구에서는 3층 열람실 1, 2(Fig 2, 음영부분)에 냉난방을 공급하기 위한 태양열 냉방(흡수식 10RT급, 127MJ/h) 및 난방 시스템을 설계하고 설치하였다.

서구문화센터 3층에 위치한 열람실 1, 2는 일평균이용 인원이 약 120-130명이다. 그 중에서 실증연구를 위한 태양열 난방 및 급탕시스템의 개략도는 Fig. 4와 같다 태양열 난방 및 급탕 시스템은 태양열 집열기, 축열탱크, 급탕탱크, 보조 보일러와 보조 온수탱크로 구성되어 있다. 광주 서구문화센터에 설치한 태양열 냉난방 및 급탕 시스템은 태양에너지와 도시가스에 의하여 독립적으로 냉난방이 되도록 설계되어 있다.

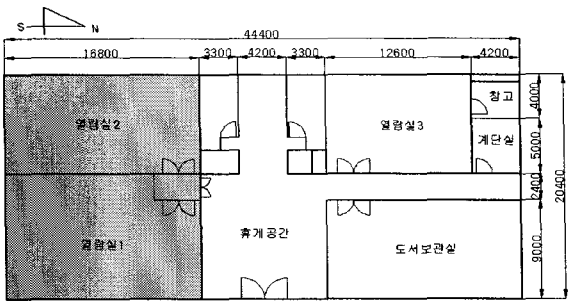

Fig. 2. 3rd floor plane of Seo-gu art center

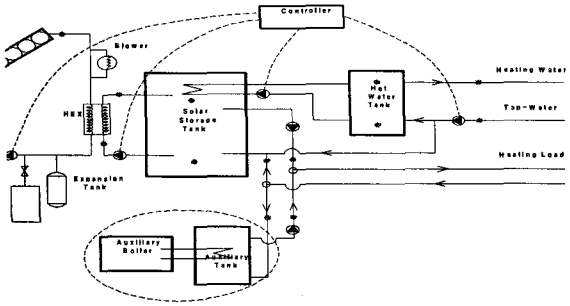

Fig. 3. Schematics of solar heating system

따라서, 태양에너지를 연간 최대한 사용하고 태양에너지가 없을 때는 보조열원 (도시가스) 보일러에 의하여 운전되도록 설계되어 있다.

이를 위하여 설치한 태양열 집열기는 고효율 단일 진공관형 집열기인데, Fig. 4에서 보는 바와 같이 건물의 옥상 휴게 공간 상부에 캐노피 형태로 계획하여 차양시설의 역할도 수행 하도록 기능적인 면과 외형적인 면을 동시에 고려하여 설계하였다.

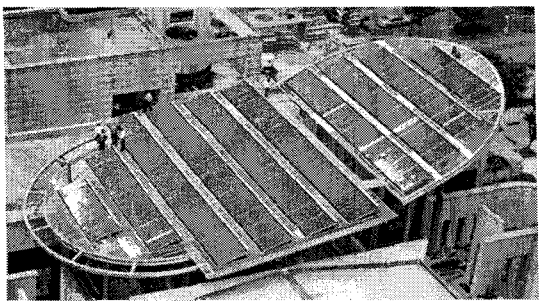

Fig. 4.Evacuated tubular solar system

태양열 냉난방 및 급탕 시스템은 무인으로 운전할 수 있도록 시스템 제어 및 모니터링 시스템이 갖추어져 있다. 모니터링 시스템은 광주에서 약 180km 떨어진 대전의 한국 에너지 기술 연구원에서 수행하고 있으며, 문제 발생 시 원격 제어에 의하여 제어조건 수정이 가능하도록 설계되어 있다.

냉난방 실증 태양열 시스템의 운전은 3층 열람실 1, 2에 독립적으로 하절기에는 냉방을 동절기에는 난방을 할 수 있도록 작동되며, 잉여 에너지는 온수급탕에 이용한다. 비 난방 및 비 냉방 기간(3-4월, 10-11월)에는 모두 온수급탕으로 이용되도록 운전된다.

