



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2010 年 2 月

碩士學位論文

태양열 하이브리드 시스템의 성능에
관한 실험적 연구

Experimental Study on Performance of Solar Hybrid
System with a Heat pump

朝鮮大學校 大學院

機械工學科

金 泰 中

태양열 하이브리드 시스템의 성능에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Performance of Solar Hybrid
System with a Heat pump

2010 年 2 月 24 日

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 泰 中

태양열 하이브리드 시스템의 성능에 관한 실험적 연구

지도교수 : 曹 弘 鉉

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2010 年 2 月 日

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 泰 中

金 泰 中의 碩士學位論文을 認准함

主審 朝鮮大學校 教授 工學博士 洪 明 錫 ㉠

委員 朝鮮大學校 教授 工學博士 金 鎮 興 ㉠

委員 朝鮮大學校 教授 工學博士 曹 弘 鉉 ㉠

2010 年 2 月

朝鮮大學校 大學院

ABSTRACT

Experimental Study on Performance of Solar Hybrid System with a Heat pump

Kim, Tae-chung

Advisor: Prof. Cho, Hong-hyun, Ph. D.

Department of Mechanical Engineering,

Graduate School of Chosun University

The objectives of this study are to investigate the main parameters that affect the solar hybrid system with a heat pump and to analyze the performance of the solar hybrid system with a heat pump. The performance characteristics of the solar hybrid system with a heat pump were evaluated experimentally. The solar hybrid system with a heat pump was conducted as a function of performance parameters and operating conditions.

In the case of the heating season, to provide the basic performance data of the solar hybrid system with a heat pump and compare operating characteristics of this study system with cloud cover, the performance of the solar hybrid system with a heat pump was tested. In addition, the influences of operation parameter on the performance were measured and discussed as a function of

the ambient temperature and solar radiation. The performance of the solar hybrid system with a heat pump compared with the collector efficiency, heating load, hot water load, hot water temperature, solar fraction, and COP with cloud cover and ambient temperature. As a result, the performance of the solar hybrid system with a heat pump at high cloud cover was the very sensitive to heating load and was also greatly affected by the ambient temperature and radiation. Besides, the performance of the solar hybrid system with a heat pump at low cloud cover was affected to hot water load, significantly. The heat pump COP was 2.0~2.6 at high cloud cover and 2.13~2.74 at low cloud cover, respectively. The heat pump COP increased as the ambient temperature went up. In additions, the solar hybrid system with a heat pump was tested for cooling with indoor temperature. As a result, the cooling load decreased when the indoor setting temperature increased. The cooling COP was varied from 2.52 to 3.53, and the hot water heat was rarely effected by high-temperature heat from the heat pump.

Contents

ABSTRACT	1
Contents	3
List of Figures	6
List of Tables	11
Nomenclature	12
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경	1
제 2 절 관련 기술의 국내·외 현황	3
제 3 절 본 연구의 목적	6
제 2 장 실험장치 및 실험 방법	8
제 1 절 태양열 하이브리드 시스템	8
제 2 절 실험장치	11
제 3 절 실험 방법 및 조건	29
1. 실험 방법	29
2. 난방 실험조건	30
3. 냉방 실험조건	33
제 3 장 실험 결과 및 고찰	35
제 1 절 구름량에 따른 난방시스템의 성능특성 고찰	35

제 2 절 실내설정온도에 따른 난방시스템의 운전특성 ...	54
제 3 절 냉방시스템의 운전특성 분석	59
제 4 장 결 론	81
REFERENCE	83

List of Figures

Fig. 2.1	Schematic of the experimental setup	9
Fig. 2.2	Photograph of solar hybrid system	9
Fig. 2.5	Photograph of a solar hybrid system collectors	13
Fig. 2.6	Interior shape of the storage tank	14
Fig. 2.7	Photograph of heat pump	16
Fig. 2.8	Schematic of heating mode operation	17
Fig. 2.9	Schematic of cooling mode operation	17
Fig. 2.10	Photograph of FCU(fan coil unit)	18
Fig. 2.11	Photograph of Primo Advanced 20A/25A	20
Fig. 2.12	Photograph of RHM 04	21
Fig. 2.13	Photograph of E-MAG	22
Fig. 2.14	Photograph of T-type thermocouple	23
Fig. 2.15	Photograph of HF5/HC2-S	25
Fig. 2.16	Photograph of data logger	26
Fig. 2.17	Photograph of power meter	27
Fig. 2.18	Photograph of radiation sensor	28
Fig. 3.1	Variations of the solar radiation, cloud cover and ambient temperature with the day for gray condition	38
Fig. 3.2	Variations of the solar radiation, cloud cover and ambient temperature with the day for fair condition	38
Fig. 3.3	Variations of the collector heat and collector efficiency with the day for gray condition	39

Fig. 3.4	Variations of the collector heat and collector efficiency with the day for fair condition	39
Fig. 3.5	Variations of collector inlet/outlet temperature with time for gray condition(April 25)	40
Fig. 3.6	Variations of collector inlet/outlet temperature with time for fair condition(April 29)	40
Fig. 3.8	Variations of heating heat and ambient temperature with the day for fair condition	43
Fig. 3.9	Variations of FCU inlet/outlet temperature and flow rate with the time for gray day(April 25)	44
Fig. 3.10	Variations of FCU inlet/outlet temperature and flow rate with the time for fair day(May 5)	44
Fig. 3.11	Variations of hot water heat and radiation with the day for gray condition	46
Fig. 3.12	Variations of hot water heat and radiation with the day for fair condition	46
Fig. 3.13	Variation of hot water temperature with the time for gray condition	47
Fig. 3.14	Variation of hot water temperature with the day for fair condition	47
Fig. 3.15	Variations of the collector, heating, hot water heat and solar fraction with day for gray condition	49
Fig. 3.16	Variations of the collector, heating, hot water heat and solar fraction with day for fair condition	49
Fig. 3.17	Variations of the compressor power, auxiliary heat and COP with the time for gray day (April 24)	52
Fig. 3.18	Variations of the compressor power, auxiliary heat and COP with the	

	time for fair day (April 23)	52
Fig. 3.19	Variations of the compressor power, ambient temperature and humidity with the time for gray day(April 24)	53
Fig. 3.20	Variations of the compressor power, ambient temperature and humidity with the time for fair day(April 23)	53
Fig. 3.21	Variations of the radiation, ambient temperature and cloud cover with the indoor setting temperature	57
Fig. 3.22	Variations of the collector heat and collector efficiency with the indoor setting temperature	57
Fig. 3.23	Variations of the heat and operation time with the indoor setting temperature	58
Fig. 3.24	Variations of the radiation and hot water temperature with the indoor setting temperature	58
Fig. 3.25	Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 24°C	61
Fig. 3.26	Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 25°C	61
Fig. 3.27	Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 26°C	62
Fig. 3.28	Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 27°C	62
Fig. 3.29	Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 24°C	64
Fig. 3.30	Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 25°C	64

Fig. 3.31	Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 26°C	65
Fig. 3.32	Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 27°C	65
Fig. 3.33	Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 24°C(August 3)	68
Fig. 3.34	Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 25°C(August 13)	68
Fig. 3.35	Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 26°C(August 17)	69
Fig. 3.36	Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 27°C(August 28)	69
Fig. 3.37	Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 24°C	71
Fig. 3.38	Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 25°C	71
Fig. 3.39	Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 26°C	72
Fig. 3.40	Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 27°C	72
Fig. 3.41	Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 24°C	75
Fig. 3.42	Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 25°C	

	75
Fig. 3.43	Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 26°C	76
Fig. 3.44	Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 27°C	76
Fig. 3.45	Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 24°C (August 7)	79
Fig. 3.46	Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 25°C (August 12)	79
Fig. 3.47	Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 26°C (August 17)	80
Fig. 3.48	Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 27°C (September 7)	80

List of Tables

Table 2.1	Specification of solar hybrid system	12
Table 2.2	Specification of FCU(fan coil unit)	18
Table 2.3	Specification of Primo Advanced 20A/25A	20
Table 2.4	Specification of RHM 04	21
Table 2.5	Specification of E-MAG	22
Table 2.6	Specification of T-type thermocouple	24
Table 2.7	Specification of HF5/HC2-S	25
Table 2.8	Specification of data logger	26
Table 2.9	Specification of data logger	27
Table 2.10	Specification of radiation sensor	28
Table 2.11	The hot water usage time and capacity	29
Table 2.12	Heating test condition(system)	31
Table 2.13	Heating test condition(cloud cover and day)	31
Table 2.14	Heating test condition	32
Table 2.15	Cooling test condition(system)	34
Table 2.16	Heating test condition	34

Nomenclature

A	: area (m^2)
C_p	: constant pressure specific heat ($W/K \text{ kg}$)
f	: solar fraction(%)
F_R	: heat transfer ratio
G	: radiation (kWh/m^2)
m	: mass (Kg)
Q	: heating load (kWh)
R	: ratio
T	: temperature($^{\circ}C$)
U_L	: heat loss coefficient (W/m^2K)
W	: working power (kWh)

Greeks

η	: efficiency
--------	--------------

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경

최근 유가 상승으로 인하여 석유를 생산하지 못하는 대다수의 나라에 경제적으로 심각한 영향을 끼치게 되었으며, 이후 각국에서는 에너지 위기론의 대두와 화석연료의 절감 및 한계성 때문에 새로운 에너지 자원 및 대체에너지 개발의 필요성에 많은 관심을 갖게 되었다. 특히 우리나라와 같이 에너지의 수입의존도가 매우 높은 상황에서는 에너지 위기에 대한 관심과 노력이 다른 나라들에 비하여 더욱 절실히 요구되고 있다. 현재 사용하고 있는 대체에너지 가운데 가장 우위를 차지하고 있는 것은 원자력이지만 원자력은 사고에 대한 우려와 폐기물 처리 및 주변 생태계에 미치는 영향으로 인해 갈수록 축소하고 있는 실정이며 독일과 같은 선진국에서는 향후 몇 년 내에 모든 원자력 발전소를 없애는 법안을 통과시키고 있는 실정이다. 따라서 현시점에서 이러한 상황을 극복하기 위해서 새로운 에너지 즉, 대체에너지를 사용해야 한다. 그러나 원자력을 제외하고 우리가 활용할 수 있는 대체에너지들은 태양열, 수력, 풍력, 조력, 바이오매스(Biomass), 폐기물 등 다양하지만 이 중 태양열을 제외하고는 지역적인 활용의 제약성과 2차 오염물질의 발생 및 연구의 미개발 등으로 인해 아직까지 적용에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

그 중 태양열은 무한량(약 50억년)으로 사용 할 수 있으며, 1년간 지구에서 받는 태양 에너지양은 연간 세계에너지 소비량의 약 20,000배에 이른다. 즉, 지구가 태양으로부터 1~2주 동안 받는 에너지는 지구상에 매장된 전체 화석연료량과 견줄만한 에너지를 가지고 있다. 이러한 태양 에너지를 잘 활용한다면 에너지 수입 의존도 97.6%, 에너지 자급률 3% 미만의 열악한 국내 에너지 수급 및 극복에 큰 도움이 될 것이다. 또한, 앞으로 CO₂ 배출량에 따른 규제가 강화되는 상황에 비추어 볼 때, 우리나라 실정에 가장 맞고 이용이 편리하며 사용이 무한정 에너지에 대한 관

심을 더욱 더 가져야 한다. 신재생에너지로써 청정하고 에너지원이 무한대인 태양 에너지는 미래에너지원으로 각광을 받고 있다. 태양에너지는 온실가스의 배출을 줄일 수 있으며, 지역적 영향이 적고 손쉽게 구할 수 있는 에너지라는 장점을 가지고 있다. 반면에 에너지 밀도가 낮으며 기후변화에 따라 영향을 많이 받으며 에너지 생산이 안정적으로 공급을 못하는 문제점을 가지고 있기도 하다. 에너지 위기 극복과 지속적인 개발의 필요성에 의하여 이미 관련 연구가 활발히 진행되고 여러 분야에서 활용되고 있다.

태양열 에너지를 일반 주택의 냉·난방 및 급탕시스템에 이용하면 다른 대체에너지보다 개발 가능성과 경제적인 이점이 많이 있어 단순한 대체 에너지로서의 차원을 넘어 보다 궁극적인 에너지 자원으로의 연구가 활발히 진행 되어야 할 것이다.(Joo et al., 2006) 특히, 우리나라의 경우 쾌청한 날씨와 충분한 일사량을 가지고 있어 태양열 이용조건이 매우 좋기 때문에 이에 대한 활발한 연구가 필요하고 우리나라 실정에 적합한 태양열 주택 또는 최적의 이용방법에 대한 제어기술 및 기반기술의 개발이 절실히 요구된다.

제 2 절 관련 기술의 국내·외 현황

DACO(2006)에 따르면 1997년 벨기에에서는 공간난방과 온수를 동시에 사용하는 것에 대한 시뮬레이션 연구가 발표되었으나 이 논문을 포함하여 기존의 시뮬레이션에 대한 연구는 해석적 모델 개발을 위하여 간단한 모델을 적용하였으며 연구를 위한 참고적인 모델 해석이라는 문제점을 제시하였다. 게다가, 2003년에는 캐나다에서도 건물 에너지 부분과 관련하여 이러한 시스템에 대한 연구를 진행하였으며 독일에서는 태양열 시스템의 성능과 이용향상 문제로 대규모 시스템을 설치하여 마을단위로 지역난방 및 온수 공급을 하고 있다. 이러한 계획 중 하나가 1993년도에 착수된 "Solar Thermie-2000"이라는 프로젝트이며 착수 후 좋은 효과를 얻어 "Solar Thermie 2000 Plus"로 명명하여 그 계획을 연장하여 수행하고 있다. 또한 유럽 대부분 국가에서 신·재생에너지를 이용한 제품들이 많이 개발되어 상용화되고 있으며 국가에서 정책적으로 보급을 활성화 시키고 있다. 그러나 지금까지 우리나라에서는 태양열 급탕분야가 괄목할 만한 성과 및 보급이 이루어지고 있지만 태양열 냉·난방분야는 그 기술적인 기반이 취약하여 시행착오를 많이 겪고 있어 아직 상품화가 어렵다.(Baek et al., 2001) 특히 국내는 유럽등지와는 다른 난방방식(상난방방식)을 사용하므로 태양열 축열 기술뿐만 아니라 보조열원과의 적절한 밸런스 유지기술, 보조열원의 설계기술, 축열 및 급탕열량의 분배문제, 컨트롤 시스템의 설계 부문 등 여러 가지 기술적인 난제에 부딪히고 있다.

우리나라에서는 여러 연구소와 각 대학에서 태양열 이용에 관한 여러 가지 실증 연구와 시뮬레이션 연구가 동시에 이루어졌으며 한국에 맞는 온수급탕 설계에 관한 연구도 이미 선행되었다. 특히, 에너지기술연구소를 중심으로 태양열을 이용한 시스템에 대한 시뮬레이션 연구는 활발히 진행되어 왔다. Baek et al.(2008)은 이론 효율과 실제시스템을 비교분석하기 위하여 시뮬레이션에 의한 성능분석 연구를 수행하였으며 집열 면적, 축열 탱크용적, 열교환기 효율에 따른 태양열 시스템의 성

능을 세 가지 변수에 따라 비교하였다. 또한 Jang et al.(2006)은 해석적 연구를 통하여 태양열 온수급탕 시스템에 대한 성능을 열량패턴에 따라 예측하였으며 연결 방식에 따른 시스템 변화도 고찰하였다. 최근에는 시장 가능성이 커짐에 따라 시스템의 종류에 따른 경제성에 대한 분석도 연구된 바 있다. 그러나 위의 연구들 또한 집열기 또는 일사량의 조건에 치우친 학문적인 연구들이기에 당장 상용화하기에는 부족함이 느껴지며, 이전에 지식경제부에서 계획한 에너지 보급정책과도 다소 거리가 있다. 그렇기 때문에 현재 우리나라에서는 당장 보급이 가능한 제품을 설계해야 할 필요성이 있다. 이와 관련하여 앞으로의 연구는 신·재생에너지를 담당하는 일부분의 성능보다는 사용자의 관점에서 제품을 사용하는데 있어 불편을 최소화 할 수 있도록 보조열원 부분 및 시스템 전반에 대한 연구가 필요하다. 집열기는 앞서 많은 연구에서 볼 수 있듯이 일사량의 조건과 외기온도에 좌우된다는 것이 밝혀졌으며, 축열 탱크의 가열된 물도 수요와 공급이 일치하지 않기 때문에 사용자의 관점에서 우리는 냉난방이 가능한 열펌프 부분에 대하여 좀 더 많은 연구를 해야 할 것이다. 그리고 기존의 국내 연구는 보일러나 흡수식 열펌프를 기본으로 태양열 시스템을 하이브리드 형태로 적용하여 시스템을 구성한 것이 대부분의 연구이며 열펌프를 적용한 예는 극히 찾아보기 힘들다. 특히 시뮬레이션 연구에서도 열펌프를 직접 태양열 시스템과 접목시켜 전체적으로 시뮬레이션 하고 해당모델을 개발한 예는 거의 드물다.

현재 선진국에서는 국가별 특성에 맞는 태양열이용기술을 중점 개발하여 보급하고 있으며 미국은 주로 태양열 발전을, 일본과 호주는 태양열을 통해 온수용으로 연구개발 하고 있으며, 유럽에서는 대규모 집단난방 및 급탕시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중이며 시스템 보급 활성화를 위한 인증시험 및 평가, 신뢰성 향상 등에 지속적인 연구를 추진 있다. 미국은 DOE를 중심으로 건물용의 Solar Building Technology와 태양열 발전의 Solar Thermal Energy System으로 양분하여 연구를 추진하고 있으며 태양열발전 및 산업이용 기술의 상업화에 초점을 맞추고

있다. 또한, 일본은 태양열 온수기의 경우 업체 중심으로 개발 및 상용화가 되었고 약 40개 업체가 연간 10만대 규모를 생산하여 보급·수출하고 있으며, 유럽의 경우 수출을 목적으로 한 태양열 발전 등 개발 추진 중이다.

그러나 우리나라의 경우에는 70년대 초부터 대학과 연구소를 중심으로 연구를 시작하여 88년부터 대체에너지개발 촉진법에 따라 정부차원에서 기술개발하고 있으며 태양열 보급 확대를 위한 태양열 온수기 등 저온활용 요소기술에 대한 효율 및 신뢰성 향상과 태양열이용 기술의 확보를 위해 중·고온의 태양열을 이용한 시스템 개발에 중점 추진 중이다. 구체적인 사례로, 태양열 집열기 및 온수·급탕기술을 보급 했으며, 평판형 집열기와 진공관형 집열기는 상용화가 되어도 낮은 효율 문제로 인하여 연구 중에 있다. 또한, 자연 순환식 온수기는 상용화되었으며 강제 순환식 온수기 같은 경우에는 package화 기술개발이 필요하다. 그리고 본 연구에서 진행할 주택용 냉·난방시스템에 관련된 연구로서 한국에너지기술연구원에서 태양열을 이용한 흡수식 냉방시스템에 대한 실증연구를 수행 중에 있다. 이들은 또한 태양열 보급 확대를 위해 대규모 태양열 지역 냉난방 및 급탕시스템 개발을 위한 지속적이고 대규모 연구들이 진행 중에 있는 것으로 보고되고 있다.

제 3 절 본 연구의 목적

이미 알려진 대로 태양열은 환경적인 측면에서 오존층을 파괴 하지 않으며, 지구 온난화에 미치는 영향도 극히 미미하다. 태양열 온수기(6 m²) 1대를 설치하면 매년 899.4 kg의 CO₂ 배출을 절감할 수 있고, 현재의 등유가격 대비 약 400,000 원을 절감할 수 있다. 같은 태양에너지를 활용하는 태양광과 비교하면 설치비용이 적게 들어 동일 비용으로 약 2.5배의 효과를 볼 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 이러한 장점뿐만 아니라 다양한 부분에 넓게 적용할 수 있어 활용도가 높으며 사용 후 처리가 간단하기에 태양열은 건축설비로서 많은 장점을 가지고 있다.

하지만 주어진 날씨를 제어하기 힘들어 태양열을 이용할 수 없는 날에는 태양열을 대체할 수 있는 별도의 보조열원의 장착이 필요하다. 따라서 기존에 보조열원으로 사용되던 보일러나 흡수식 열펌프를 사용하여 냉난방을 수행하였으나 하나의 열원으로 냉난방을 효율적으로 수행할 수 있는 열펌프 시스템을 적용하면 주택에서의 냉난방 및 급탕을 효율적으로 수행할 수 있으며 이에 많은 장점을 가지게 된다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 시스템의 제어와 효율, 기타 여러 문제점들로 인하여 아직 적용이나 개발이 기대보다 활발하지 않다. 따라서 태양열 하이브리드 시스템 형태에서 열펌프를 사용하여 시스템의 효율을 향상시키고 이를 최대한 활용하기 위한 태양열 시스템의 적절한 요소기기 해석, 모델링, 그리고 성능 평가는 매우 중요한 연구 중에 하나라고 할 수 있다. 또한 태양열 하이브리드 열펌프 시스템이 기존의 보조열원을 사용한 태양열 시스템과 경쟁하기 위해서는 시스템의 고성능, 안전성 및 신뢰성 등이 동시에 확보되어야 하며 이를 적용한 시스템의 배치에 관한 연구도 진행되어야 한다. 태양열 하이브리드 시스템에 대한 연구는 최근 국내에서 진행되고 있으나 아직 집열기의 특성에 관한 연구에 국한되어 있을 뿐만 아니라 하이브리드 형태의 열펌프와 직접적으로 연관되어 연구를 진행한 사례는 극히 드물다. 따라서 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 대한 구체적인 이해, 해석,

그리고 성능향상을 위한 방법에 대한 자세한 연구가 절실히 요구된다. 특히 기존의 태양열 시스템의 경우 겨울철에는 주로 온수와 급탕으로 사용하는데 일사량이 충분치 않고 외기온도가 너무 낮은 경우 이를 보완하기 위하여 보조열원으로 보일러를 설치하여 사용하였으며 여름철에 냉방으로 사용하기 위해 별도의 장치를 설치하여야 하는 등 여러 문제점을 가지고 있었다.(Kwak et al., 2009)

이에 본 연구에서는 태양열 하이브리드 열펌프 시스템의 성능특성을 파악하기 위해 태양열 하이브리드 열펌프 시스템에 대한 성능 실험을 실시하였으며 봄철과 여름철의 작동특성을 분석하였다. 이를 위하여 봄철의 구름량, 실내온도, 그리고 축열 탱크 하부온도에 따른 각 부분의 열량과 집열효율, 그리고 운전조건 변화에 따른 열펌프의 성능특성을 고찰하였다. 이러한 연구를 통하여 하이브리드 열펌프 시스템의 기본적인 특성을 파악하고 여러 가지 방법들이 적용된 하이브리드 열펌프 시스템에서 외기환경에 따른 기본적인 운전 및 성능에 대한 기본적인 데이터를 얻었으며 이를 최적 제어하여 시스템 성능의 최적화에 대한 제어기법을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

제 2 장 실험장치 및 실험 방법

제 1 절 태양열 하이브리드 시스템

국내의 일반적인 태양열 시스템은 주로 보조열원으로 심야 전기를 이용한 보일러를 사용하였다. 기존 시스템을 살펴보면 겨울철에 태양열 시스템이 난방열량을 충족 할 수 있지만 여름철에는 냉방열량을 충족시킬 수가 없었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 다음과 같은 조건을 만족하는 하나의 태양열 시스템을 설계하였다.