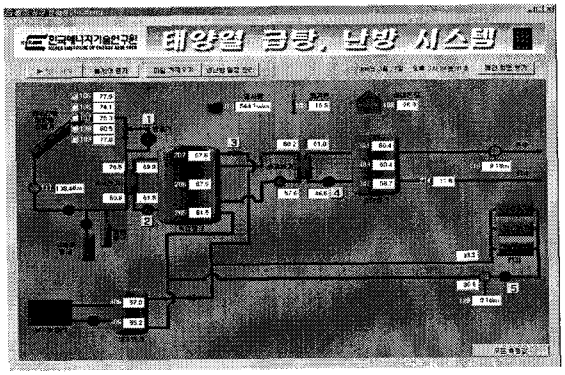

Fig. 5. Monitering and control screen of Solar system

원격제어 시스템은 다음과 같이 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

4. 결과 및 고찰

2005년 8월부터 광주 서구문화센터에서 운전을 시작한 태양열 냉난방 실증시스템은 하절기 냉방모드와 동절기 난방모드로 운전되고 있다. 이중에서 동절기 난방모드의 난방과 급탕에너지에 대한

운전 결과를 정리하였다. Fig. 6은 1월 5일부터 3월 31일까지 열성능 분석 기간 동안 서구문화센터에서 측정된 평균 외기온도와 일사량이다.

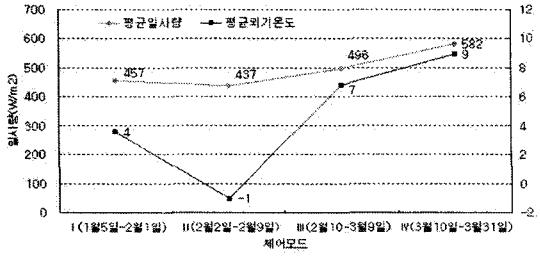

Fig 6. Average ambient temperature and insolation with control modes

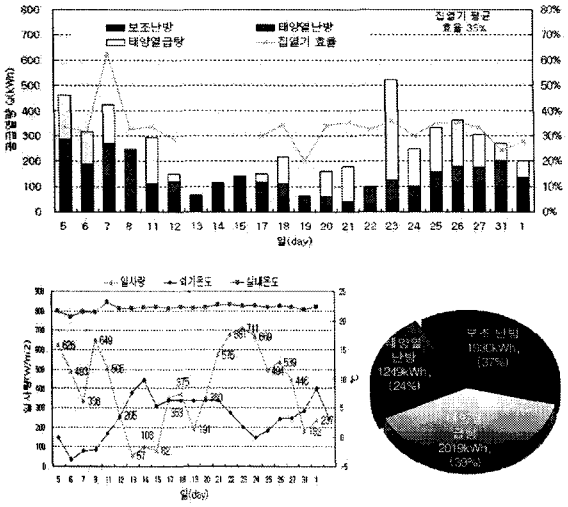

Fig. 7. Energy use distribution in control mode I

Fig. 7.은 제어모드 I 기간인 1월 5일부터 2월 1일까지 공휴일과 휴관일을 제외한 나머지 날들에 대한 에너지 사용량이다. 그림에서 보듯이 외기온도와 실내온도의 차이가 커질수록 난방사용량이 증가한 것을 알 수 있다. 난방에너지 사용량은 3,179 kWh 이며 이중 태양열 난방이 1,249 kWh로 사용되었다. 이는 난방에너지의 40%를 차지하는 에너지양이다. 난방에너지에 사용되고 남은 잉여열원을 급탕에너지에 사용했으며 급탕에너지에 사용된 에너지양은 2,019 kWh로 1월 5일부터 2월 1일까지 사용된 급탕에너지 10,062 kWh (제어모드 I 기간에 서구문화센터에 사용된 급탕량 19 1.6ton을 급탕 시수 온도인 50℃까지 올리는데 사용한 에너지)중 20%를 태양열에 의한 잉여열원으로 공급할 수 있었다.

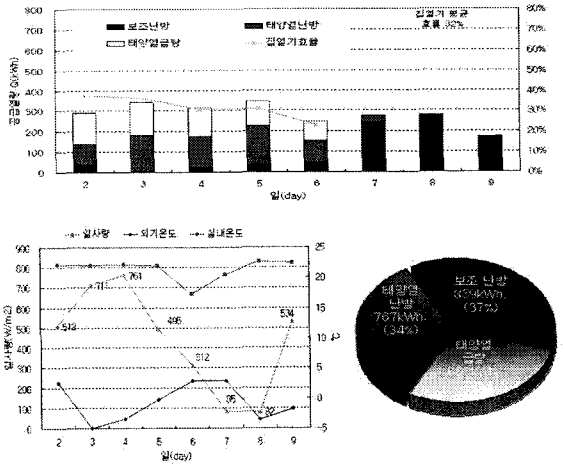

Fig. 8. Energy use distribution in control mode II

Fig. 8.은 제어모드 II 2월 2일부터 2월 9일까지의 에너지 사용량이다. 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. 제어모드 II 기간의 열람실 1, 2의 난방에너지 사용량은 1,606 kWh이며 이중 태양열난방이 767 kWh로 난방에너지의 48%를 차지하였으며 제어조건 I 에서의 40% 보다 8% 증가하였다. 이는 난방공급조건인 축열조 온도를 50℃≥ON, 45℃≤OFF에서 40℃≥ON, 35℃≤OFF로 변경하여 태양열난방 의존율을 높일 수 있었다. 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.