- 겨울철 난방열량이 발생하였을 경우 태양열을 우선적으로 사용하고 부족한 열원을 열펌프에서 보조하는 시스템
- 여름철 냉방열량이 발생하였을 경우 태양열은 급탕용으로 사용하고 냉방열량은 열펌프에서 담당하는 시스템

이러한 운전조건을 고려하여 설계된 열펌프 장착한 태양열 하이브리드 시스템의 개략 도를 Fig. 2.1과 Fig. 2.2에, 시스템이 설치된 전경의 모습을 Fig. 2.3과 Fig. 2.4에 나타내었다.

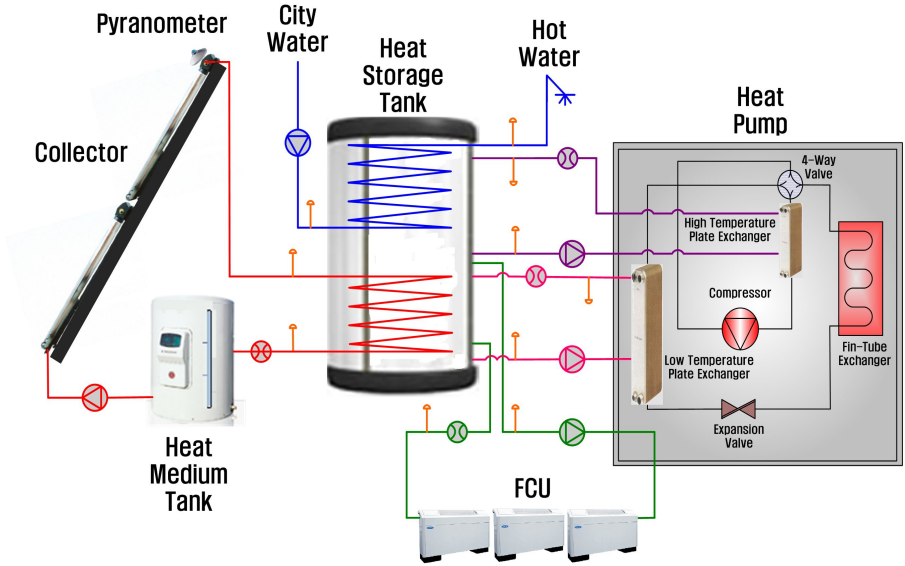


Fig. 2.1 Schematic of the experimental setup.



Fig. 2.2 Photograph of solar hybrid system.

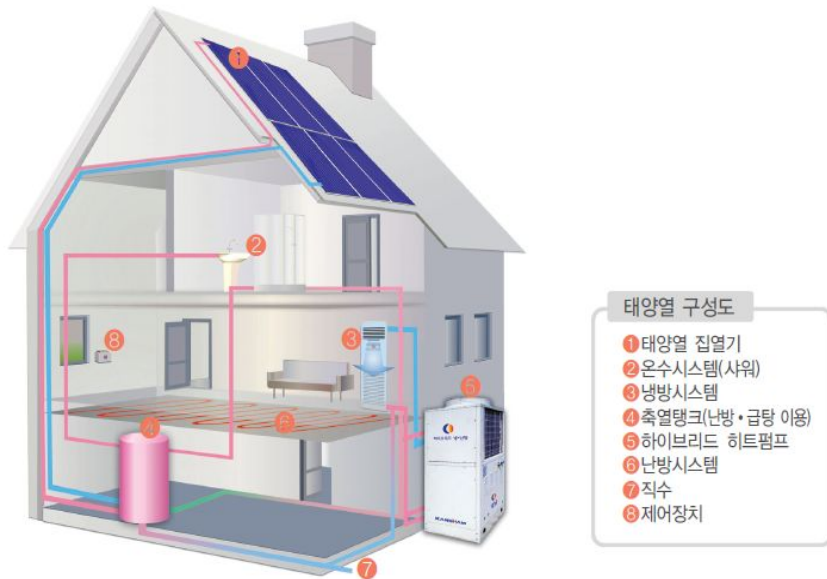


Fig. 2.3 Schematic of solar hybrid system component position.

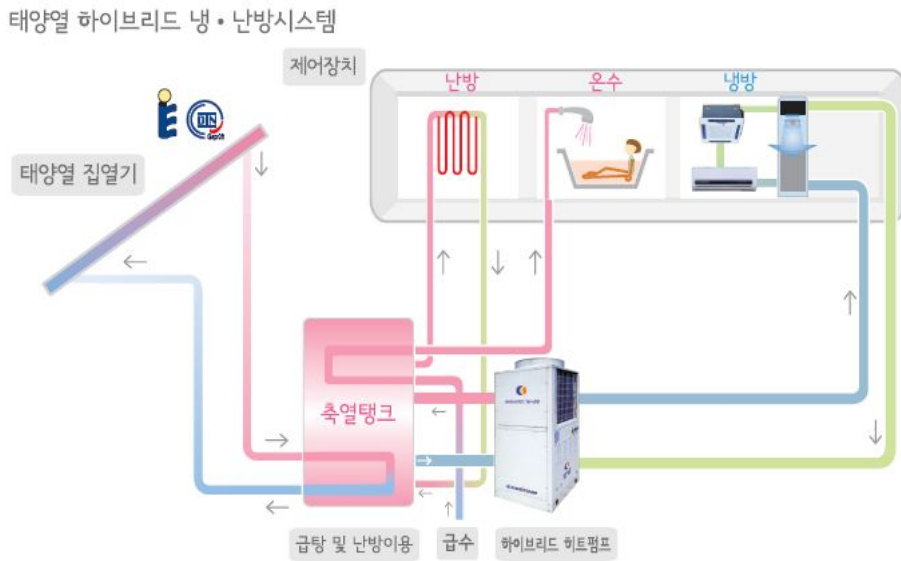


Fig. 2.4 Schematic of solar hybrid system for heating and cooling.

제 2 절 실험장치

태양열 집열기는 중온 범위에서 안정적으로 작동하며 건물의 난방 및 냉방용으로 적합한 이중관형 집열기를 사용하였다. 축열 탱크는 2개의 열교환기(집열, 난방)가 내장된 형태로 설계하였다. 집열기와 축열 탱크 사이에는 차온 제어기와 펌프에 의해 운전되며 열매체의 보충과 집열기의 과열 시 압력을 감소하기 위하여 열매체 탱크를 사용하였다. 또한, 보조열원으로는 5 RT급 열펌프를 사용하였다.

본 실험에 사용된 실험장치의 주요 사항을 Table 2.1에 나타내었다.

Table 2.1 Specification of solar hybrid system

Parameter		Specification
Collector	Area	1.98 m ² /ea
	Unit	8
	Slop	45°
	$F_R(\tau\alpha)$	0.773
	$F_R U_L$	2.284
Storage tank	Type	Vertical cylinder
	Capacity	1.5 ton
Medium tank	Capacity	120 l
Controller	Type	Digital difference temperature control
	$\Delta T_{on}, \Delta T_{off}$	10°C, 3°C
Heat pump	Capacity	5 RT
Fan coil unit	Heating capacity	8722 W
	Cooling capacity	5466 W
	Unit	3



Fig. 2.5 Photograph of a solar hybrid system collectors.

Fig. 2.5는 실험 건물 옥상에 설치된 2중 진공관형 집열기의 모습을 보여주고 있다. 실험에 사용한 2중 진공관형 집열기는 히트파이프 겉 표면에 알루미늄 판으로 된 흡수 판으로 둘러싸여 있는 형태의 집열기이다. 또한, 일사량을 최대한 많이 받기 위해서 집열기를 정남향의 45°각도로 경사지게 설치하였다. 집열기의 전면적은 단위 유닛 당 3.25 m²이며 투과면적은 1.98 m²이다.

8 Unit의 태양열 집열기는 차온 제어기와 열매체 펌프에 의해 가동이 되며, 집열기에서 얻어진 온수는 열매체 탱크(120 L)를 지나 축열 탱크(1.5 ton)로 보내어 저장된다. 작동 유체는 일반적으로 가장 많이 사용하는 물-프로필렌글리콜 (water-propylene glycol) 혼합액을 사용하였다. 또한, 열매체의 보충 및 집열기의 과열 시 압력을 감소하기 위해 열매체 탱크(heat medium tank)를 사용하였다.

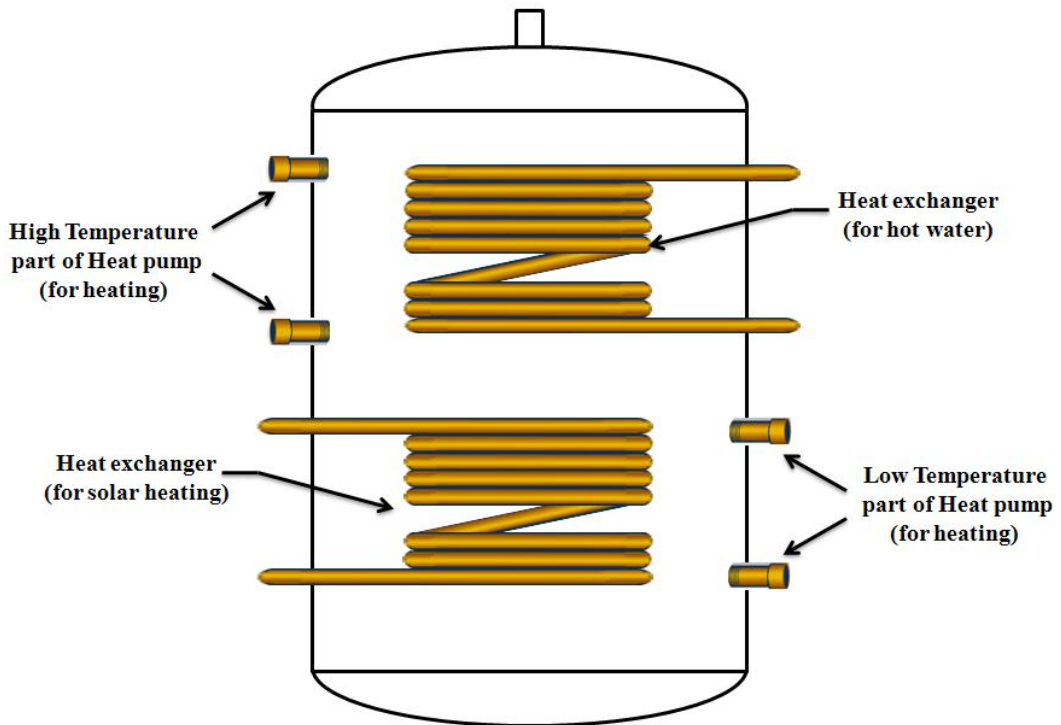


Fig. 2.6 Interior shape of the storage tank.

Fig. 2.6은 본 연구에 사용되어진 축열 탱크의 내부 형상을 보여주고 있다. Fig. 2.6에서 보이는 것과 같이 본 연구에서 설계된 축열 탱크는 2개의 열교환 코일이 내장된 형태로 설계되었다. 2개의 열교환 코일 중 상단측에 위치하고 있는 열교환 코일은 급탕 사용 시 축열 탱크 상부에서 열교환을 하기 위하여 설치하였으며 하단측의 열교환 코일은 집열기에서 얻은 열량으로 축열 탱크의 열량을 공급하기 위하여 설계하였다. 또한, 열펌프에서 생성한 열량을 축열 탱크에 저장하기 위하여 상/하단측에 각각 1쌍의 배관을 추가로 설치하였다.

열펌프 상단측의 고온부 배관은 냉·난방 시 항상 고온부 관형 열교환기에서 열량을 받기 위하여 개방되어 있다. 열펌프 하단측의 저온부 배관은 난방시에 저온부

판형 열교환기에서 열량을 얻기 때문에 개방되어 있지만 냉방시에는 저온부 판형 열교환기가 증발기 역할로 전환되므로 저온부 배관은 차단된다.

Fig. 2.7~2.9는 본 시스템에 사용된 공기열원 열펌프의 사진과 냉·난방시 개략도를 보여주고 있다. 본 연구에서는 일사량이 충분치 못하여 축열을 하지 못하는 경우 보조열원으로서 2개의 판형 열교환기와 공기식 핀-관(Fin-Tube) 열교환기가 적용된 열펌프를 사용하였다. 또한, 사방밸브(4-Way Valve)를 제어함으로서 냉·난방 운전이 가능하도록 하였으며 열펌프의 작동유체로 R-22를 사용하였다. 열펌프의 작동 조건은 축열 탱크 하부에서 저온부 판형 열교환기로 공급되는 물의 온도에 따라 운전되도록 설정하였다.

난방시에는 두 개의 판형 열교환기가 응축기의 역할을 하고 핀-관(Fin-Tube) 열교환기가 공기와 열교환을 하여 증발기의 역할을 한다. 두 개의 판형 열교환기 중에서 고온부 판형 열교환기는 순환 펌프에 의해 축열 탱크 상단측에 지속적으로 열량을 공급하고 저온부 판형 열교환기는 축열 탱크 하단측으로 열량을 공급한다.

본 시스템의 냉방운전시 사방밸브(4-Way Valve)에 의해 냉매의 흐름이 바뀌게 되어 고온부 판형 열교환기와 핀-관(Fin-Tube) 열교환기는 응축기의 역할을 한다. 여기서 고온부 판형 열교환기는 축열 탱크 상단측에 열량을 공급하는데 이것은 여름철 냉방시 일사량이 충분치 못할 경우 열펌프에서 얻어진 열량을 축열 탱크에 공급함으로써 온수급탕을 보조하는 역할을 하기 때문이다. 저온부 판형 열교환기는 냉매와 물을 열교환하여 실내에 설치된 FCU에 냉방을 위하여 차가운 물을 공급하도록 설치하였다.

실험에서 태양열시스템이 적용된 공간으로는 4인 기준 24평(79.34 m²)으로 설정하였으며 효율적인 냉·난방을 위해 Century사의 상치형 FCU 3개를 설치하여 실내 설정온도에 따라 작동하도록 구성하였다. 실험에 사용된 FCU의 사진과 주요 성능은 Fig. 2.10과 Table 2.2에 나타내었다.



Fig. 2.7 Photograph of heat pump.

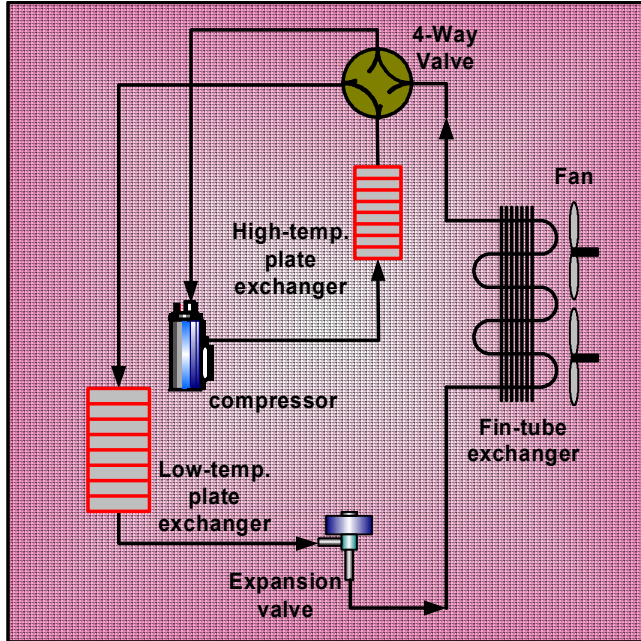


Fig. 2.8 Schematic of heating mode operation.

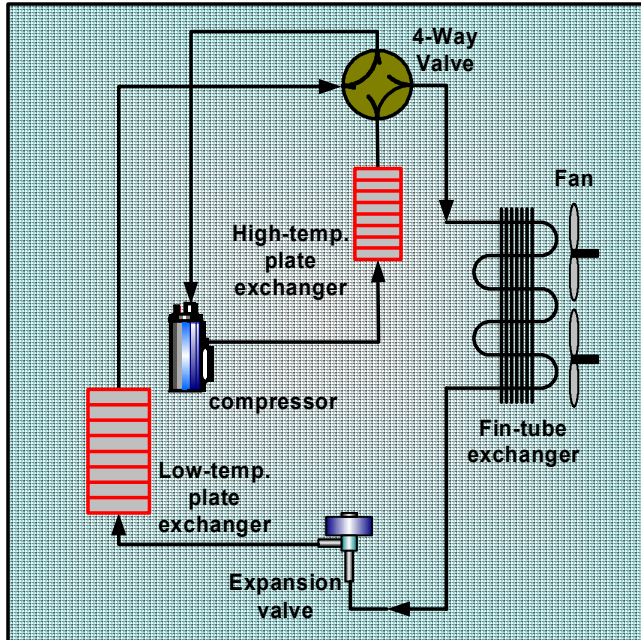


Fig. 2.9 Schematic of cooling mode operation.



Fig. 2.10 Photograph of FCU(fan coil unit).

Table 2.2 Specification of FCU(fan coil unit)

Model		FC-F62	
Cooling capacity (W)		(a)	7,385
		(b)	5,466
Heating capacity (W)		(a)	1,4502
		(b)	8,722
Test condition	Cooling (°C)	(a)	Water temp. 5
		(b)	Water temp. 7
	Heating (°C)	(a)	Water temp. 80
		(b)	Water temp. 60

시스템의 성능측정을 위하여 주요 위치에 측정기기를 설치하였으며 주요 부위에서 데이터 수집은 각 측정 위치에서의 자료를 5분마다 정보 수집기를 이용하여 수집하였다. 온도측정을 위해 T-type의 열전대, 물의 유량 측정을 위해 체적유량계, 열펌프의 전력측정을 위해 전력적산계(power meter)를 사용하였다.

시스템 내 흐르는 유체의 유량 측정을 위해 총 4개의 유량계를 설치하였다. 집열기에 흐르는 유량을 측정하기 위하여 집열기와 보조탱크사이에 Primo Advanced 20A를 설치하였고, 열펌프에서 얻은 열량을 측정하기 위하여 열펌프와 축열 탱크 저온부 사이에 Primo Advanced 25A(저온부)와 RHM 04(고온부)를 설치하였다. 또한 냉·난방열량에 사용된 열량을 측정하기 위해서 FCU 배관 입구에 E-MAG 유량계를 설치하였다. 아래의 Figs. 2.11~2.13과 Tables 2.3~2.5에 시스템 내의 유량을 측정하기 위해 사용된 각각의 유량계의 모습과 제원을 나타내고 있다.



Fig. 2.11 Photograph of Primo Advanced 20A/25A.

Table 2.3 Specification of Primo Advanced 20A/25A

Item	Specification
Model	Primo Advanced 20A/25A
Size(mm)	20, 25
Flow rate (LPM)	2 ~ 350
Max temperature (°C)	100
Max pressure (bar)	16



Fig. 2.12 Photograph of RHM 04.

Table 2.4 Specification of RHM 04

Item	Specification
Model	RHM 04
Size (inch)	1/4
Flow rate (kg/hr)	600
Max. temperature (°C)	350
Max. pressure (bar)	250



Fig. 2.13 Photograph of E-MAG.

Table 2.5 Specification of E-MAG

Item	Specification
Model	E-MAG
Size (mm)	25
Flow rate (m ³ /hr)	0.53 ~ 17.67
Max temperature (°C)	120
Max pressure (MPa)	4

열매체탱크에 흐르는 작동유체(Water-Propylene glycol)의 온도를 측정하기 위해 관내에 온도 프로브(probe)를 만들어 T형 열전대(T-type thermocouple)를 설치하였다. 태양열 집열기에서 얻은 열량을 구하기 위하여 집열기의 입구와 출구에 열전대를 설치하였고 열펌프에서 얻어지는 열량을 구하기 위해서 고온부와 저온부의 입구와 출구에 열전대를 설치하였다. 또한, FCU 입구와 출구, 급수배관, 급탕배관에도 열전대를 설치하여 열량을 측정하기 위해 설치하였다. 시스템에 설치된 T형 열전대의 측정 위치는 앞서 나타낸 Fig. 2.1의 개략도에 나타내었다.

실험에 앞서 T형 열전대는 물의 어는점을 이용하여 보정하였으며 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 오차 이내의 값을 출력하는 것으로 사용하였다. 온도 측정에 사용한 열전대의 모습은 Fig. 2.14에 열전대 제원은 Table 2.6에 나타내었다.



Fig. 2.14 Photograph of T-type thermocouple.

Table 2.6 Specification of T-type thermocouple

Item	Specification
Model	Thermocouple
Type	T-type
Range (°C)	200 ~ 300
Ansi standard limits of error (%)	0.75
Ansi special limits of error (%)	0.40

태양열 시스템의 성능은 외기조건에 의해 크게 영향을 받는다. 또한, 보조열원으로 사용하는 공기열원 열펌프는 외기온도와 습도에 의한 영향이 크다. 따라서 외기온도와 습도를 측정하기 위해 온습도계(HF5/HC2-S)를 설치하였다.

Fig. 2.15와 Table 2.7에 본 실험에 사용된 온습도계의 모습과 제원을 나타내었다.



Fig. 2.15 Photograph of HF5/HC2-S.

Table 2.7 Specification of HF5/HC2-S

Item		Specification
Model		HF5/HC2-S
Temperature	Range (°C)	-50 ~ 100
	Accuracy (K)	±0.1
Humidity	Range (%)	0 ~ 100
	Accuracy (%)	±0.8

실험 장치에 장착된 열전대, 유량계, 일사량계, 온습도계에서 측정된 신호를 컴퓨터의 데이터파일로 변환하기 위해 정보수집기(data logger, Yokogawa-DA100)를 사용하였다. 정보수집기는 측정 장치에서 오는 전류신호를 감지하여 컴퓨터의 데이터 파일로 변환하기 위해 사용된다. 컴퓨터의 데이터파일로 변환된 자료는 DAQ-Plus 프로그램을 통하여 마이크로소프트 엑셀 파일 형태로 저장되도록 하였다. 본 실험에서 사용된 정보수집기 모습은 Fig. 2.16과 같고 데이터로거의 사양은 Table 2.8에 나타내었다.



Fig. 2.16 Photograph of data logger.

Table 2.8 Specification of data logger

Item	Specification
Manufacturer	Yokogawa
Model no.	DA-100
Channels	30
Computer Interface	RS-232-C
Accuracy (%)	±0.05

사용된 열펌프 및 각종기기에서 소비되는 동력의 측정은 시스템 성능분석을 위하여 매우 중요하다. 본 연구에서는 열펌프의 압축기에서 소비되는 소비전력을 측정하기 위해 전력적산계(power meter, Yokogawa-WT230)를 이용하였다. Fig. 2.17은 본 실험에서 사용한 전력적산계를 나타내고 있으며 Table 2.9는 전력적산계의 사양을 나타내고 있다.



Fig. 2.17 Photograph of power meter.

Table 2.9 Specification of data logger

Item	Specification
Manufacturer	Yokogawa
Model no.	WT230
Channel	2
Computer Interface	RS-232-C
Accuracy (%)	±0.1

태양열 시스템에서 집열기에 가장 큰 영향을 끼치는 요인 중 하나는 일사량이다. 일사량에 따라 태양열 시스템의 태양열 의존율(Solar fraction)이 크게 좌우되기 때문에 본 연구에서는 정밀한 일사량을 측정하는 일사량계(Vaisala QMS 101)를 사용하여 일사량을 측정하였다. 이중 진공관형 집열기가 실제로 받는 일사량의 정확한 측정을 위해 집열기 설치각도와 동일하게 설치하였고 집열기 상단측에 설치하여 정남향을 향하도록 하였다. Fig. 2.18과 Table 2.10에 실험에서 사용한 일사량계의 모습과 제원을 나타내었다.



Fig. 2.18 Photograph of radiation sensor.

Table 2.10 Specification of radiation sensor

Item	Specification
Manufacturer	Vaisala
Model no.	QMS-101
Range (W/m^2)	2000
Sensitivity ($\mu V/W/m^2$)	100
Accuracy (%)	± 0.15

제 3 절 실험 방법 및 조건

1. 실험 방법

집열기로부터 얻어진 열량을 계산하기 위해 열매체 탱크에서 축열 탱크로 흐르는 유체의 유량과 입구와 출구 유체의 온도를 측정하였으며 열펌프에서 소비되는 전력량은 전력적산계(power meter)를 이용하여 측정하였다. 또한, 난방열량의 측정을 위해 FCU 입구와 출구에서 작동유체의 유량과 온도를 측정하여 실내의 열량을 계산하였다. 그리고 본 연구에서 설정된 실내공간은 24평, 급탕열량은 4인 가족 기준으로 설정하였다. 시스템 성능에 대한 정확한 분석을 위해 급탕열량 패턴이 고려되어야 하지만 급탕열량에 관한 정확한 자료가 부족하여 1인당 일일 급탕열량은 ASHREA(1983) 설계조건을 고려하여 일일 220 liter를 설정하여 실험을 수행하였다. Table 2.11은 본 연구에서 설정한 시간에 따른 급탕 사용량을 나타내고 있다.

Table 2.11 The hot water usage time and capacity

Type	Usage time	Hot water capacity
Time 1	8:00 ~ 9:00	80 <i>l</i>
Time 2	12:00 ~ 13:00	60 <i>l</i>
Time 3	17:00 ~ 18:00	80 <i>l</i>

2. 난방 실험조건

시스템의 난방 성능 및 운전특성을 고찰하기 위하여 실내 설정온도를 25°C로 설정하였으며 열펌프 작동조건은 축열 탱크 하부 온도가 48°C이하가 되었을 경우 작동하고 48°C이상이 되었을 경우 정지하도록 설정하였다. 태양열 집열기와 펌프의 원활한 구동을 위해 집열기 출구 온도와 축열 탱크 하부 온도와의 온도차를 감지하여 히스테리시스 효과를 고려한 ON-OFF 차온 제어(differential controller)장치를 사용하였으며 시스템의 효율적인 운전을 위하여 열매체 펌프의 작동은 집열기 출구 열매체와 축열 탱크 하부의 온도차가 10°C이상일 때 작동하고 온도차가 3°C이하 일 때 펌프의 작동을 중지하도록 제어하였다. Table 2.12에 난방실험을 위해 설정된 고정 값들을 나타내었다.

태양열 하이브리드 시스템이 난방운전일 때의 성능분석을 위해 기상청에서 제시한 구름량 데이터를 근거로 구름량이 5미만 일 때와 5이상 일 때로 나누어 성능을 분석하였으며 또한, 축열 탱크와 열펌프의 성능특성을 파악하기 위해서 주어진 구름량조건과 동일한 조건하에서 얻은 실험 데이터를 고찰하였다. 시스템이 작동하는 동안에 데이터 획득을 위해 각 측정 위치에서의 자료를 5분마다 정보수집기(data logger)를 이용하여 저장하였으며 집열량의 산정은 차온 제어에 의해 집열기 펌프가 작동되는 시점을 기준으로 하였다. 난방 성능특성을 고찰하기 위한 실내설정온도와 구름량에 따라 분석된 날을 Table 2.13에 나타내었다.

난방운전일 때의 실내설정온도에 따른 시스템 운전 특성을 알아보기 위해 실내 설정온도를 25°C를 기준으로 $\pm 2^\circ\text{C}$ 씩 변화시켜 실내설정온도가 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 성능특성을 위한 실험과 마찬가지로 시스템 작동시 데이터 획득은 각 측정 위치에서의 자료를 5분마다 정보수집기(data logger)를 이용하여 저장하였다. 난방운전시 실내온도에 따른 성능특성을 알아보기 위한 실내설정온도와 분석에 사용된 날을 Table 2.14에 나타내었다.

Table 2.12 Heating test condition(system)

Parameter	Specification	
Heat pump operating setting temperature (°C)	48	
Test area (m ²)	79.34	
Digital difference temperature control (°C)	ΔT_{on}	10
	ΔT_{off}	3

Table 2.13 Heating test condition(cloud cover and day)

Parameter		Specification	
Indoor setting temperature (°C)		25	
Cloud cover	Over 5 level (gray day)	April 13 April 15 April 24	April 25 April 26 May 2
	Below 5 level (fair day)	April 11 April 23 April 29	April 30 May 2 May 5

Table 2.14 Heating test condition
(indoor setting temperature cover and day)

Parameter		Specification	
Indoor setting temperature (°C)	23	May 5	May 6
	25	April 15	April 22
	27	April 25	April 26

3. 냉방 실험조건

하절기 태양열 하이브리드 시스템의 냉방운전시 운전조건 변화에 따른 시스템 특성을 고찰하기 위하여 실내설정온도를 24°C, 25°C, 26°C, 그리고 27°C로 변화시켜 가면서 실험을 하였고 열펌프의 작동조건은 FCU의 냉수회수온도가 8°C이하가 되었을 경우 작동하고 8°C이상일 때 정지하도록 설정하였다. 또한 난방실험과 동일하게 태양열 집열기와 펌프의 원활한 구동을 위해 집열기 출구온도와 축열 탱크 하단 부 온도와의 온도차를 감지하여 히스테리시스 효과를 고려한 ON-OFF 차온 제어(Differential controller)장치를 사용하였으며, 시스템의 효율적 운영을 위하여 열매체 펌프의 작동은 집열기 출구 열매체와 축열 탱크 하부의 온도차가 10°C이상일 때 작동하고 온도차가 3°C이하 일 때 펌프의 작동을 중지하도록 제어하였다. 시스템 작동시 주요 부위에서의 데이터 획득은 각 측정 위치에서의 자료를 5분마다 정보수집기(data logger)를 이용하여 저장하였으며, 집열량의 산정은 차온 제어에 의해 집열기 펌프가 작동되는 시점을 기준으로 하였다.

냉방운전시 운전조건 변화에 따른 시스템 특성을 고찰하기 위한 실험조건 및 해석조건을 Table 2.15와 Table 2.16에 나타내었다.

Table 2.15 Cooling test condition(system)

Parameter	Specification	
Heat pump operating setting temperature (°C)	8	
Test area (m ²)	79.34	
Digital difference temperature control (°C)	ΔT_{on}	10
	ΔT_{off}	3

Table 2.16 Heating test condition
(indoor setting temperature cover and day)

Parameter	Specification		
Indoor setting temperature (°C)	24	August 3	August 4
		August 5	August 6
		August 7	August 8
	25	August 10	August 11
		August 12	August 13
		August 14	
	26	August 17	August 18
		August 19	August 20
		August 21	
	27	August 25	August 27
		August 28	August 29
		September 7	

제 3 장 실험 결과 및 고찰

제 1 절 구름량에 따른 난방시스템의 성능특성 고찰

본 연구에서는 우선 태양열 하이브리드 시스템의 성능특성을 파악하고 시스템에서 차지하는 열량이 어떠한 영향을 미치는 가에 대해 고찰하였다. 시스템의 특성을 파악하기 위하여 태양열 하이브리드 시스템 설치장소와 근거리에 존재하는 광주 기상청의 구름량 데이터를 기준으로 하여 측정일의 구름량이 5미만일 경우에는 맑은 날, 5이상일 경우 흐린 날로 나누어 시스템 성능을 분석하였다.

Fig. 3.1은 실험 기간 중 구름량이 5이상인 흐린 날의 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 실험 기간 중 최저 일사량은 0.99 kWh/m^2 로 나타났고, 외기온도와 크게 상관없이 구름량이 10에 가까워질수록 일사량은 적은 것으로 확인되었다. 특히, 구름량이 적은 4월 25일과 26일의 외기온도는 10°C 이하로 매우 낮은 온도를 나타내었다. 본 연구에서 측정된 결과, 흐린 날의 평균 일사량은 2.18 kWh/m^2 , 외기온도는 13.7°C 로 확인되었다.

Fig. 3.2는 실험 기간 중 구름량이 5미만인 날의 일사량과 외기온도의 변화를 나타내고 있다. 최대 일일 일사량은 6.33 kWh/m^2 로 흐린 날의 최저 일사량에 비하여 6.4배 이상 크게 나타났으며, 맑은 날 역시 흐린 날과 비슷하게 외기온도에 따른 일사량의 영향은 적은 것으로 나타났다. 맑은 날은 많은 복사열로 인하여 외기온도가 비교적 높은 $14\sim 20^\circ\text{C}$ 사이에 분포하였으며 실험 기간이 진행 될수록 외기온도는 높아진 것을 확인 할 수 있었고 이때, 평균 일사량은 5.87 kWh/m^2 로 확인되었다.

Fig. 3.3은 흐린 날의 집열량과 집열기의 효율을 보여주고 있다. 집열기의 효율은 다음과 같은 식(Duffie, 2006)으로 표현된다.

$$\eta = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{A \cdot G} \quad (1)$$

여기서 m 은 집열기 배관내의 작동 유체(water-propylene glycol)의 질량으로써 유량계를 통하여 측정한 값이며 C_p 값은 작동 유체의 정압비열 으으로써 집열기 입/출구 온도의 평균값을 이용하여 구하였다. 또한, ΔT 는 집열기 입/출구 온도차로써 T-type 열전대를 사용한 값을 사용하였고, A 는 집열 면적(투과면적기준), G 는 해당일의 일사량을 사용하였다. 구름량이 9.4이상인 날 즉, 일사량이 2.38 kWh/m^2 이하인 4월 24일과 25일은 일사량이 상대적으로 적었으며 차온 제어기의 제어에 의해 시스템에서 원하는 집열량을 얻지 못하여 집열기에 의해 실제 사용된 열량은 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 설계된 태양열 시스템이 태양열을 사용하기 위해서는 최소한 2.38 kWh/m^2 이상의 일사량이 필요함을 확인하였다. 또한, 태양에너지를 이용하지 못한 날을 제외한 날의 집열효율은 평균 약 51%로 나타났으며 평균 집열량은 21.98 kWh 로 확인되었다.

Fig. 3.4는 맑은 날의 집열량과 집열효율을 보여주고 있다. 구름량이 5미만인 날은 전체적으로 일사량과 집열량의 변화가 유사한 것으로 나타났으며 집열량 차이 또한 크지 않은 것으로 확인되었다. 집열효율은 평균 60%정도로 나타나 흐린 날에 비하여 약 10%이상 높은 효율을 가지는 것으로 확인되었다. 또한, 집열량은 평균 55.71 kWh 로 흐린 날 중 태양에너지를 받지 못하는 경우를 제외한 날의 집열량의 평균값보다 약 2.5배 높은 것으로 확인되었다.

Fig. 3.5는 흐린 날 중 외기조건이 가장 좋지 못했던 4월 25일의 집열기 입/출구 온도와 일사량의 변화를 당일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 나타내었다. 25일은 일평균 일사량이 0.99 kWh/m^2 로 가장 낮았으며 구름량은 9.4, 평균 외기온도는 9.8°C 로 나타났다. Fig. 3.5에서 보는 것과 같이 일사량은 350 W/m^2 를 넘지 않았으며 집열기 입구와 출구의 온도차는 10°C 정도를 유지하여 축열 탱크와의 열교환은

없어 차온 제어기에 의해 집열기 펌프가 작동하지 않음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3.6은 맑은 날 중 가장 일사량이 좋은 4월 29일 집열기 입구와 출구온도와 일사량의 변화를 보여주고 있다. 29일은 일평균 일사량이 6.33 kWh/m^2 , 구름량은 0, 평균 외기온도는 16°C 로 매우 높게 형성되었다. 이 날의 일사량은 최대 856 W/m^2 까지 올라갔으며 낮 동안 일사량이 높아 집열기의 충분한 집열로 제어기의 집열기 펌프는 계속 가동되었지만 일사량이 거의 희박해진 오후 5:25에서 집열기 펌프가 작동을 중지 한 것을 알 수 있다. 일사량은 오후 12:30에 최대로 나타났으며 집열기의 온도는 오후 3:30까지 계속적으로 증가하는 것으로 확인되었다. 또한, 평균 86°C 의 온도를 가진 작동유체를 통해 집열기에서 축열 탱크로 열량을 공급하는 것으로 나타났다. 난방시 구름량의 양이 많을수록 집열기에서 집열량이 급격히 감소함에 따라 실제 태양열 시스템이 효율적으로 작동하지 못하기 때문에 이를 효율적으로 극복하기 위한 시스템 제어가 요구된다.

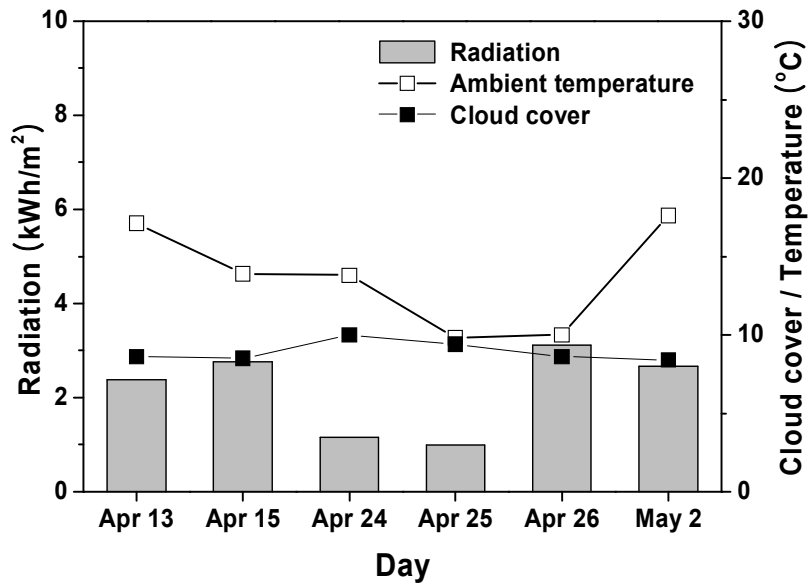


Fig. 3.1 Variations of the solar radiation, cloud cover and ambient temperature with the day for gray condition.

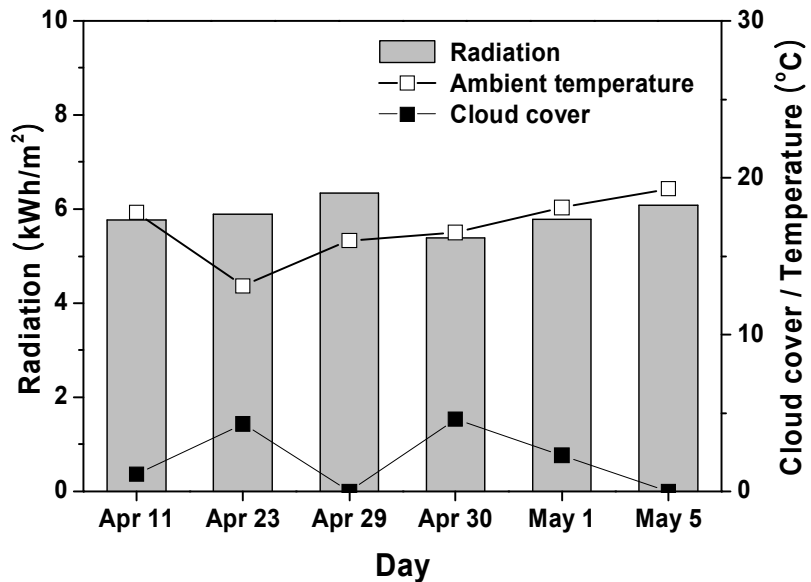


Fig. 3.2 Variations of the solar radiation, cloud cover and ambient temperature with the day for fair condition.

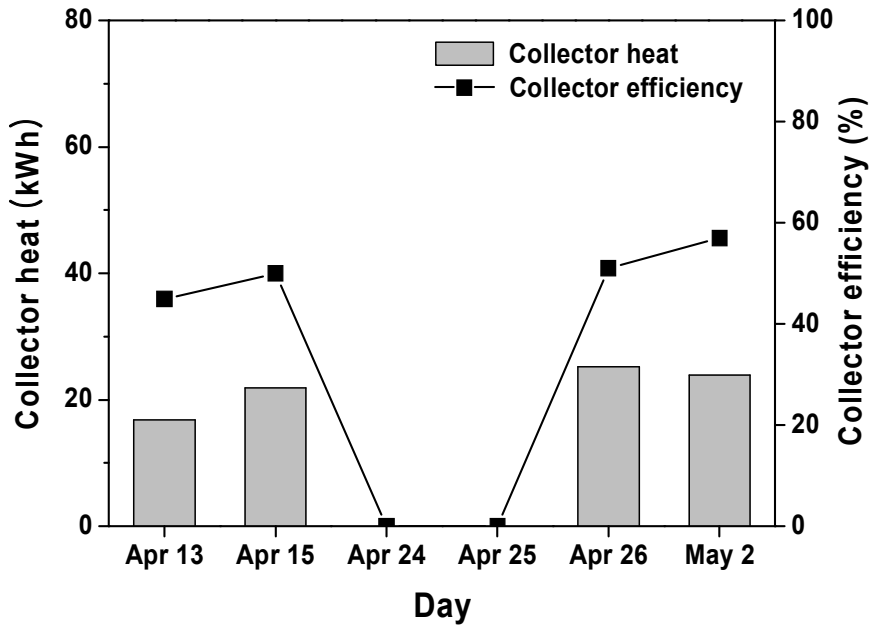


Fig. 3.3 Variations of the collector heat and collector efficiency with the day for gray condition.

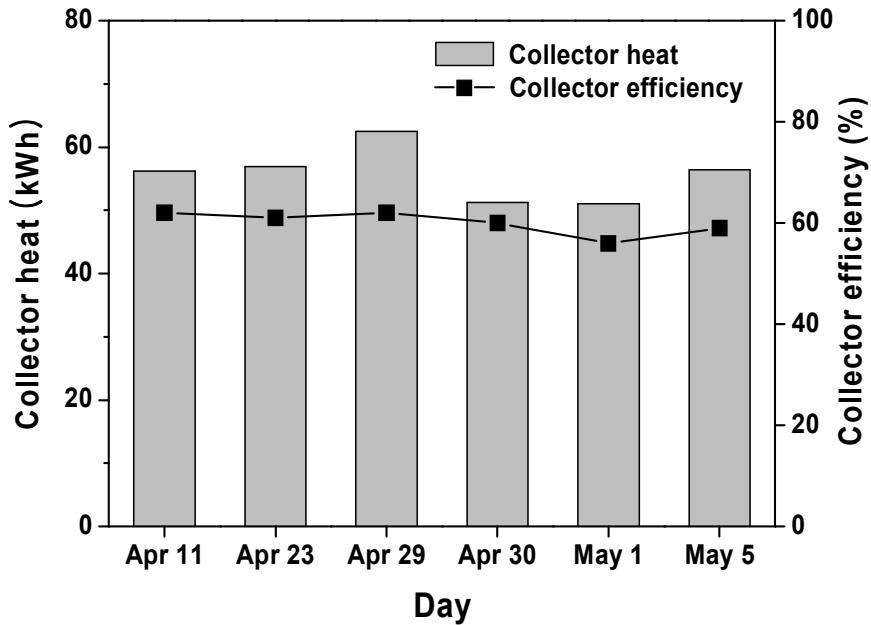


Fig. 3.4 Variations of the collector heat and collector efficiency with the day for fair condition.

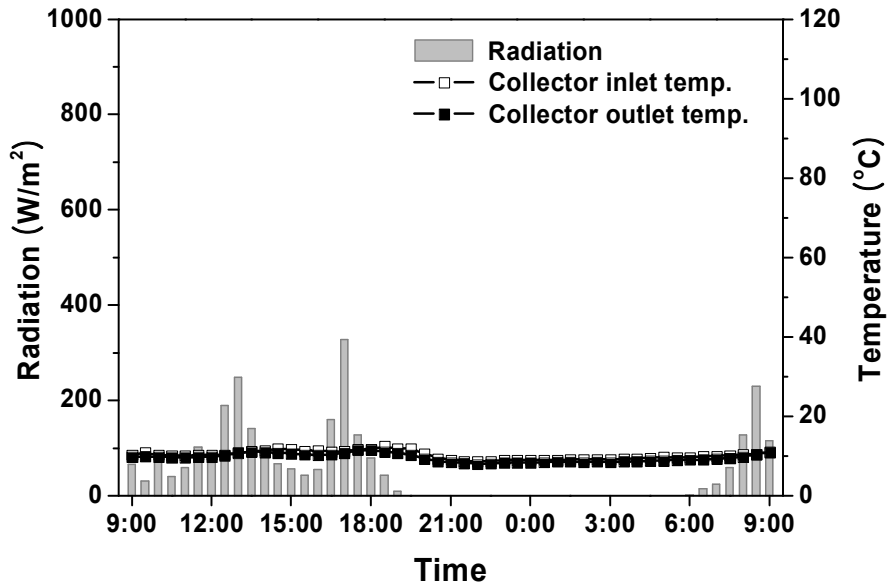


Fig. 3.5 Variations of collector inlet/outlet temperature with time for gray condition(April 25).

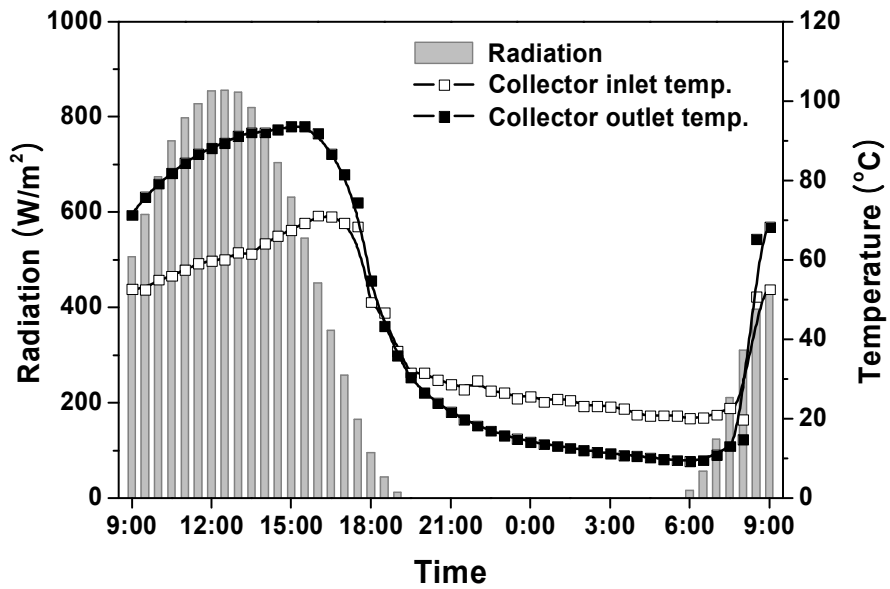


Fig. 3.6 Variations of collector inlet/outlet temperature with time for fair condition(April 29).