Fig. 9.는 제어모드 III 2월10일부터 3월 10일까지의 에너지 사용량이다. 제어모드 I, II와 비교하여 난방 에너지 사용량이 감소한 것과 태양열 급탕 사용량이 급격히 증가한 것을 볼 수 있다.

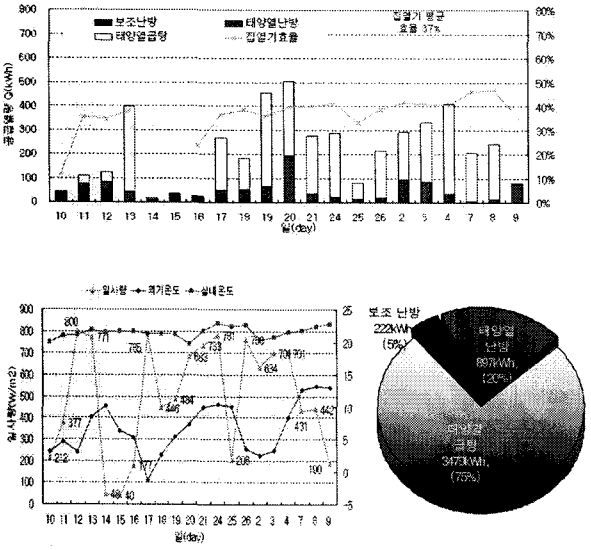

Fig. 9. Energy use distribution in control mode III

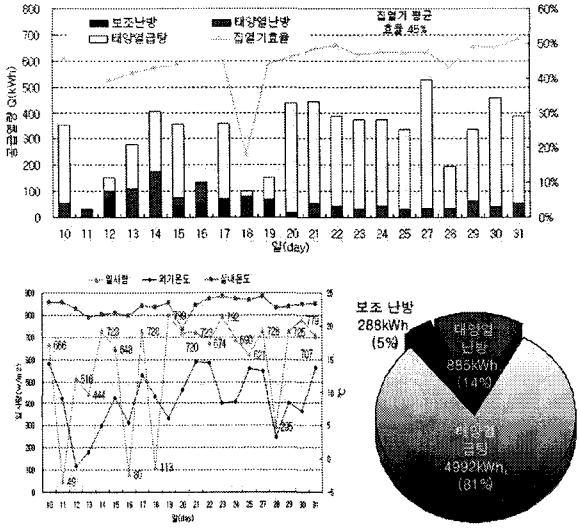

Fig. 10. Energy use distribution in control mode IV

이는 실내 난방 가동 조건인 열람실 실내온도를 제어모드 II의 22℃≤ON, 24℃≥OFF에서 20℃≤ ON, 22℃≥OFF로 변경함으로써 난방에너지 사용량을 줄이는 동시에 태양열 난방 의존율과 태양열 급탕 공급량을 높일 수 있었으며, 실내온도는 제어모드 I, II와 비교하여 난방 가동 조건을 2℃ 낮게 함으로써 제어모드 I, II 기간의 평균 실내온도 22℃ 보다 약 0.5℃낮은 21.5℃로 나타났다. 제어모드 III 기간의 난방에너지 사용량 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 사용량13,009 kWh의 27%인 3,479 kWh로 나타났으며 제어모드 I, II의 급탕에너지 기여도 보다 약 7% 이상이 증가하였다.

Fig. 10은 제어모드 IV 3월 10일부터 3월 31일까지의 에너지 사용량이다. Fig. 11에서와 같이 열람실 평균 실내온도가 증가한 것을 알 수 있다. 이는 실내 난방 가동조건인 열람실 실내온도를 20℃≤ON, 22℃≥OFF에서 21℃≤ON, 23℃≥ OFF로 변경함으로써 열람실 실내온도가 제어모드 III의 21.5℃에서 평균 22.9℃로 높아졌다.

그림에서 보듯이 제어모드 IV는 잉여열원을 통한 태양열급탕 공급량이 더욱 증가한 것을 볼 수 있는데, 이것은 태양열 급탕 공급 조건인 축열조 상단 온도를 50℃≥ON, 45℃≤OFF에서 40℃≥ ON, 35℃≤OFF로 낮춤으로써 가능하였다. 제어모드 IV에서의 급탕에너지 사용량은 8,918 kWh이며 이중 태양열난방에 사용되고 남은 잉여열원을 통한 태양열 급탕에너지는 4,992 kWh로 급탕에너지 사용량의 56% 이었다. 제어모드 III에서의 27% 보다 두배 이상 증가하였고, 난방에너지 사용량은 1,173 kWh 이었으며 이중 태양열난방이 885 kWh로 난방에너지 사용량의 75%를 태양에너지로 사용되었다.

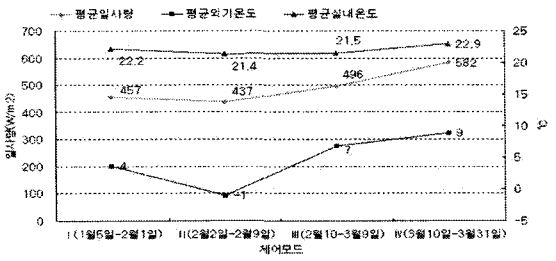

Fig. 11. Average insolation, ambient and indoor temperature with modes

Fig. 11.은 4가지 제어모드에 대한 평균 실내온도와 외기온도를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 외기온도의 영향에 상관없이 열람실 실내온도를 거의 일정하게 유지시킬 수 있도록 난방 운전을 수행하였음을 알 수 있다.

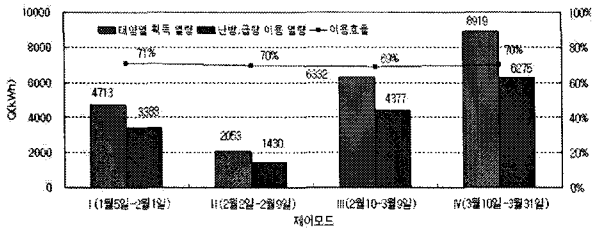

Fig. 12. Utilization efficiency of solar heat system

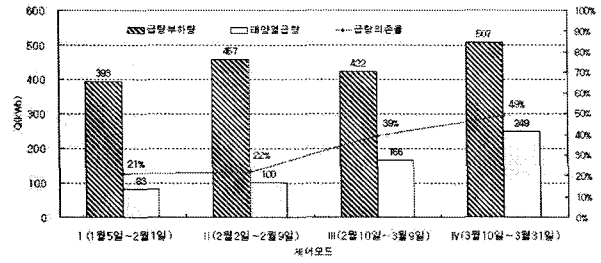

Fig. 13. Hot water energy average amount used in each control mode

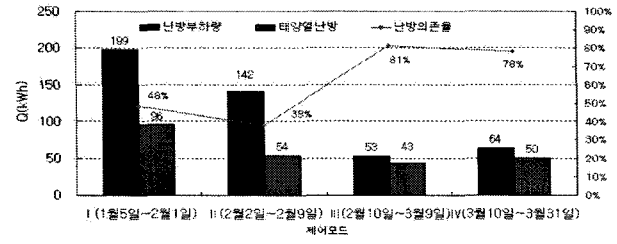

Fig. 14. Hot water energy average amount used in each control mode

Fig. 12-14.는 실증 시스템의 태양열 이용 효율과 태양열 난방 및 급탕의 의존율을 제어모드 별로 보여주고 있다. 다른 제어모드로 작동된 4가지 기간 중 태양열 획득에 대한 이용효율은 Fig. 12에서처럼 70%로 동일한 반면 Fig. 13과 Fig. 14.에서 보듯이 제어조건이 바뀔수록 태양열급탕 및 난방의 의존율은 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 이로써 3가지 제어조건인 난방 공급조건 (축열조 온도), 급탕 공급조건 (축열조 온도)및 난방 가동 조건 (실내 온도)의 제어를 통해 보조 에너지 사용량은 줄이며 태양열 난방 및 급탕의 의존율을 높일 수 있는 제어모드를 찾을 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.

그 결과, 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.

참고문헌

1. H. Y. Kwak et al, "Development of Evacuated Tube Solar Collector for Industrial Process Heat", KIER-A04622, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2000
2. H. Y. Kwak et al, "Practical Study of Evacuated Tubular Solar System and Its Application", KIER-A34307, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2004
3. H. Y. Kwak, J. H. Boo, and W. B. Chung, "Development and Application of Evacuated Tubular Solar Collector with Heat Pipe in Korea", The 7th International Heat Pipe Symposium, October, 2003
4. H. Y. Kwak, "Demonstration study on Solar Driven Absorption Chiller", The 17th The Korean Society for New and Renewable Energy Workshop, 2005
5. C. Y. Choi and H. Y. Kwak, "Heating & cooling load estimations for solar thermal driven air conditioning building", WCWRF, Japan 2005