Fig. 3.7은 흐린 날의 난방열량과 외기온도 변화를 나타내고 있다. 외기온도가 낮을수록 난방열량이 크게 나타나는 것으로 나타났는데 그 이유는 외기온도가 낮아질수록 실내설정온도와의 차이가 크게 나타나 상대적으로 난방열량이 크게 나타나는 것으로 사료되며 난방열량은 일사량에 크게 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. 특히, 4월 13일은 흐린 날임에도 불구하고 난방열량이 적은 이유는 외기온도가 17.1°C까지 올라감으로서 실내설정온도와의 차가 적어 난방열량이 적은 것으로 확인되었다. 또한, 5월 2일의 외기온도는 4월 13일과 4월 15일에 비해 높지만 난방열량이 많이 발생했던 이유는 난방을 운전 하였던 실내공간에서 상대적으로 열손실이 많이 발생하여 난방열량이 높게 나타난 것으로 사료된다. 흐린 날의 평균 외기온도는 13.7°C, 평균 난방열량은 176.5 kWh로 나타났다.

Fig. 3.8은 맑은 날의 외기온도와 난방열량 변화를 보여주고 있다. 맑은 날 역시 흐린 날과 마찬가지로 외기온도에 따라 난방열량이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 맑은 날 평균 외기온도는 16.8°C이었으며, 난방열량은 평균 88.35 kWh로 흐린 날에 비해 평균 외기온도가 3°C가량 높게 나타났으며 난방열량은 약 2배 감소한 것으로 나타났다. 또한, 외기온도가 상승함에 따라 난방열량이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 3.9는 앞서 언급하였던 Fig. 3.7의 데이터 중 일사량이 적고 외기온도가 낮아 난방열량이 가장 많았던 4월 25일 난방열량에 영향을 끼치는 주요 인자를 알아보기 위해 FCU 입/출구 온도 및 유량 변화를 30분 간격으로 보여주고 있다. 25일의 경우 일평균 외기온도는 9.8°C를 나타냈다. 난방펌프가 작동 하였을 때를 기준으로 FCU 입/출구 온도를 분석하면 대략 5.5~6°C정도의 차이를 보인다. 또한, 작동유체의 온도는 51.6°C로 나타났으며 일사량과 외기온도가 흐린 날 중 가장 낮은 관계로 난방열량이 지속적으로 필요하였기 때문에 FCU 입출구의 온도가 비교적 균일하게 형성됨을 확인 하였다.

Fig. 3.10은 맑은 날 중 일평균 외기온도가 19.3°C로 가장 좋았으며 난방열량은

15.59 kWh로 가장 적었던 5월 5일의 FCU 입구온도와 출구 온도와 난방 유량을 보이고 있다. 낮 동안에는 외기온도가 높아 난방을 필요로 하지 않아 FCU 난방 펌프 작동은 없었지만 새벽과 오전에는 일교차가 크게 나타나 FCU 난방 펌프가 간헐적으로 작동 했던 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 새벽 3시쯤 FCU 입출구 온도가 가장 크게 나타나 차온 제어기에 의해 열펌프가 작동하여 온도차가 줄어드는 운전모습을 확인할 수 있었다. 난방 순환 펌프가 작동 하였을 때를 기준으로 난방 공급온도는 평균 54°C로 나타났다.

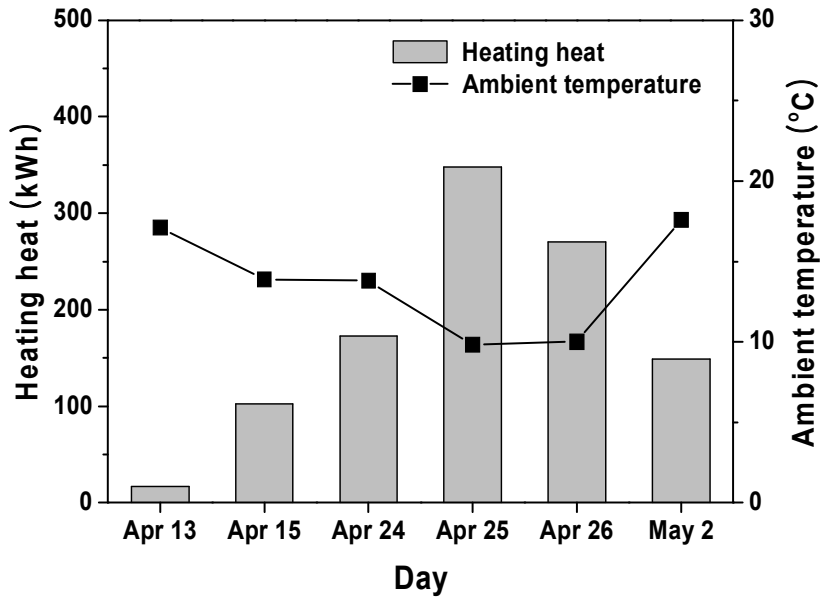


Fig. 3.7 Variations of heating heat and ambient temperature with the day for gray condition.

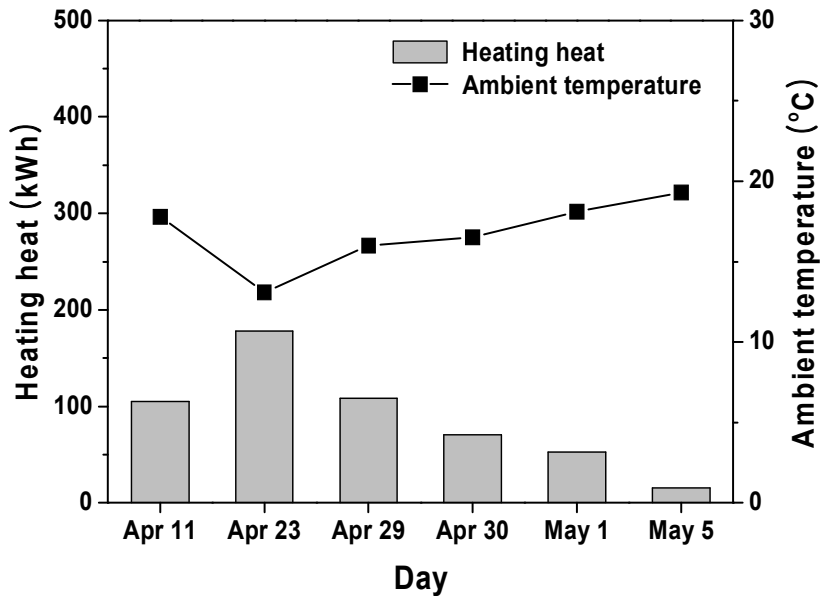


Fig. 3.8 Variations of heating heat and ambient temperature with the day for fair condition.

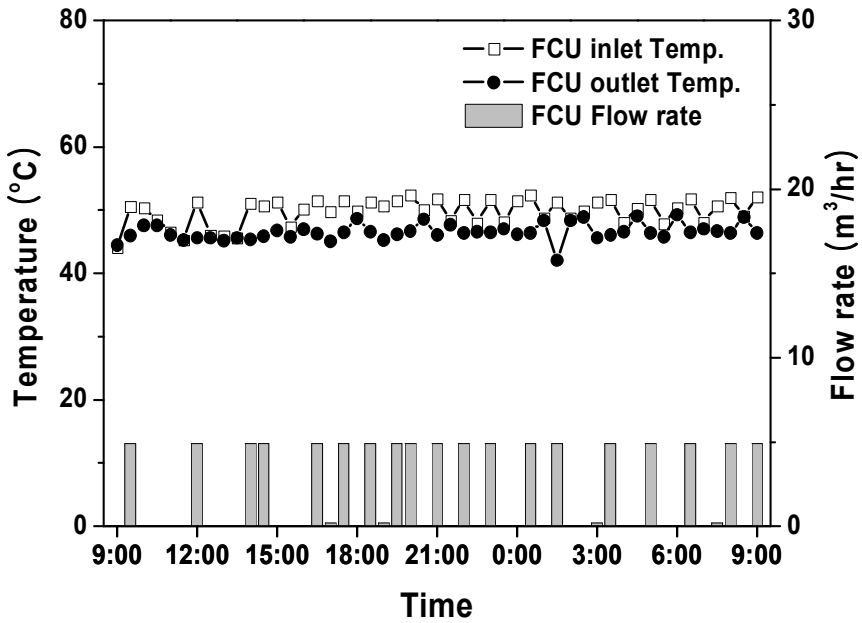


Fig. 3.9 Variations of FCU inlet/outlet temperature and flow rate with the time for gray day(April 25).

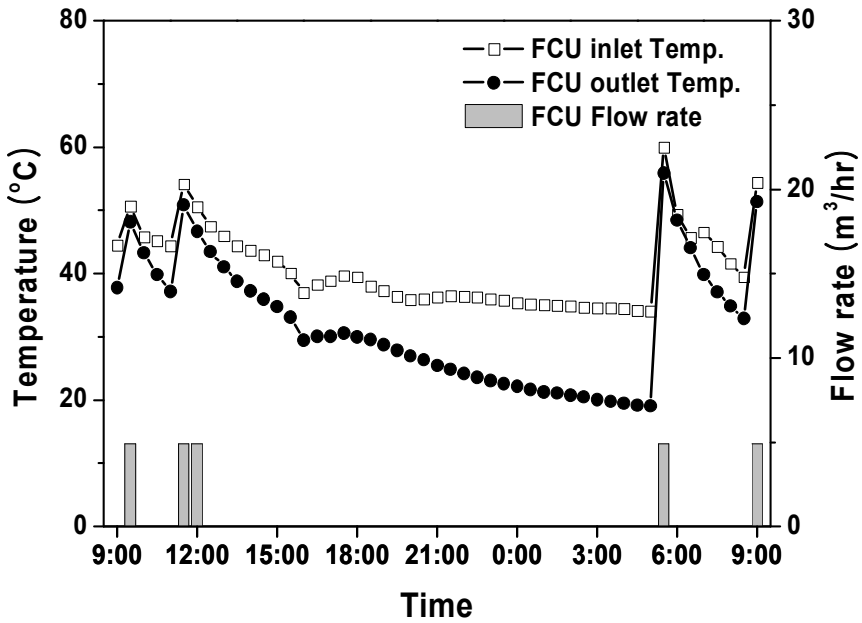


Fig. 3.10 Variations of FCU inlet/outlet temperature and flow rate with the time for fair day(May 5).

Fig. 3.11은 흐린 날의 급탕열량과 일사량의 변화를 보여주고 있다. 흐린 날 평균 급탕열량은 12.9 kWh로 나타났으나 동일한 급탕열량을 빼주었음에도 불구하고 급탕열량이 9~16.9 kWh로 다르게 나타난 이유는 본 시스템에서 제어의 특성상 온수의 온도를 일정하게 제어 할 수 없어 급탕용 열교환 코일이 위치하는 축열 탱크 상단측의 온도에 따라 급탕온수의 온도가 달라지고 이에 급탕열량도 다르게 나타나기 때문이다.

Fig. 3.12는 맑은 날 급탕열량 및 일사량 변화를 나타내고 있다. 맑은 날 평균 급탕 열량은 봄철 날이 진행되어 외기온도가 향상됨에도 불구하고 거의 비슷한 열량을 보이고 있으며 급탕열량의 평균열량은 15.1 kWh로 나타났으며 최소 1.5 kWh에서 최대 18.5 kWh까지 나타났다. 또한 흐린 날의 평균 열량의 12.9 kWh에 비해 맑은 날 급탕열량이 약 17%가량 높게 나온 것으로 나타났다. 이는 앞에서 이미 설명한 바와 같이 사용되는 급탕온수의 온도가 맑은 날 높게 형성되기 때문이다.

Fig. 3.13은 흐린 날의 급탕온도 변화를 나타내고 있다. 흐린 날의 급탕온도는 평균 51.4°C로 아침, 점심, 저녁에 상관없이 급탕에 쓰이는 온수들의 온도차가 매우 적게 나타났다. 특히 4월 25일과 4월 26일 날에는 일사량이 거의 없었기 때문에 온수의 시간대 별 온도차이는 3°C 이내로 나타났으며 일사량이 적을수록 급탕온수의 온도차이가 작아지는 것을 확인하였다.

그러나 Fig. 3.14와 같이 맑은 날의 급탕온도는 해 뜨는 동안에 충분히 열을 받아 축열 탱크에서 급탕의 온도가 높게 형성되어 평균적으로 아침온도는 51.2°C, 점심 온도 59.7°C, 저녁온도 68.2°C로 점점 증가하였으며 급탕 온도가 흐린 날에 비하여 크게 상승함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설계된 시스템의 특성을 고려하여 시스템의 효율을 유지하면서 최적의 운전을 하기 위한 급탕온도로 흐린 날은 낮게 맑은 날은 높게 온도를 설정하여 운전될 수 있는 제어가 필요함을 알 수 있었다.

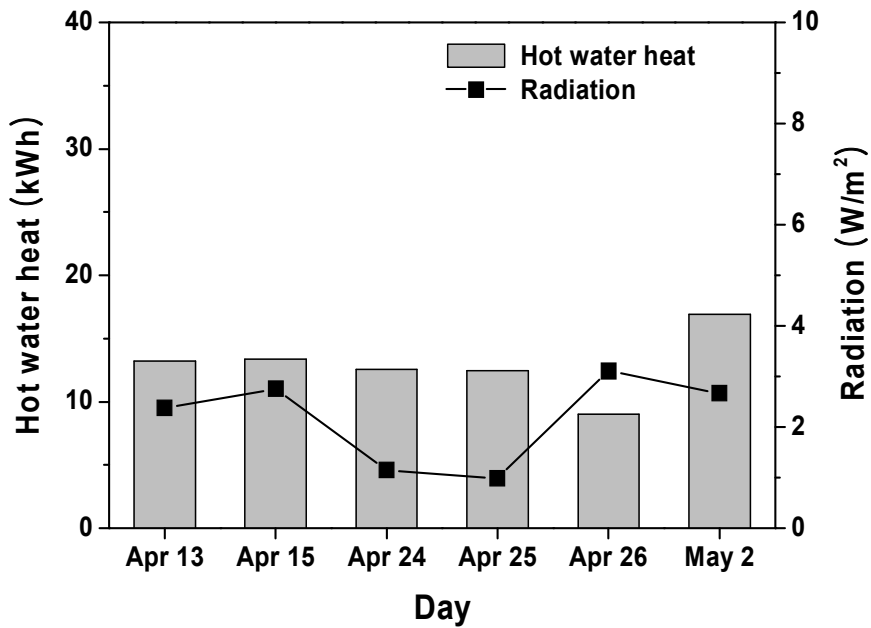


Fig. 3.11 Variations of hot water heat and radiation with the day for gray condition.

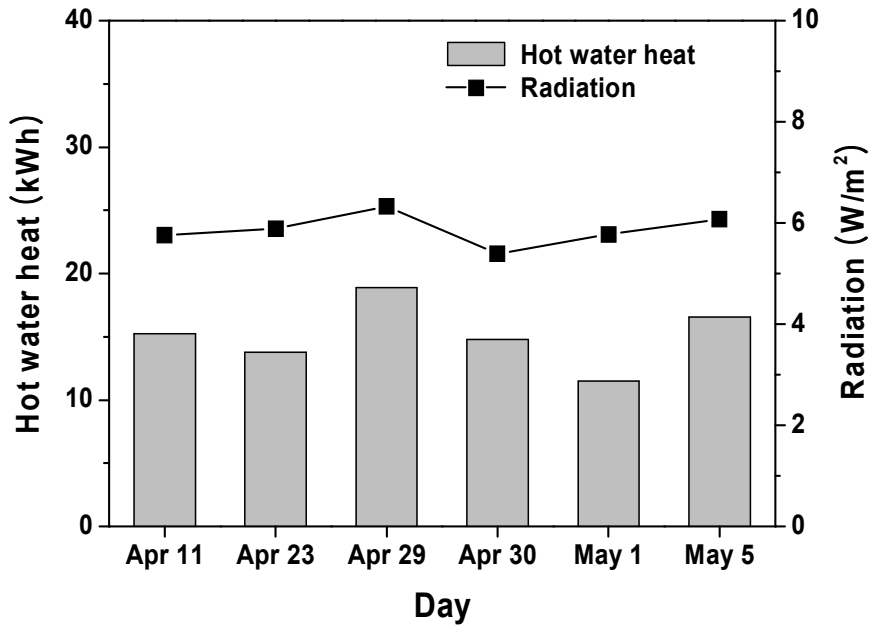


Fig. 3.12 Variations of hot water heat and radiation with the day for fair condition.

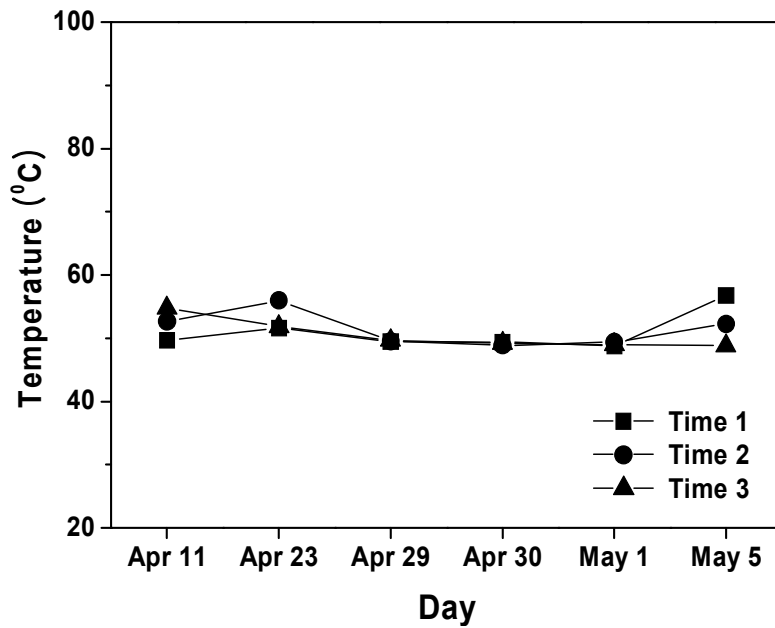


Fig. 3.13 Variation of hot water temperature with the time for gray condition.

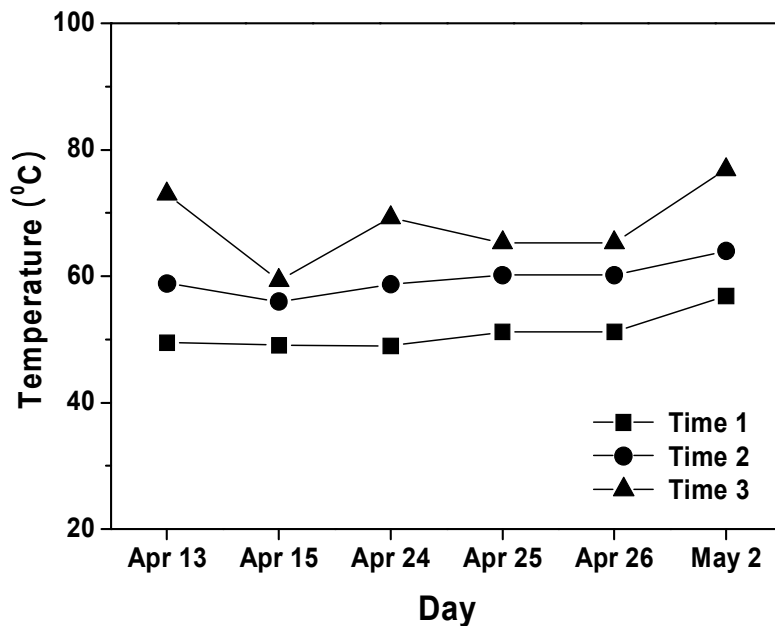


Fig. 3.14 Variation of hot water temperature with the day for fair condition.

Fig. 3.15는 흐린 날의 급탕, 난방, 집열량 및 태양열 의존율에 대한 변화를 보여 주고 있다. 태양열 의존율은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$f = \frac{Q_{collector}}{Q_{heating} + Q_{hotwater}} \quad (2)$$

흐린 날 중 집열량을 받지 못한 날을 제외한 평균 집열량은 22 kWh, 태양열 의존율은 25%로 나타났다. 흐린 날 중 4월 24일과 25일의 태양열 의존율은 0인데 그 이유는 위에서 언급한 것과 마찬가지로 많은 구름량으로 인하여 집열기에서 집열량을 만들기에 충분치 않았기 때문에 태양열 의존율이 없는 것으로 나타났다. 흐린 날의 경우에 평균 난방열량은 176.5 kWh로 확인 되었으며 시스템에서 차지하는 비율은 93%로 급탕열량 보다 시스템에 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

Fig. 3.16은 맑은 날의 급탕, 난방, 집열량 및 태양열 의존율의 변화를 보여 주고 있다. 맑은 날의 경우 평균 집열량은 55.7 kWh, 난방열량 88.4 kWh, 급탕열량 15.1 kWh, 그리고 태양열 의존율은 약 73%로 나타났다. 맑은 날 중 5월 5일에는 태양열에 의한 의존율이 100%로 나타났는데 이는 맑은 날의 외기온도가 실내설정 온도와 유사하게 높았기 때문에 난방열량이 15.6 kWh로 다른 날에 비하여 적어 태양열에 의한 의존율이 100%로 나타났다. 이 때 급탕열량은 16.6 kWh로 난방 열량이 시스템에서 차지하는 비율은 약 48.5%로 매우 높게 나타났다. 흐린 날에 비하여 맑은 날 급탕열량이 차지하는 비율이 높기 때문에 흐린 날과 맑은 날에 따라 급탕열량을 효과적으로 운전 할 수 있는 최적 제어가 필요하다고 사료된다.

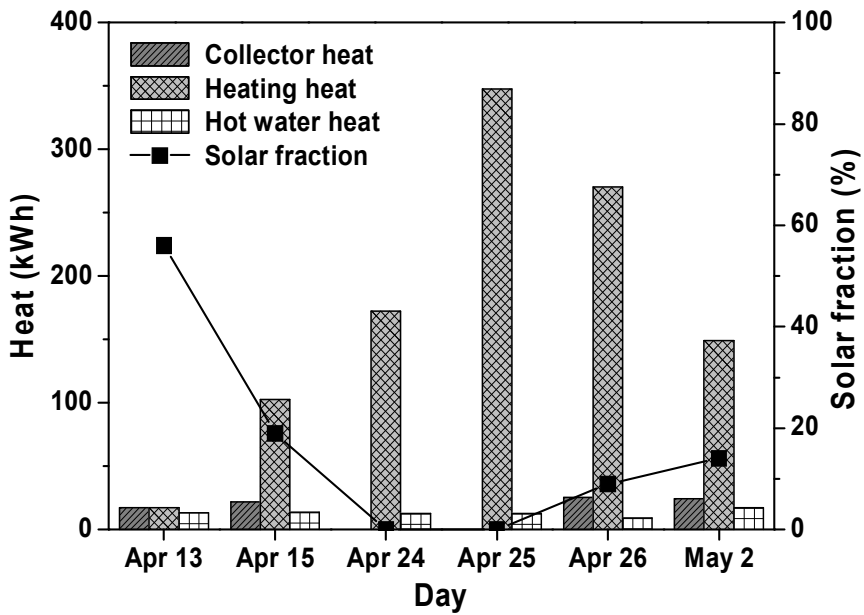


Fig. 3.15 Variations of the collector, heating, hot water heat and solar fraction with day for gray condition.

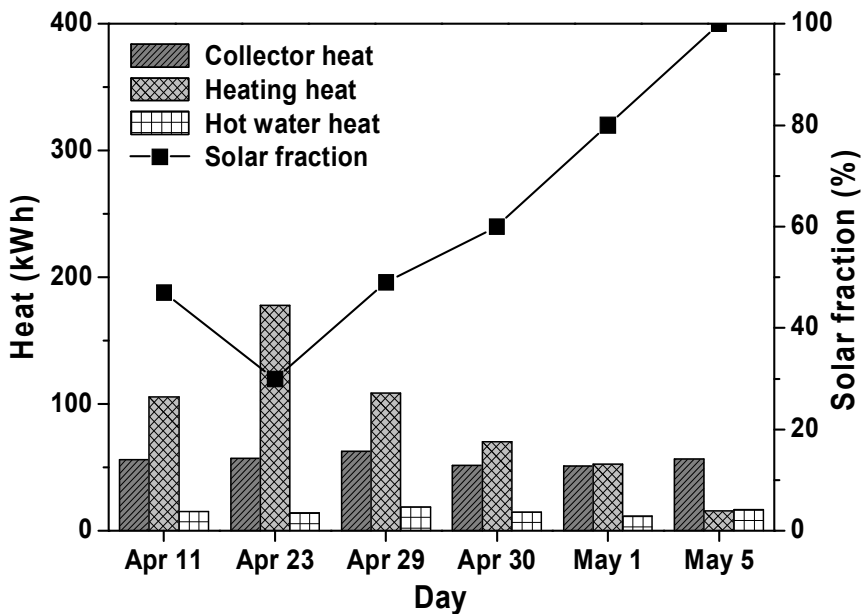


Fig. 3.16 Variations of the collector, heating, hot water heat and solar fraction with day for fair condition.

Fig. 3.17은 흐린 날 중 4월 24일 하루 동안의 압축기 소요동력, 보조열량, 그리고 COP의 변화를 나타내고 있다. 흐린 날의 경우에 집열기에서 충분한 집열을 받지 못하여 열펌프가 낮과 밤 동안 지속적으로 운전되는 것으로 확인되었다. Fig 3.17에서 보는바와 같이 4월 24일에 열펌프가 하루 동안 지속적으로 운전하였는데 그 이유는 외기온도가 낮고 구름량이 높아 집열기에서 축열 탱크의 열량만으로 소비되는 난방 및 급탕열량을 충당하지 못하고 열펌프의 운전을 통하여 난방 및 급탕열량 모두를 담당하였던 것으로 판단된다. 운전 중 열펌프의 COP는 2.0~2.6로 평균 COP는 2.36으로 나타났다.

Fig. 3.18은 맑은 날 중 4월 23일 하루 동안의 열펌프 소요동력, 외기온도 그리고 COP의 변화를 나타내고 있다. 맑은 날의 낮 경우 높은 외기온도와 집열기에서의 충분한 집열로 인하여 축열 탱크에 열을 충분히 축적하였기 때문에 축열 탱크만으로 난방열량 및 급탕열량을 충분히 담당할 수 있어 낮 동안의 열펌프의 가동은 없었던 것으로 확인되었다. 그러나 밤에 외기온도가 급격하게 낮아짐에 따라 낮 동안 축열 탱크에 축적된 열량을 사용함으로써 새벽에 난방열량의 부족분이 생기고 이에 열펌프가 작동하는 것을 확인하였다. 이때 COP는 2.13~2.74로 나타나 흐린 날에 비해 변동 폭이 커짐을 알 수 있었다. 그 이유는 본 연구에서 사용하는 열펌프는 공기 열원 방식이므로 외기온도에 따라 열펌프에서 생산하는 열량이 다르며 외기온도가 높을수록 열펌프에서 생산하는 열량은 많아지기 때문이다. 맑은 날의 경우 흐린 날에 비하여 최대 외기온도가 높아 최대 COP는 높게 나타났으며 맑은 날의 외기온도가 흐린 날에 비하여 변화 폭이 커 COP의 변화도 커진 것으로 사료된다.

열펌프의 성능특성을 분석한 결과 열펌프 COP는 구름량의 차이보다 외기온도변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 확인되었다. 게다가 기존의 연구 Park et al.(2007)에서 열펌프의 COP는 3.0~3.5 정도로 나타나 비교적 높은 성능을 보였으나 본 연구에서는 이보다 낮은 성능을 보였는데 이는 기존의 연구에서 열펌프의 작동은 축

열 탱크 하부온도가 40°C 이하였으나 본 연구에서는 축열 탱크 하부온도를 48°C로 설정하여 실험을 수행하였기에 높은 축열 탱크 하부온도로 인하여 주위로의 열손실이 크고 시스템의 비가역성이 증가하여 COP가 낮게 나타나는 것으로 확인되었다. 또한, 기존의 연구는 외기온도가 20~25°C에서 열펌프가 가동되었지만 본 연구에서는 외기온도가 10~15°C로 비교적 낮은 온도에서 열펌프를 가동시켜 실험을 수행하였기 때문에 COP가 상대적으로 낮게 나타났다.

Fig. 3.19는 압축기 소요동력에 큰 영향을 미치는 조건인 외기온도와 습도의 변화를 보여주고 있다. Fig. 3.19에서 보듯이 외기온도가 낮아지고 습도가 높아짐에 따라 압축기 소요동력이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 이 중 24일 19:30에서 20:00사이에 습도가 10%정도 상승하는데 그 이유는 해당시간에 비가 내려 습도가 급격하게 높게 올라감으로써 나타나는 현상으로 확인 되었다. 4월 24일의 평균 온도는 14.8°C, 습도는 74.3%를 나타냈다. 이 때 압축기에 소요되는 평균 동력은 5.78 kW가 소모되는 것으로 확인되었다.

Fig. 3.20은 맑은 날 중 4월 23일의 압축기 소요동력, 외기온도, 그리고 습도 변화를 시간에 따라 보여주고 있다. 이미 언급했던 바와 같이 압축기는 해가 떠서 축열 탱크에 충분히 축열이 되기 전 시간대와 해가지고 난후 축열 탱크의 축열 열량이 부족한 시점에서 열펌프가 작동하게 된다. 4월 23일의 평균 기온은 22.64°C로 흐린 날에 비해 외기온도가 비교적 높게 나타났으며 평균 습도는 42.6%로 비교적 낮게 나타났다. 습도는 해가지기 시작하는 16:30 이후부터 점차 외기온도가 낮아지면서 습도가 최대 68.8%까지 상승하는 것을 확인 할 수 있었다.

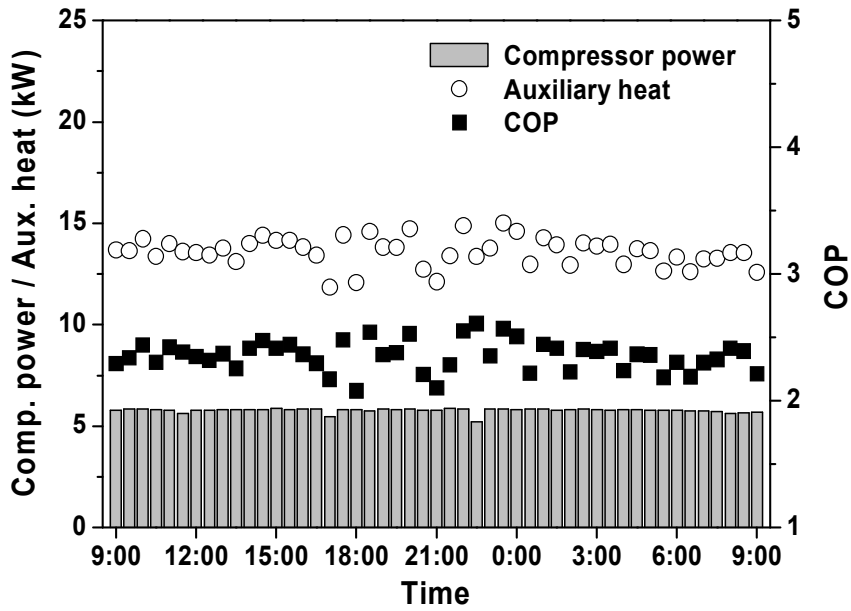


Fig. 3.17 Variations of the compressor power, auxiliary heat and COP with the time for gray day (April 24).

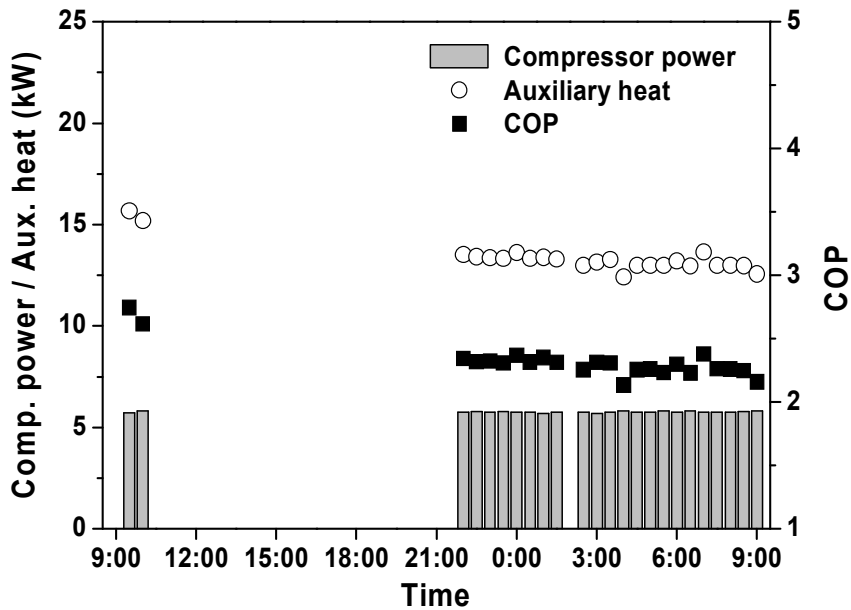


Fig. 3.18 Variations of the compressor power, auxiliary heat and COP with the time for fair day (April 23).

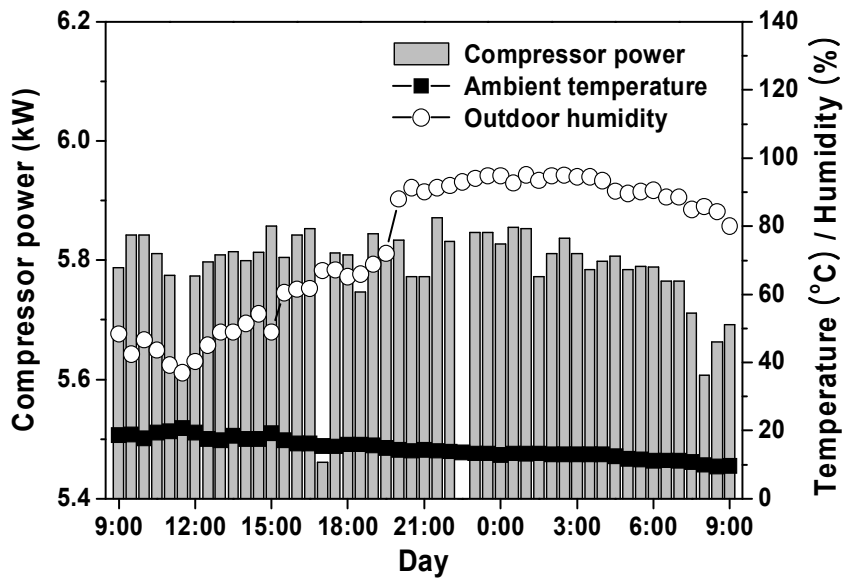


Fig. 3.19 Variations of the compressor power, ambient temperature and humidity with the time for gray day(April 24).

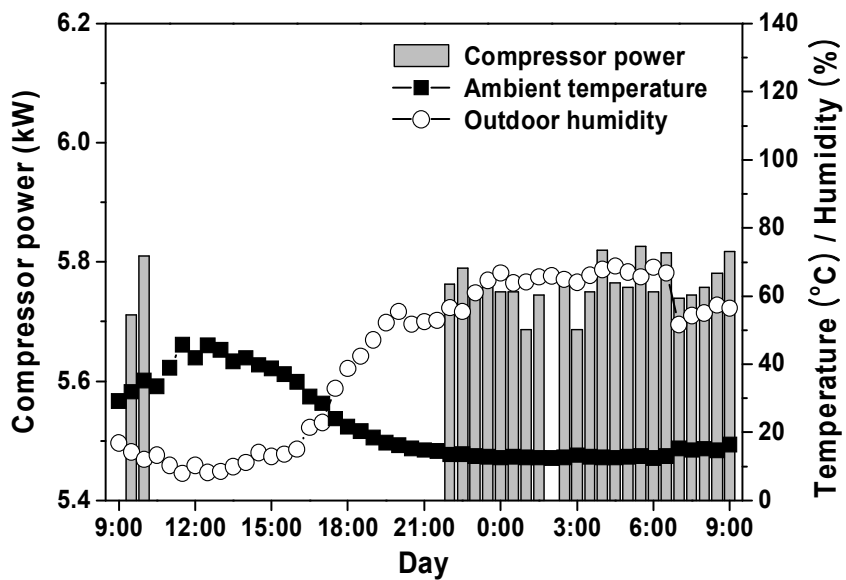


Fig. 3.20 Variations of the compressor power, ambient temperature and humidity with the time for fair day(April 23).

제 2 절 실내설정온도에 따른 난방시스템의 운전특성 고찰

하이브리드 태양열 난방시스템에서 실내설정온도 변화에 따른 시스템의 운전특성을 분석 하기위해 실내온도를 변화시켜 보면서 각각의 열량과 시스템특성을 분석 하였다. Fig. 3.21는 실험 기간 중 실내설정온도가 23°C(4월15일, 4월22일), 25°C(4월 25일, 4월26일), 그리고 27°C(5월6일, 5월7일)의 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 최대 일일 일사량은 6.5 kWh/m²로 최소 일일 일사량 1 kWh/m² 비하여 6배 이상 크게 나타났으며, 구름량에 대한 집열량의 영향은 외기온도의 영향에 비하여 큰 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 4월 15일와 4월26일의 경우 구름량은 8.5와 8.6로 4월 25일의 구름량 9.4에 비하여 구름량의 차이가 적지만 일사량의 경우 4월 15일와 4월26일에는 2.76 kWh/m²와 3.11 kWh/m²로 4월 25일의 일사량 1 kWh/m²와 차이가 크게 나타났는데 이는 구름량이 8.5와 9.4사이로 태양열이 최소한 열을 집열기에 전달할 수 있는 구름량이기 때문이라 사료된다. 또한, 4월 달의 외기온도 경우 9.8~13.9°C로 비교적 낮게 분포하였으나 5월 달의 경우 날이 따뜻해짐에 따라 외기온도가 20~21°C로 높게 분포하였다. 4월 달의 평균 일사량은 3.27 kWh/m²로 확인되었으며 5월 달의 평균 일사량은 6.27 kWh/m²로 약 2배 이상 증가 되는 것으로 확인되었다.

Fig. 3.22는 실험 기간 중 실내설정온도를 23°C, 25°C, 그리고 27°C로 하였을 때의 집열량과 집열효율의 변화를 보여주고 있다. 이 중 5월6일과 5월7일의 집열량과 집열효율이 일사량과 비례하지 않고 낮게 나타났는데 그 이유는 5월 달의 외기온도가 높아 축열 탱크에서 많은 열을 축적할 수 있기 때문에 차운 제어기에 의한 모터의 구동이 상대적으로 적어 집열량이 적게 나타나는 것으로 사료된다. 또한, 4월 25일은 구름량이 높고 일사량이 상대적으로 적어 집열기에서 집열량이 작아져 축

열 탱크에서 태양열의 이용이 없는 것으로 확인되었다. 4월 25일을 제외한 날의 집열효율은 평균 49.2%정도 나타났으며 집열량은 평균 37.92 kWh로 확인되었다.

Fig. 3.23은 집열량과 난방열량, 급탕열량 및 열펌프 작동시간에 대한 변화를 보여주고 있다. 우선, 실내설정온도를 23°C로 설정한 경우 중 4월 22일은 4월 15일에 비해 난방열량은 약 62 kWh 더 컸지만 열펌프의 가동 시간 3.5시간으로 4월 15일의 열펌프 가동시간 7.5시간보다 적은 것으로 확인되었다. 이러한 이유는 4월 22일에는 충분한 일사량을 확보하고 집열기에서 원활한 집열을 하여 난방열량을 담당하는 축열 탱크에서 충분히 열을 축적하였기 때문이다. 또한, 실내설정온도를 25°C로 설정한 날에 비하여 외기온도는 거의 비슷하지만 난방열량이 적은 이유는 실내설정온도가 작기 때문이다. 따라서 외기온도에 알맞은 최적의 실내설정온도의 제어가 필요하다고 사료된다. 실내설정온도를 25°C로 설정한 경우 중 4월 25일 경우에는 외기온도가 낮고 집열을 받지 못하여 단지 난방열량을 열펌프만으로 운전되었기 때문에 다른 날에 비하여 난방열량이 큰 것이 확인되었으며 열펌프의 운전시간이 많은 것으로 확인되었다. 실내설정온도를 27°C로 설정한 날은 외기온도가 높고 실내설정온도와 차이가 적어 난방열량이 없어 열펌프가 가동되지 않았던 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 3.24는 실험 기간 중 일사량과 급탕온도에 대한 변화를 보여주고 있다. 실내설정온도가 23°C인 날 중에 4월22일의 급탕의 온도변화가 49.8°C, 58.2°C, 63.4°C이고 4월 15일의 급탕의 온도는 51.6°C, 56°C, 51.9°C로 나타났다. 여기서 4월 22일이 4월 15일보다 온도 변화 폭이 큰 이유는 4월 15일 경우에는 집열기에서 충분한 집열을 하지 못하고 축열 탱크에 충분한 열을 많이 축적한 상태에서 난방열량으로 사용하였기 때문에 4월22일에 비하여 온도 폭이 적은 것으로 확인 되었다. 실내설정온도가 25°C인 4월25일과 4월26일은 평균49.2°C으로 온도변화폭은 0.5°C로 매우 적게 나타났는데 다른 날에 비하여 일사량이 적고 열펌프가 자주 운전했던 것으로 보아 축열 탱크에 축열된 양이 적어 온도변화 폭이 적은 것으로 사료된다. 실내 설

정온도가 27°C인 5월6일의 온도 변화는 66.5°C, 71°C, 82.3°C로 나타났고 5월7일의 온도는 77°C, 83.2°C, 89.9°C로 온도변화폭이 컸는데 그 이유는 실내설정온도가 높아 축열 탱크에서 난방열량으로 사용되지 않아 그 사용량만큼 축열 탱크에서 축적되어 온도가 다른 날에 비하여 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 그러하기에, 축열 탱크가 난방하지 않는 날의 경우 급탕온도가 높기 때문에 축열 탱크의 열을 효율적으로 사용하는 급탕용량과 제어법이 필요하다고 사료된다.

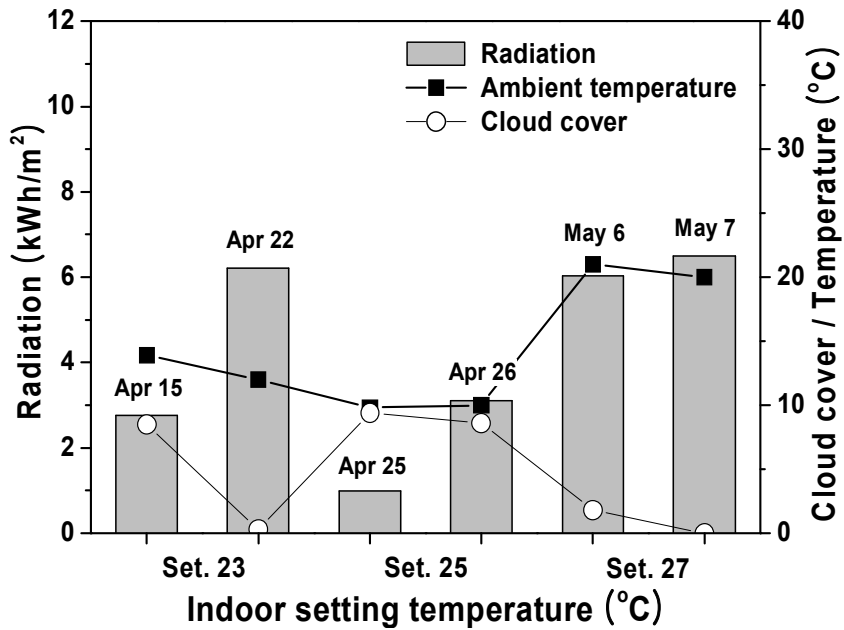


Fig. 3.21 Variations of the radiation, ambient temperature and cloud cover with the indoor setting temperature.

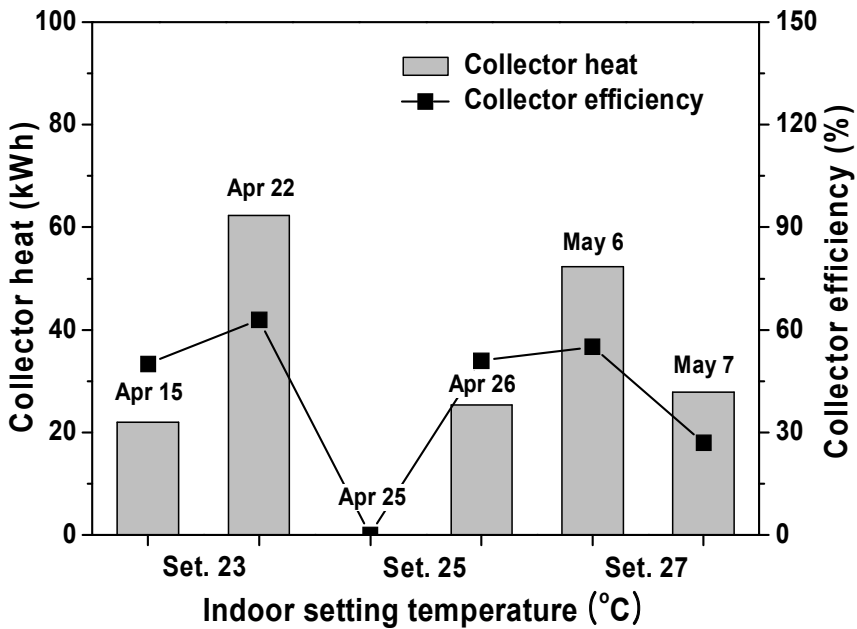


Fig. 3.22 Variations of the collector heat and collector efficiency with the indoor setting temperature.

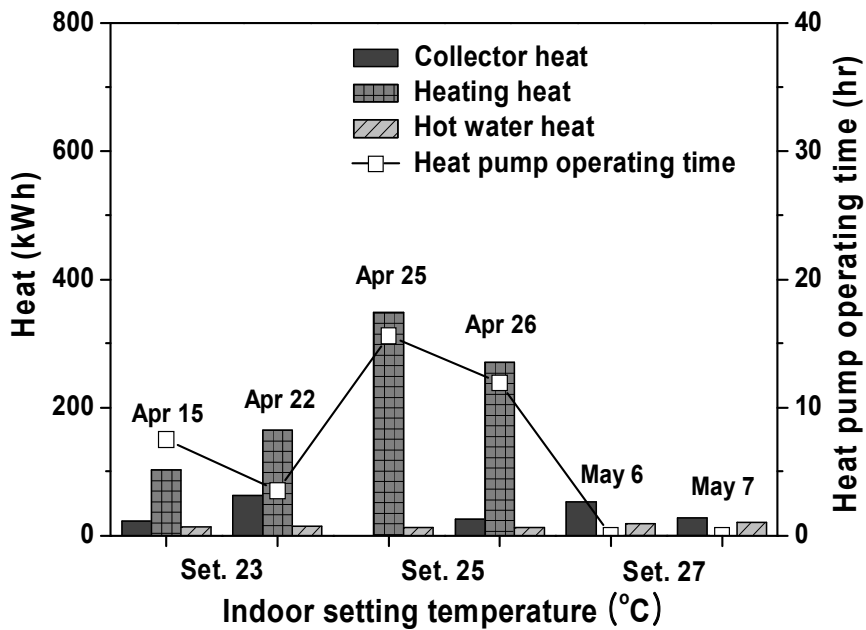


Fig. 3.23 Variations of the heat and operation time with the indoor setting temperature.

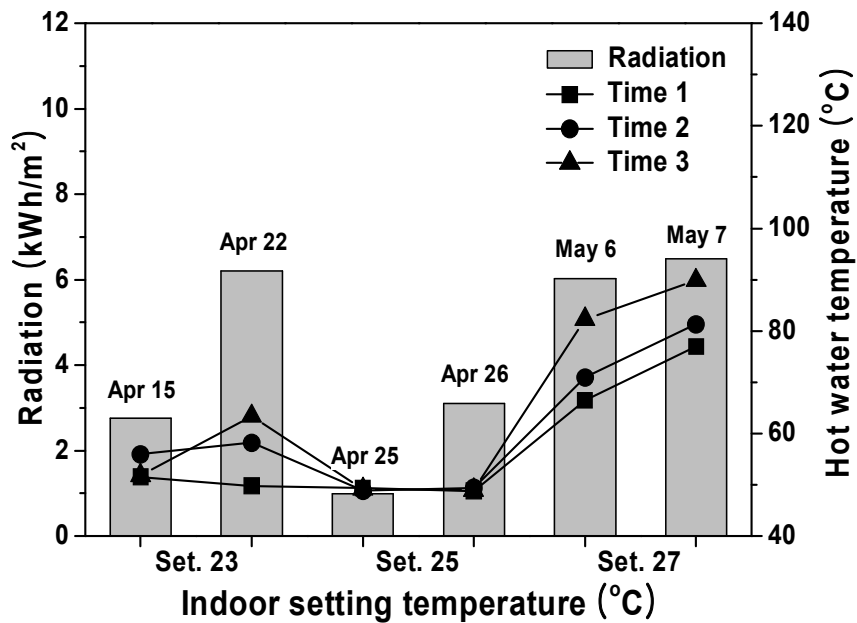


Fig. 3.24 Variations of the radiation and hot water temperature with the indoor setting temperature.

제 3 절 냉방시스템의 운전특성 분석

하이브리드 태양열 난방시스템에서 실내설정온도 변화에 따른 시스템의 운전특성을 분석하기 위해 실내온도를 24~27°C로 변화시켜 보면서 각각의 열량과 시스템 운전특성을 분석하였다.

Fig. 3.25는 실험 기간 중 실내설정온도가 24°C인 날의 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 최대 일일 일사량은 4.83 kWh/m²로 최소 일일 일사량 1.2 kWh/m² 비하여 4배 이상 크게 나타났으며 외기온도는 8월 5일 27°C를 제외하고는 비교적 낮은 온도를 유지하는 것으로 나타났다. 또한 이 기간 중 평균 일사량은 3.3 kWh/m²로 확인되었다.

Fig. 3.26은 실내설정온도가 25°C인 날의 일사량과 외기온도의 변화를 나타내었다. 8월 10~14일의 경우에는 장마의 영향으로 인하여 일사량 차이가 크게 나타났으며 최대 일일 일사량은 4.63 kWh/m²로 최소 일일 일사량 0.3 kWh/m² 비하여 15배 이상 차이 확인되었고 평균 일사량은 2.4 kWh/m²로 다른 조건의 실험기간보다 일사량이 낮게 나타났다. 또한, 비교적 일사량의 변화가 구름량의 변화와 일치하는 것으로 측정되었으며 외기온도는 평균적으로 26.6°C로 장마에 의한 영향으로 평균 여름철 온도보다는 낮은 값을 보인다.

Fig. 3.27은 실내설정온도를 26°C로 실험한 결과를 나타내고 있다. 실험 기간 중 평균 구름량은 6.1로 나타났으며 외기온도는 평균 27.8°C로 더운 날씨를 유지하였다. 특히 8월 19일의 경우에는 29°C로 일평균 외기온도가 가장 높게 나타났으며 일사량 역시 평균 4.3 kWh/m²로 냉방실험 기간 중 가장 좋은 일사량과 외기온도를 보였다. 앞서 Fig 3.2에서 확인 할 수 있듯이 봄철 맑은 날의 일사량이 평균 5.87 kWh/m²인 반면에 여름철의 경우 평균 외기온도는 크게 높아졌으며 냉방실험 기간 중 가장 좋은 외기온도를 보였음에도 불구하고 일사량은 상대적으로 높지 않게 나타났다. 이는 봄철에 비해 여름철의 기상조건이 불규칙하여 하루 동안의 일사량

변화가 심하여 나타나는 결과로 사료된다.

Fig. 3.28은 실내설정온도를 27°C로 설정하여 실험한 날의 일사량과 외기온도의 변화를 보여주고 있다. 최대 일일 일사량은 6.3 kWh/m²로 최소 일일 일사량 0.9 kWh/m²에 비하여 7배 이상 크게 나타났다. 여기서 일사량의 차이가 크게 나타나는 이유는 8월 27의 경우 비가 내렸기 때문에 구름량이 높고 일사량이 다른 날에 비하여 낮게 나타났다. 또한, 평균 일사량은 4.2 kWh/m²로 비교적 높게 나타났다. 또한, 외기온도 평균온도는 23.4~26.2°C 사이에 분포하였다.

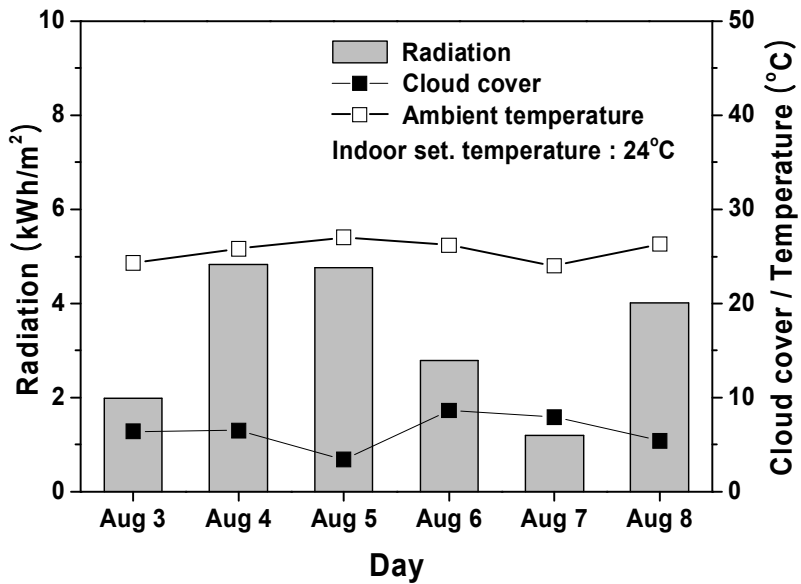


Fig. 3.25 Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 24°C.

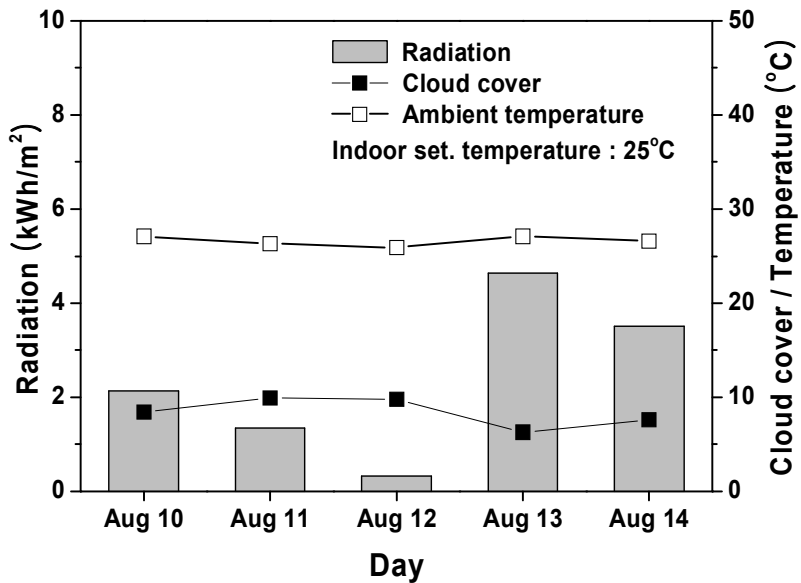


Fig. 3.26 Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 25°C.

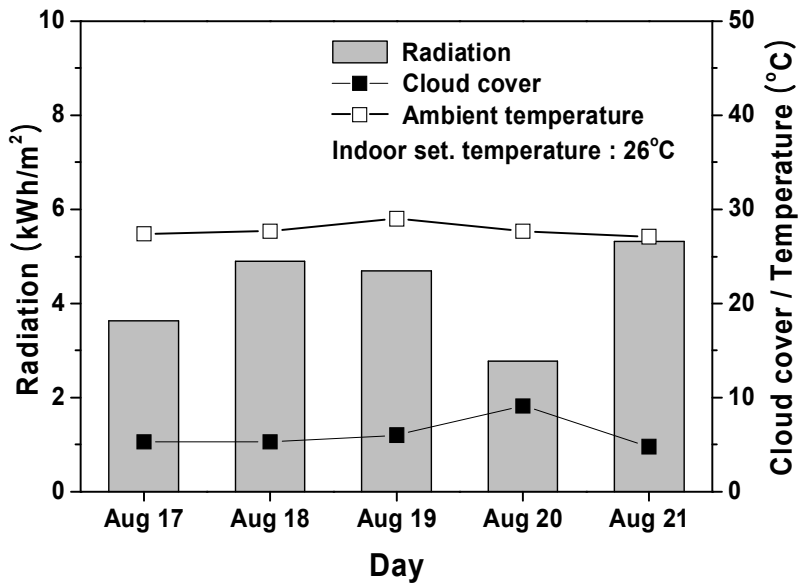


Fig. 3.27 Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 26°C.

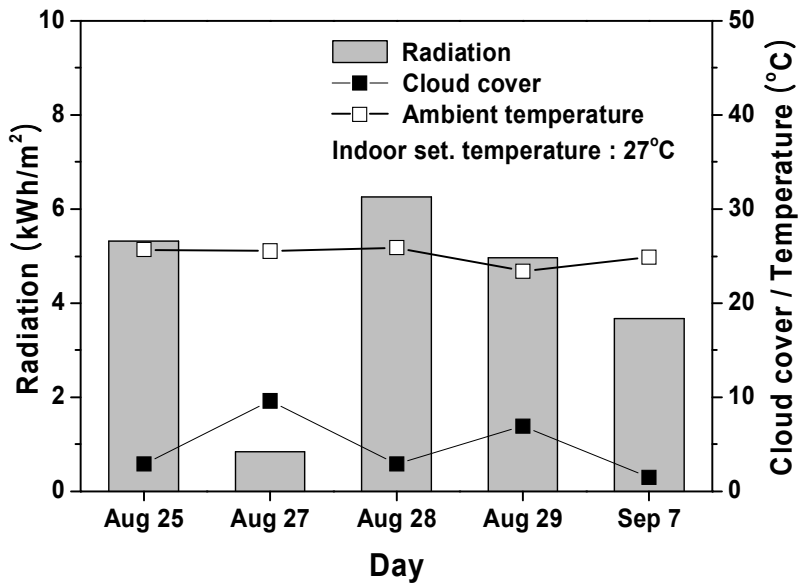


Fig. 3.28 Variations of the radiation, cloud cover and ambient temperature with day at the indoor setting temperature of 27°C.

Fig. 3.29는 집열기의 성능을 알아보기 위하여 실내설정온도가 24°C인 날의 집열량과 집열효율을 보여주고 있다. 집열량은 평균 21.1 kWh로 나타났으며 집열량은 일사량과 비슷한 관계로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 실험 기간 중 평균 집열효율은 38%로 나타났으며 8월 3일의 경우 집열량이 낮았음에도 불구하고 집열효율이 높게 나오는 이유는 실험의 정확성을 높이기 위해 실내설정온도를 변화시키기 전날에 축열 탱크 하부의 온도를 50°C로 만들어 주어 집열효율이 높게 나온 것으로 보인다.

Fig. 3.30은 실험기간 중 실내설정온도가 25°C인 날의 집열량과 집열효율을 나타내고 있다. 집열량의 분포는 Fig. 3.26의 일사량의 분포와 유사하게 확인되었으며 집열효율은 최대 48.23%, 평균 23.1%정도 나타났고 집열량은 평균 13.2 kWh로 확인되었다. 8월 12일 경우 일사량이 상대적으로 적고 차운 제어기의 제어에 의해 시스템에서 원하는 집열량을 얻지 못하여 집열기에 의해 실제 사용된 열량은 없는 것으로 나타났다

Fig. 3.31은 실내설정온도를 26°C로 설정하여 실험한 날의 집열량과 집열효율을 보여주고 있다. 집열량의 분포는 앞서 실험 하였던 실내설정온도 25°C인 날과 유사하게 Fig. 3.27의 일사량의 분포와 비슷하게 확인되었다. 또한, 집열효율은 최대 54%이며 평균적으로 42.4%정도 나타났으며 집열량은 평균 31 kWh로 확인되었다. 다른 실험기간보다 집열효율과 집열량이 크게 나온 이유는 실험기간 중 좋은 외기 조건을 보였기 때문이다.

Fig. 3.32는 실내설정온도가 27°C인 날의 집열량과 집열효율을 나타내고 있다. 집열효율은 53.8~13.2%로 나타났으며 집열량은 평균 30 kWh로 확인되었다. 8월 27일은 다른 날에 비하여 집열량이 적는데 그 이유는 구름량이 9.4로 높아 집열기에서 충분한 집열을 하지 못하여 집열량이 적게 나온 것으로 확인되었다. 또한, 여름철 기후 특성상 높은 외기온도에도 장마에 의하여 일부 낮은 집열량을 나타내는 현상을 확인할 수 있었다.

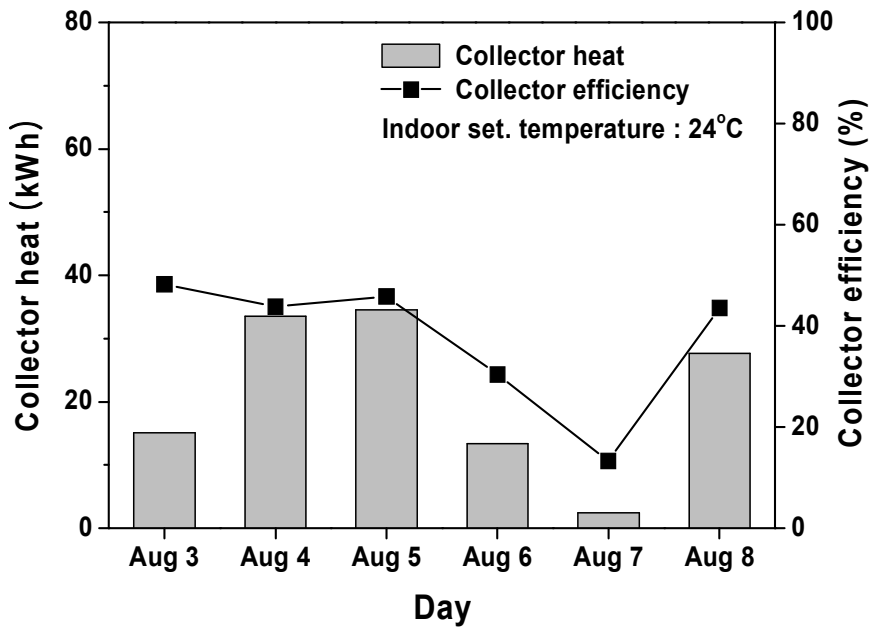


Fig. 3.29 Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 24°C.

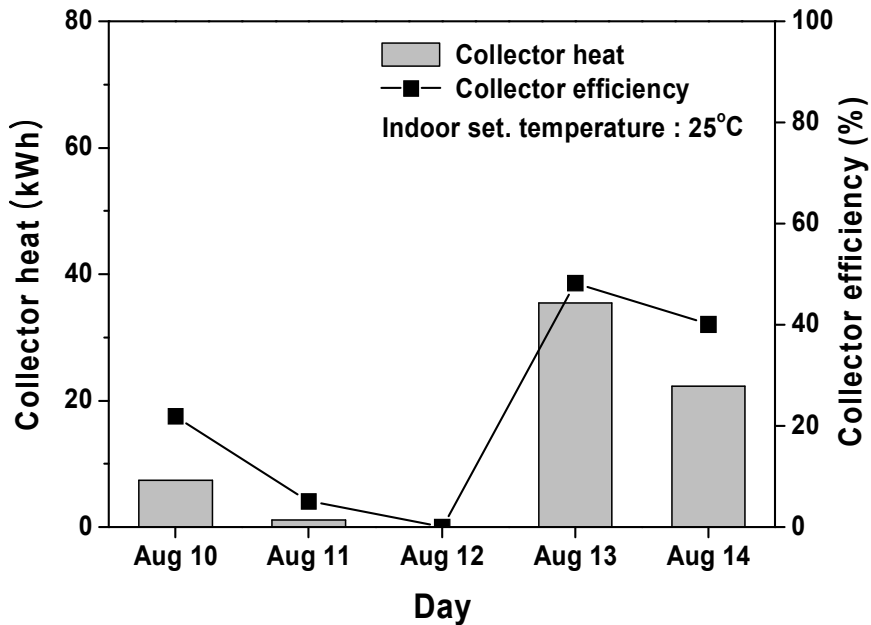


Fig. 3.30 Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 25°C.

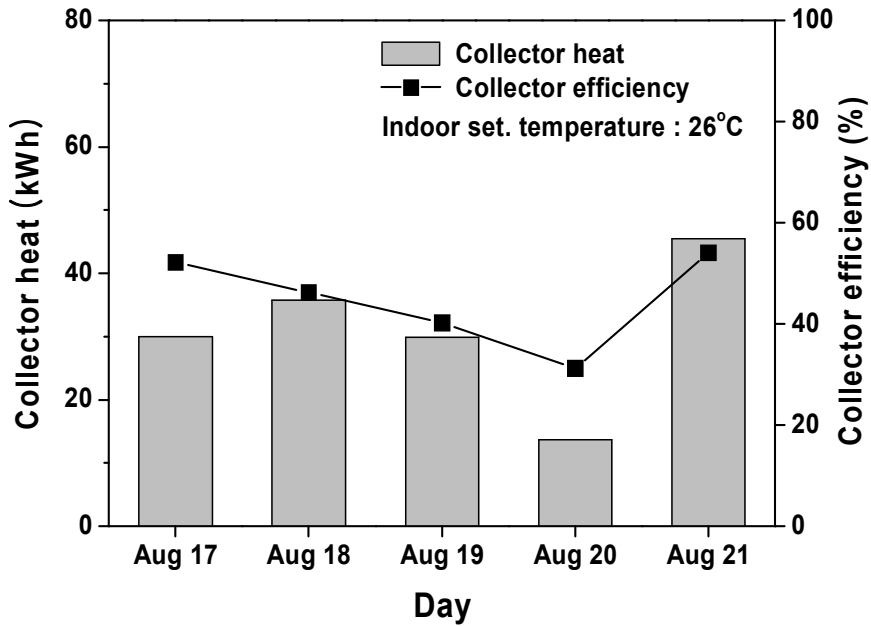


Fig. 3.31 Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 26°C.

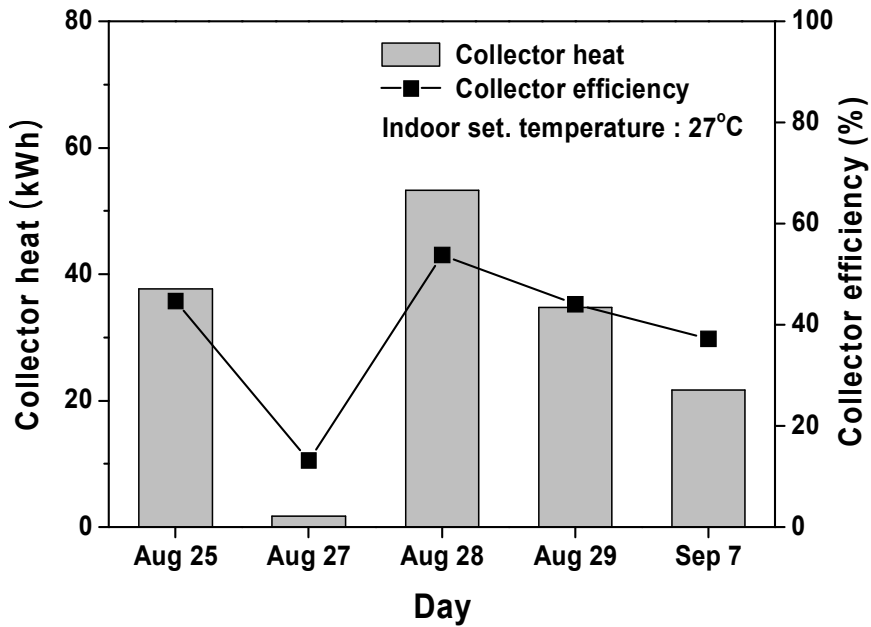


Fig. 3.32 Variations of collector heat and collector efficiency with day at the indoor setting temperature of 27°C.

Fig. 3.33은 실내설정온도가 24°C인 기간 중 8월 7일의 집열기 입구와 출구의 온도와 일사량의 변화를 당일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 보여주고 있다. 8월 7일의 경우 일사량이 9시 이전에 존재 하였음에도 불구하고 축열을 하기 위한 충분한 열량이 확보하지 못하여 집열 펌프가 작동하지 않은 것을 확인하였다. 또한, 13:00부터 집열기 출구의 온도가 급격히 올라간 것으로 보아 이 시점부터 집열펌프가 작동하는 것을 알 수 있었으며 오후 6:00 이후 집열량의 일사량의 감소로 인하여 집열기 펌프가 작동하지 않음을 확인하였다.

Fig. 3.34는 실내설정온도를 25°C로 변경하여 실험한 기간 중 8월 12일의 집열기 입구와 출구 온도와 일사량의 변화를 나타내었다. 8월 12일의 일사량 변화는 Fig. 3.6에서 보여준 봄철의 일사량 변화와 크게 차이가 난다. 봄철의 경우 일사량 변화가 균일하게 나타났지만 여름철의 경우에는 일사량 변화가 크게 나타났는데 이는 여름철이 봄철에 비해 대기 조건이 불안정하여 나타나는 현상에 기인한 것으로 사료된다. 또한 일사량이 높았음에도 불구하고 집열기의 온도가 안정적이지 못하여 축열 도중 집열펌프가 빈번하게 정지하는 것으로 나타났다.

Fig. 3.35는 실내설정온도를 26°C로 설정한 8월 17일의 집열량에 비해 집열효율이 높게 나오는 것을 좀 더 자세히 알아보기 위해 집열기 입구/출구 온도와 일사량의 변화를 당일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 나타내었다. 집열기 입구의 온도는 집열기 출구의 냉매가 축열 탱크와 열교환을 한 후 회수되는 냉매의 온도로서 여기서 축열 탱크의 온도를 대략적으로 예상 할 수 있다. 8월 17의 경우 최초 집열을 시작하는 10:00의 집열기 입구의 온도는 약 50°C를 나타내었다. 이는 실험을 시작하기 전날인 8월 16일에 축열 탱크 온도가 시스템에 끼치는 영향을 줄이기 위해 축열 탱크의 온도 50°C로 낮추어 주었기 때문이다. 또한 축열을 하는 동안 집열기 입구의 온도가 41.5°C에서 최대 70°C까지 올라가는 것을 보아 축열 탱크의 온도가 약 30°C이상 높게 상승하는 것으로 확인할 수 있다.

Fig. 3.36은 실내설정온도가 27°C인 9월 7일의 집열기 입구 및 출구의 온도와 일

사량의 변화를 당일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 나타내었다. 9월 7일 최대 집열기 입구온도와 출구온도는 85.6°C와 105.4°C로 나타났다. 그림에서 보는 것과 같이 최대 일사량은 867 W/m²를 나타낼 정도로 9월 7일의 외기조건이 축열을 하기 위해 좋은 조건인 것을 알 수 있다. 이러한 외기조건으로 인하여 일사량이 최대가 되는 시점인 12:00에서부터 일사량이 500 W/m²에 근접한 17:00까지의 집열기 출구온도는 약 105°C 부근에서 분포하였다. 이는 일사량이 높아 집열을 충분히 하였음에도 불구하고 축열 탱크의 온도가 높아 축열 탱크와 열교환을 충분히 하지 못해 집열기 출구의 작동 유체 온도가 높게 나타난 것으로 보인다. 이로써 여름철 태양열을 효율적으로 사용하지 못하는 것을 확인하였으며 남은 잉여 열을 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

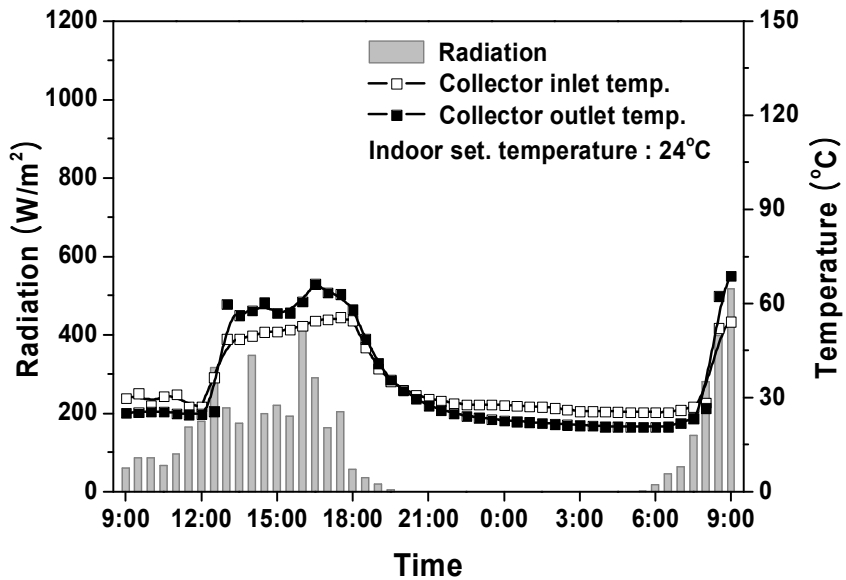


Fig. 3.33 Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 24°C(August 3).

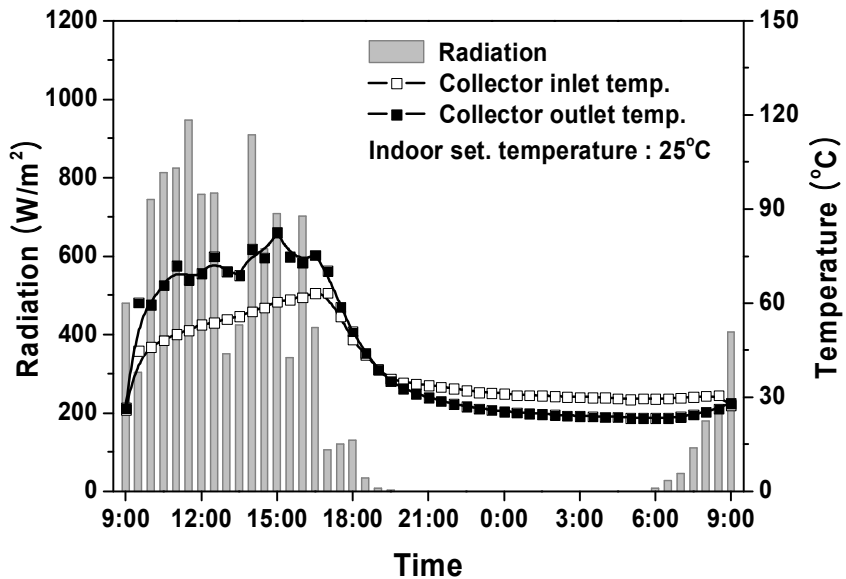


Fig. 3.34 Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 25°C(August 13).

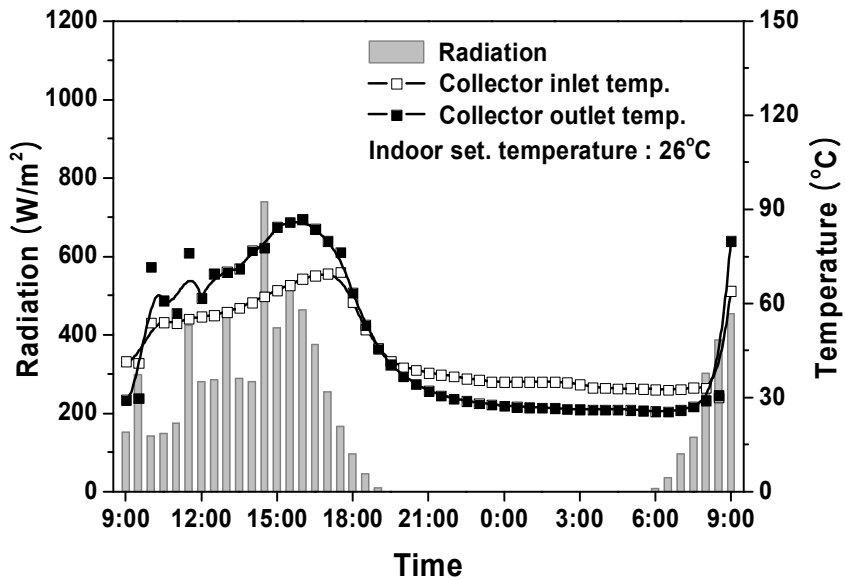


Fig. 3.35 Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 26°C(August 17).

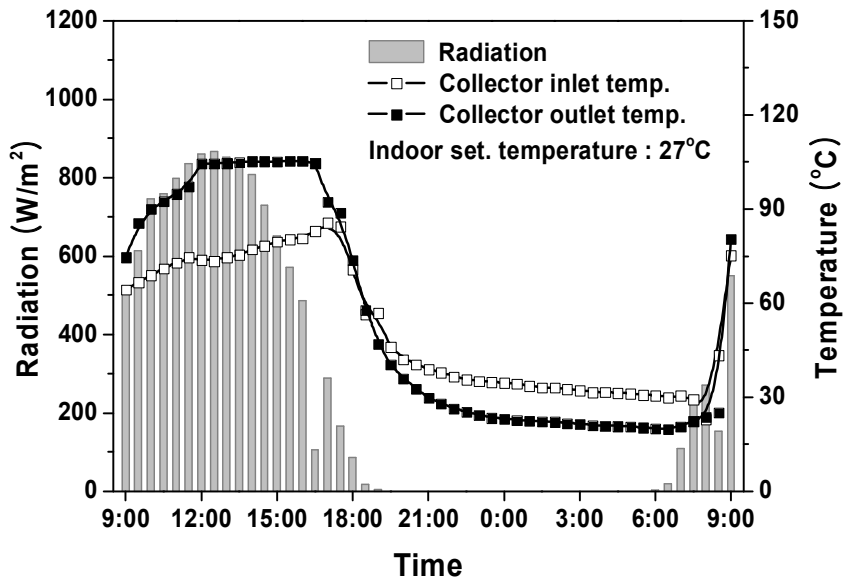


Fig. 3.36 Variations of radiation and collector inlet/outlet temperature with time at the indoor setting temperature of 27°C(August 28).

열펌프 고온부의 열량이 급탕열량에 끼치는 영향에 대하여 고찰하기 위하여 급탕과 관련이 있는 주요 인자들과의 관계를 분석하였다. Fig. 3.14에서 이미 확인하였던 바와 같이 급탕열량에 영향을 끼치는 주요 인자 중 하나는 일사량이다. 일사량이 충분한 날의 경우 축열 탱크의 온도 상승으로 인하여 급탕 토출 온도가 높아지고 이에 따라 급탕열량 역시 많아지는 것을 이미 확인하였다. 따라서 Fig. 3.37에서는 여름철 냉방운전시에도 일사량이 여전히 급탕열량에 영향을 끼치는지를 알아보고 열펌프 고온부의 영향을 파악하기 위해 실내설정온도가 24°C인 날의 급탕열량, 열펌프 고온부열량 그리고 일사량의 변화를 보여주고 있다. 이 기간 중 급탕 평균열량은 21.1 kWh로 급탕열량이 열펌프 고온부열량 보다 크게 나타났다. 또한, 봄철과 같은 급탕열량 변화가 확연하게 확인되지 않았으며 고온부열량은 급탕에 필요한 열량이 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 3.38은 실내설정온도가 25°C의 실험결과를 보여주고 있다. 이 기간 중 고온부 평균열량은 16.2 kWh로 나타났으며 실험 기간 중 8월 11일과 8월 12일의 경우 급탕열량 보다 열펌프 고온부열량이 열량이 더 높게 나타났는데 이는 일사량이 낮아 축열탱크에서 축열을 거의 하지 못하였으나 열펌프의 작동시간이 실험기간 중 거의 비슷하여 고온부열량이 다른 날 보다 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

Fig. 3.39는 실내설정온도를 26°C로 변경하여 실험한 결과를 보여주고 있다. 일사량은 2 kWh/m² 유지하였으며 외기조건이 다른 실내설정온도 조건이 다른 실험을 진행한 날보다 좋았다. 따라서 급탕열량이 비교적 높게 나타났으며 열펌프의 작동시간에 따라 고온부열량이 약간 증가하였다.

Fig. 3.40은 실내설정온도가 27°C인 날의 급탕열량, 축열 탱크 고온부열량 그리고 일사량의 변화를 보여주고 있다. 이 기간 중 고온부 평균열량은 5.1 kWh, 급탕 평균열량은 24 kWh로 확인하였으며 일사량에 따른 급탕열량 변화는 크게 확인되지 않았다. 또한 고온부열량은 열펌프의 작동시간에 따라 영향을 받는데 작동시간이 증가할수록 고온부에서 얻는 열량이 증가하게 된다.

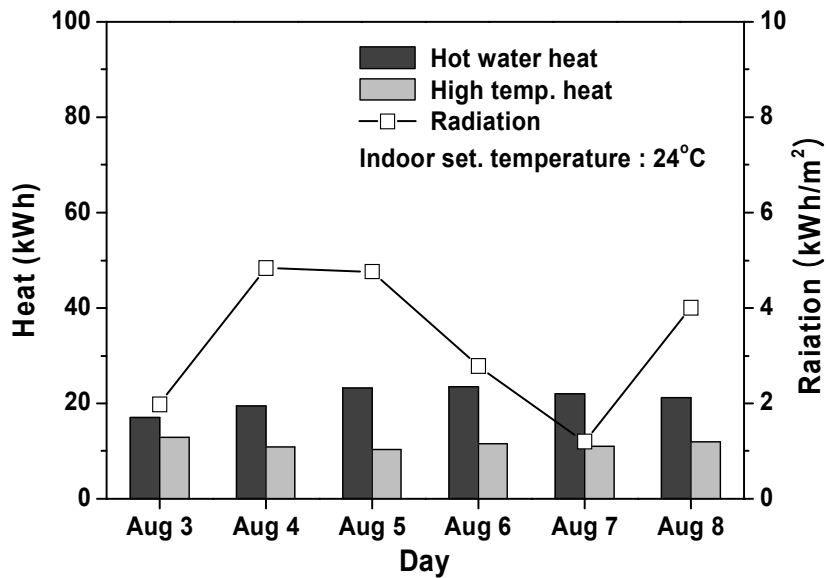


Fig. 3.37 Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 24°C.

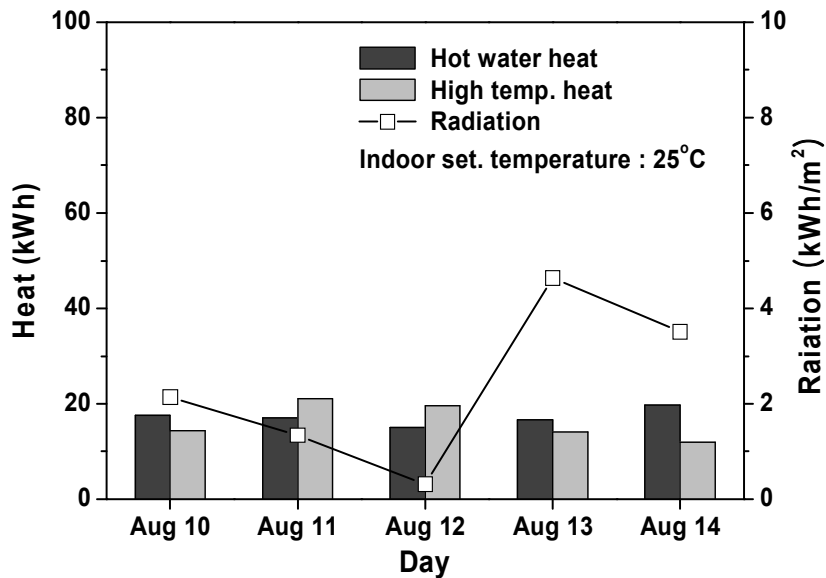


Fig. 3.38 Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 25°C.

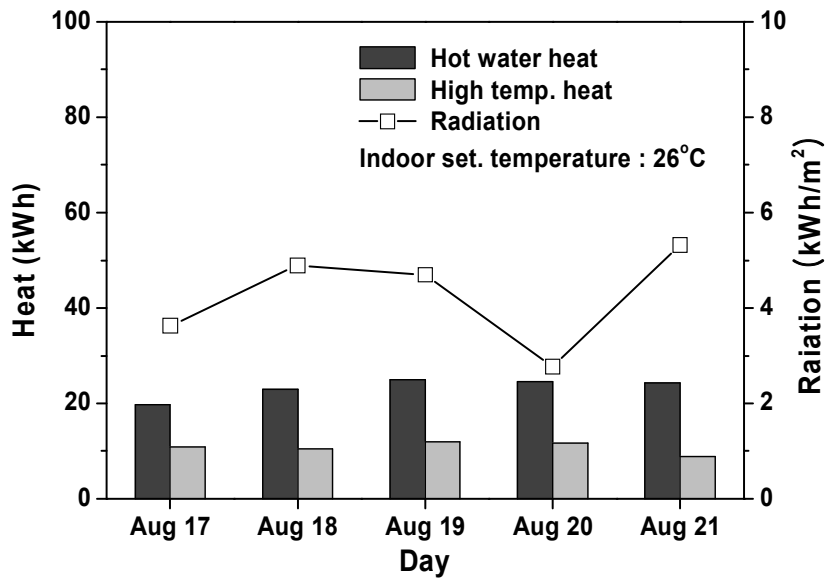


Fig. 3.39 Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 26°C.

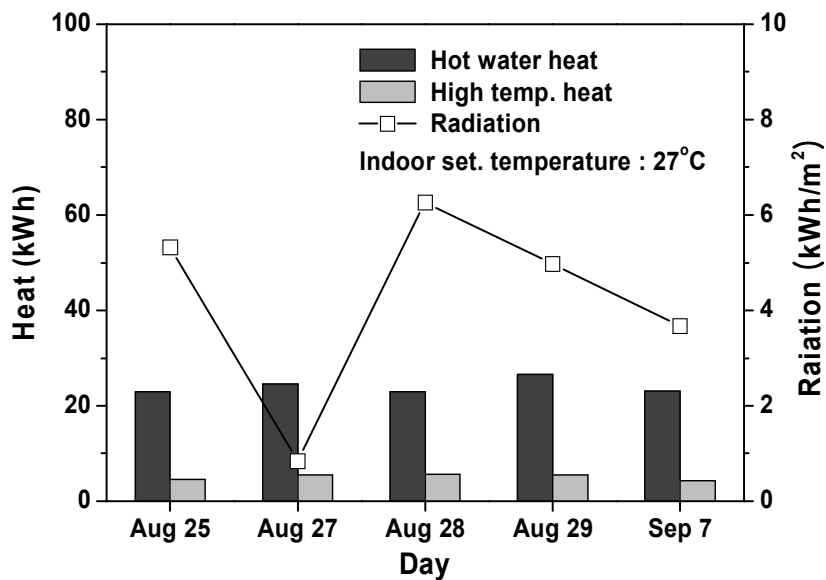


Fig. 3.40 Variations of the hot water heat, high temperature heat and radiation with day at the indoor setting temperature of 27°C.

Fig. 3.41은 냉방열량에 영향을 끼치는 주요 요인의 영향을 고찰하기 위해 실내설정온도를 24°C로 설정을 하여 냉방열량, 외기온도 그리고 열펌프 작동시간의 변화를 나타내고 있다. 외기온도가 낮을수록 냉방열량이 적게 나타나는 것으로 나타났는데 그 이유는 외기온도가 낮아질수록 실내설정온도와의 차이가 적게 나타나 상대적으로 냉방열량이 적게 나타나는 것으로 사료되며 냉방열량은 외기온도에 크게 영향을 받는 것으로 확인되었다. 또한, 열펌프 작동시간도 외기온도가 낮아질수록 감소하는 것으로 확인 할 수 있었다. 실내설정온도가 24°C 날의 평균 외기온도는 25.6°C, 평균 냉방열량은 60.3 kWh, 그리고 평균 열펌프 작동시간은 11.3시간으로 나타났다.

Fig. 3.42는 실내설정온도를 25°C로 변경하여 실험한 결과를 나타내고 있다. 실험 기간 동안에 외기온도 변화는 25.9~27.1°C로 나타났으며 특히 8월 10일과 8월 13일의 경우 외기온도가 27.1°C로 같지만 열펌프 작동시간이 1시간 차이가 나며 냉방열량 역시 2 kWh정도 차이가 나는데 이는 외기온도 이외에 실내조건이나 실외조건 등의 다른 변수가 냉방열량에 영향을 끼치는 것으로 사료된다. 또한, 8월 11일의 경우 외기온도가 26.3°C로 8월 10일에 비해 0.8°C가 작음에도 불구하고 열펌프 작동 시간이 1시간가량 증가하였으며 냉방열량 역시 19.1 kWh가 차이 나는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 일일 강수량에 따른 습도 변화가 주요한 요인으로 추정된다. 실제로 광주 기상청의 자료 확인 결과 8월 10일의 경우 일일 강수량이 0.3 mm로 나타났으며 8월 11의 경우 일일 강수량이 30 mm로 나타났다. 이러한 점을 고려하여 본 결과 냉방열량에 영향을 끼치는 주요인자는 외기온도 외에 일일 강수량의 영향도 있을 것으로 사료된다. 따라서 추후 일일 강수량의 영향을 고려한 시스템제어가 운전 시 고려되어야 할 것으로 보인다. 실험기간 중 실내설정온도가 25°C 날의 평균 외기온도는 26.6°C, 평균 냉방열량은 62.2 kWh 그리고 평균 열펌프 작동시간은 11.3시간으로 나타났다. 외기온도가 실내설정온도를 24°C로 설정하여 실험한 기간보다 1°C가 높았음에도 불구하고 열펌프의 작동시간 및 냉방열량이 유사한

것으로 확인한 결과 운전조건 변화가 열펌프의 작동시간과 냉방열량에 큰 영향을 끼친 것으로 확인되었다.

Fig. 3.43은 실내설정온도를 26°C로 설정하여 실험한 날의 냉방열량, 외기온도, 그리고 열펌프 작동시간의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보여준 바와 같이 외기온도와 열펌프의 작동시간의 변화가 유사한 것을 알 수 있었다. 또한, 8월 19일의 경우 외기온도가 29°C로 실험 기간 중 가장 높게 나타났으며 이러한 영향으로 인하여 냉방열량 역시 최대 73.6 kWh까지 측정된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 실내설정온도를 25°C로 설정한 8월 11일의 냉방열량보다 낮게 나타났다. 8월 11일의 경우 외기온도가 8월 19일에 비하여 1.4°C정도 낮게 낮음에도 불구하고 열펌프 작동시간이 8월 19일과 같게 나타났으며 냉방열량은 더 높게 나타났는데 이는 실내설정온도가 열펌프의 작동시간과 냉방열량의 영향으로 본 실험을 통해 실내설정온도가 감소할수록 작동시간이 증가하고 냉방열량이 증가하는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 실내설정온도를 26°C로 설정한 날의 평균 외기온도는 27.8°C, 평균 냉방열량은 59 kWh, 그리고 평균 열펌프 작동시간은 10.7시간으로 나타났다.

Fig. 3.44는 실내설정온도를 27°C로 설정하여 실험한 결과를 나타내고 있다. 평균 외기온도는 25.1°C로 전체 냉방실험 기간 중 가장 낮았음에도 불구하고 실내설정온도가 27°C로 높아 평균 냉방열량은 20.8 kWh, 평균 열펌프 작동시간은 5.3시간으로 전체 냉방실험 기간 중 가장 적게 확인되었으며 운전시간은 줄이고 높은 실내설정온도는 시스템의 냉방열량을 감소시키는 것으로 확인되었다.

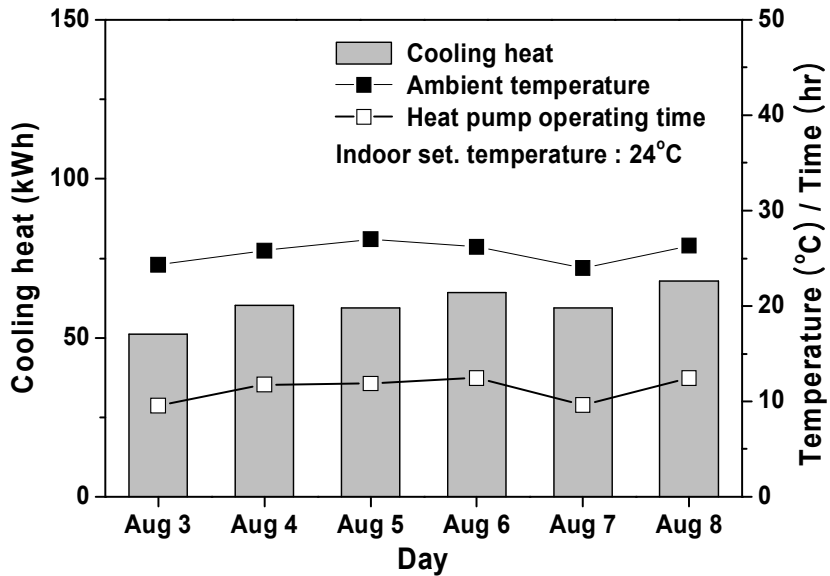


Fig. 3.41 Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 24°C.

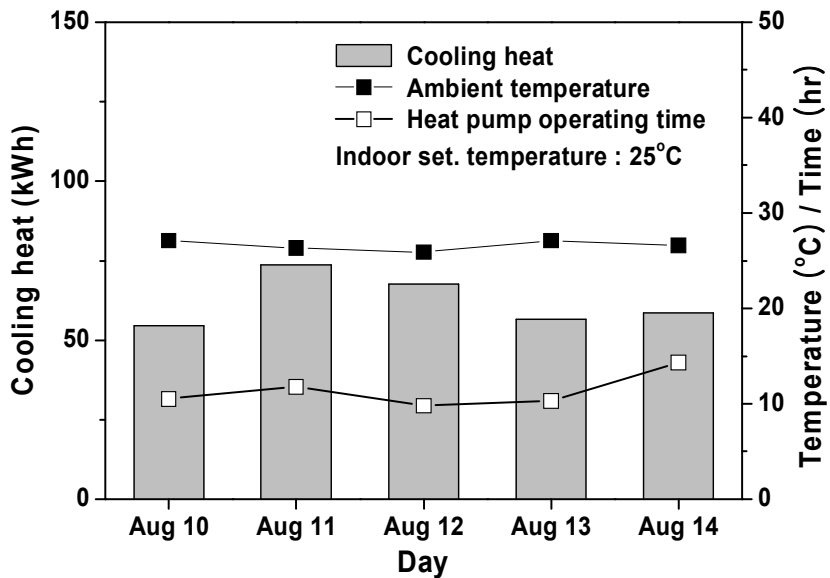


Fig. 3.42 Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 25°C.

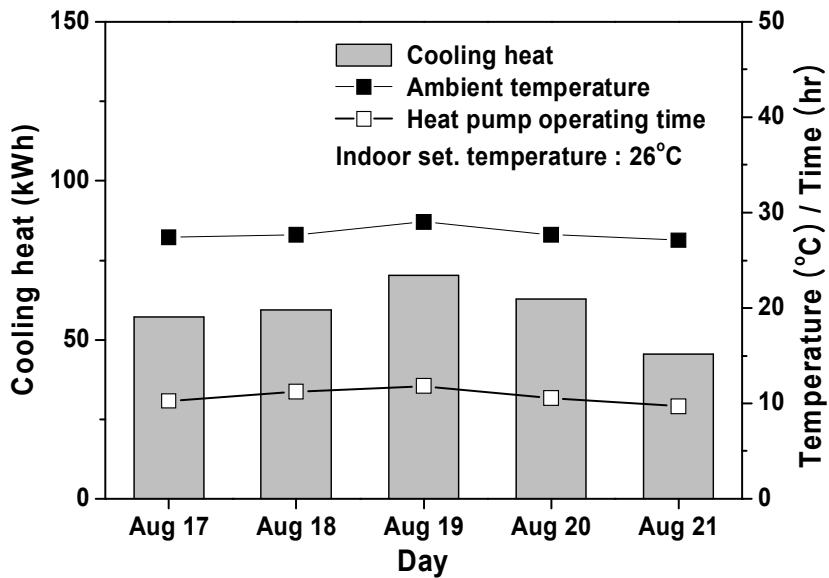


Fig. 3.43 Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 26°C.

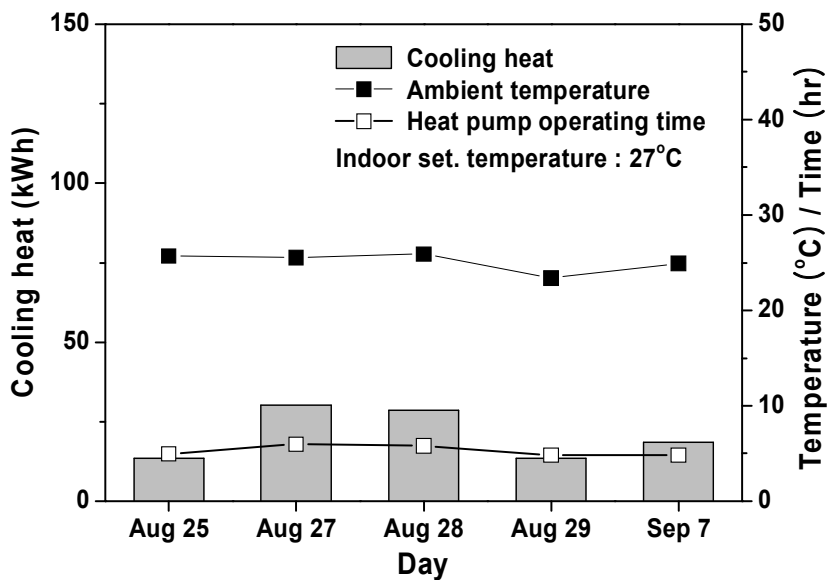


Fig. 3.44 Variations of the cooling heat, ambient temperature and heat pump operating time with day at the indoor setting temperature of 27°C.

여름철 냉방 운전 시 열펌프의 성능변화를 알아보기 위해 실내설정온도 변화에 따른 압축기 소요동력과 고온부열량 및 저온부열량을 고찰하였다.

Fig. 3.45는 실내설정온도가 24°C인 날 중 8월 7일 하루 동안의 압축기 소요동력, 보조열량, 그리고 COP의 변화를 나타내고 있다. 냉방의 경우에 열펌프만으로 냉방에 필요한 열량을 생산하기 때문에 실험 공간 내에 온도가 상승하여 냉방운전이 필요로 할 때에 시스템이 운전되는 것으로 확인할 수 있었다. 8월 7일의 경우 외기온도가 24°C로 실내설정온도와 동일하지만 열펌프의 작동이 빈번하게 나타난 것을 확인할 수 있는데 이는 실험공간내의 전기제품과 인체의 발열에 의해 냉방열량이 지속적으로 공급된 것으로 사료된다. 또한, 열펌프의 COP는 냉방열량에 비례하여 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 운전 중 열펌프의 열량은 평균 12.29 kWh로 나타났으며 열펌프의 COP 변화는 2.84~3.87로 평균 COP는 3.35로 나타난 것으로 확인되었다.

Fig. 3.46은 실내설정온도를 25°C로 설정한 8월 12일의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 12:00부터 20:30까지 연속적으로 열펌프가 운전하였는데 그 이유는 외기온도가 높아 실내설정온도와의 차이가 커으로써 냉방열량의 열량이 증가하여 열펌프의 운전이 연속적으로 운전 한 것으로 판단된다. 운전 중 열펌프열량은 평균 13.68 kWh로 나타났으며 열펌프의 COP는 2.84~3.87로 평균 COP는 3.71로 나타났으며 열펌프열량이 다른 날에 비하여 상대적으로 높아 COP가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3.47은 실내설정온도 26°C로 변경하여 실험한 8월 17일의 결과를 나타내고 있다. Fig. 3.47에서 보는 바와 같이 11:00부터 20:30까지 연속적으로 열펌프가 운전하였는데 이는 외기온도가 38°C까지 높아져 공기열원 열펌프의 응축기가 공기와의 충분한 열교환을 하지 못하여 열펌프의 열량이 낮게 나타난 것으로 분석된다. 열펌프열량은 평균 11.9 kWh로 다른 날에 비하여 낮게 나타났다. 또한, 열펌프 COP는 2.28~3.67, 평균 COP는 3.71로 낮은 것으로 나타났는데 이는 외기온도가 27.4°C로

높아 열펌프의 열량이 다른 날에 비하여 적게 형성되었기 때문이다.

Fig. 3.48은 실내설정온도가 27°C인 날 중 9월 7일의 실험결과를 보여주고 있다. 열펌프의 열량은 평균 12.42 kWh로 나타났으며 평균 COP는 3.35로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 9월 7일의 경우 실내설정온도가 27°C로 높게 설정되었기 때문에 열펌프의 작동 시간이 다른 조건의 실험결과에 비해 비교적 적게 나타났으며 외기 온도가 높아지는 오후 시간대에 COP가 낮아지는 것을 확인하였다. 이는 공기열원 열펌프의 COP에 영향을 끼치는 주요 요인이 외기온도이기 때문이다.

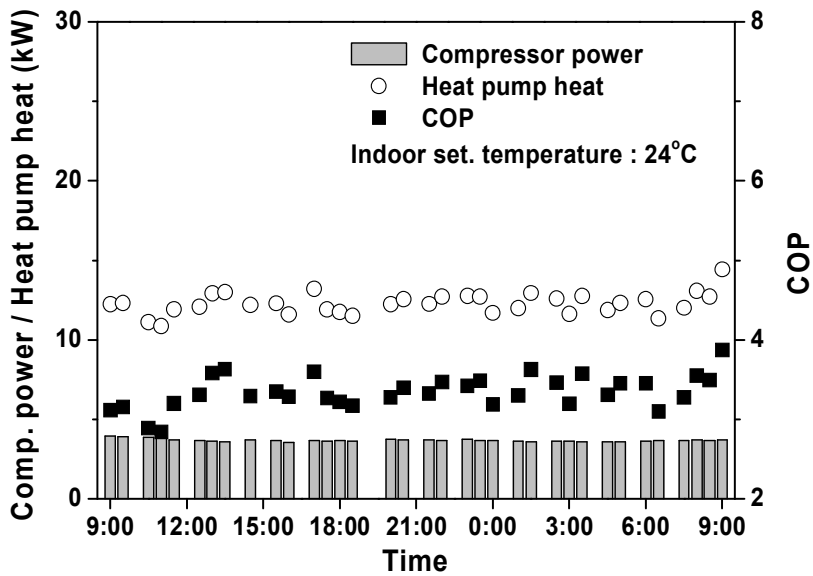


Fig. 3.45 Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 24°C (August 7).

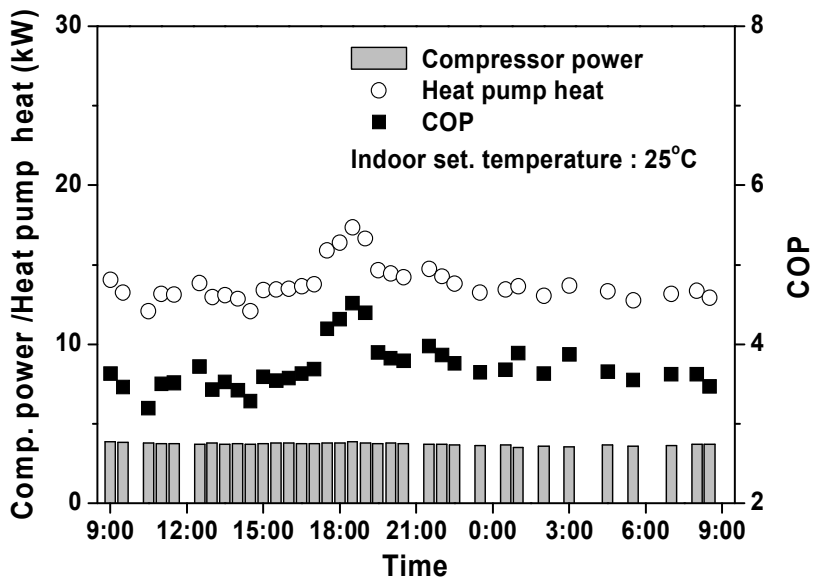


Fig. 3.46 Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 25°C (August 12).

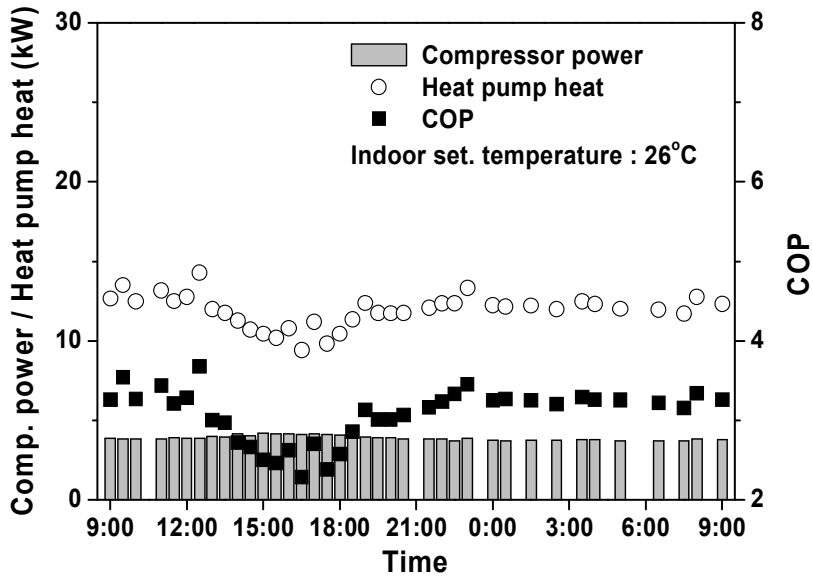


Fig. 3.47 Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 26°C (August 17).

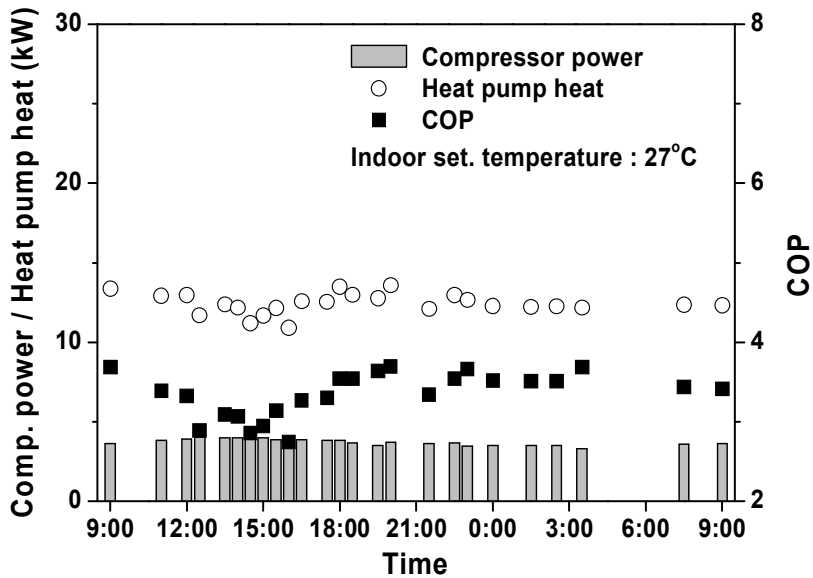


Fig. 3.48 Variations of the compressor power, heat pump heat and COP with time at the indoor setting temperature of 27°C (September 7).

제 4 장 결 론

본 연구에서는 태양열 하이브리드 냉·난방 시스템의 성능특성과 운전특성을 운전 조건에 따라 분석 및 고찰하였다. 이를 위하여 난방운전의 경우 구름량에 따라 시스템의 성능특성을 각 열량별로 분석하였으며 실내설정온도에 변화에 따른 운전특성을 확인해 보았다. 또한 냉방 시스템의 운전특성을 고찰하기 위하여 실내설정온도를 변화시켜 냉방 시스템의 성능을 고찰하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 구름량이 5미만인 맑은 날과 5이상인 흐린 날로 나누어 시스템 성능특성을 분석한 결과 일사량은 구름량의 크기에 반비례 하는 것으로 확인되었으며 외기온도는 구름량에 의한 영향이 적은 것을 확인하였다. 실험기간 중 흐린 날의 평균 일사량은 2.18 kWh/m^2 로 나타났으며, 맑은 날의 평균 일사량은 5.87 kWh/m^2 로 나타났고 태양에너지를 이용하지 못한 날을 제외한 흐린 날의 집열효율은 평균 약 51%로 나타났으며 맑은 날의 집열효율은 평균 60%정도로 나타나 흐린 날에 비하여 약 10%이상 높은 효율을 가지는 것으로 확인되었다. 난방열량은 외기온도가 높아질수록 난방열량이 증가하는 경향을 보였으며 급탕열량의 경우 흐린 날에는 일사량에 따른 급탕열량의 변화는 크게 나타나지 않았지만 맑은 날의 경우에는 일사량의 크기에 따라 급탕열량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 집열기에서 축열 탱크로 공급되는 열량의 차이와 축열 탱크에서 급탕온도의 차이에 기인함을 확인하였다.

(2) 열펌프의 운전시간과 집열량의 차이로 흐린 날의 평균 태양열 의존율은 25%, 맑은 날의 평균 태양열 의존율은 73%로 나타났으며 흐린 날의 경우 평균 난방열량은 156.7 kWh 로 시스템에서 차지하는 비율이 85%정도로 시스템에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한, 흐린 날에 비하여 맑은 날 시스템에서 급탕열량이 차지하는 비율 최대 50%로 흐린 날과 맑은 날에 따라 급탕열량을 효과적으로 운전

할 수 있는 최적 제어가 요구됨을 확인하였다. 맑은 날의 열펌프 COP는 2.13~2.74로 흐린 날의 COP보다 변화 폭이 크게 확인되었으며, 이는 외기온도 변화 폭이 커 난방운전을 위하여 간헐적으로 운전되었기 때문으로 나타났다. 운전조건 변화에 따른 난방실험의 경우 실내설정온도가 23°C일 때 25°C로 설정할 때의 외기온도와 거의 비슷하였지만 23°C일 때 평균 난방열량 135.19 kWh로 25°C일 때 평균 난방열량은 309.11 kWh보다 상대적으로 적어 열 펌프가 작동하지 않은 것으로 사료되었다.

(3) 실내설정온도가 25°C로 설정할 때 급탕 평균온도는 49.2°C로 시간에 따른 온도 변화폭은 0.5°C로 적게 나타났는데 이는 일사량이 적고 축열 탱크에서 축열된 열량이 적어 급탕온도의 변화폭이 작은 것으로 확인되었다. 또한, 실내설정온도가 27°C 일 때의 시간에 따른 급탕 평균온도는 23°C일 때 보다 높게 형성 되었는데 이는 27°C 일 때 난방열량을 사용하지 않아 그 사용량만큼 축열 탱크에서 열이 축적되어 급탕온도가 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

(4) 냉방실험의 경우 실내설정온도를 높게 설정할수록 열펌프의 작동시간이 줄어들고 냉방열량도 같이 감소하는 것으로 확인되었다. 특히 실내설정온도를 27°C로 설정한 날의 경우 다른 날에 비해 열펌프 작동 시간율은 20%정도로 작게 나타났다. 냉방운전 기간 중 열펌프의 COP는 3.07~3.71의 값을 보였으며 평균 3.34를 나타냈다. 또한 축열 탱크에서 급탕열량의 경우 높은 축열온도로 인하여 열펌프의 고온부에 의한 의존율이 매우 미미한 것으로 확인되었다.

REFERENCE

ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioner and heat pumps, ASHRAE Standard 116.

Baeck, N. C., Lee, J. K., Song, B. H., 2001, "Performance of Dual source Heat pump System with Solar-Assisted Evaporater", Proceeding of SAREK summer annual conference, pp.1334-1338.

Baeck N. C., 1998, "Solar Cooling Technology", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 18, No. 2, pp. 31-50.

DACO Industrial Research, 2006, Market forecasts of Solar heat system, Seoul, Korea.

Duffie, J. A., and Beckman, W. A., 2006, "Solar Engineering of Thermal Process", Wiley, New York.

Guoying, X., Xiaosong, Z., Shimmig, D., 2006, "A Simulation Study On The Operating Performance Of a Solar-Air Source heat Pump Water Heater," Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 1257-1265.

Jang, H. Y., Kim, B. G., Suh, J. S., 2006, "Simulation Analysis of Solar Hot Water System considering Space Heating Load and Hot Water Load",

Proceedings of the KSME 2006 Autumn Annual Conference, pp. 114-119.

Joo, H. J., Kwak, H. Y., Kim, J. B., Kim J. B., 2006, "Demonstration Study on Heating and Hot Water According to Control Condition of Solar System", Proceeding of SAREK summer annual conference, pp.832-837.

Kim, J. M., Kim, Y. I., Choung, K. S., 2006, "Study of the Effect of Vertical and Azimuth Angles of Solar Collector on the Solar Radiation for Various Locations in Korea", Proceedings of the SAREK 2006 Winter Annual Conference, pp. 307-312.

Kim, J. W., Choi, K. H., Kim J. R., Yoon, J. H., 2007, "Research on the performance of an improvement solar desiccant cooling system with a solar collectors", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 11, pp. 169-175.

Kwak, H. Y., Kim, J. B., Joo, H. J., Kim, J. B., 2006, "Demonstration Study on Heating and Hot Water According to Control Condition of Solar System", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 4, pp. 119-126.

Kwak, H. Y., Joo, H. J., Lee, H., 2009, "Evaluation of thermal performance for solar cooling and heating system", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 1, pp. 203-208.

Lee, H., Kim, S. J., Joo, H. J., Kwak, H. Y., 2007, "Thermal Performance of Solar Cooling and Hot Water for the Demonstration System", Proceeding of SAREK

Winter annual conference, pp.564-569.

Park, Y. C., Kim, J. Y., Ko, G. S., 2007, "A Study of Performance Characteristics on Hybrid Heat Pump System with Solar Energy as Heat Source", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 1, pp. 47-54.

Shin, U. C., Baek, N. C., 2005, "Thermal Performance of Solar Thermal System by on-off Differential Temperature Controller", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 2, pp. 1-8.

감사의 글

본 논문이 있기까지 많은 지도와 큰 가르침을 아끼지 않은 신 홍명석 지도 교수님과 논문지도이신 조홍현 교수님 그리고 심사과정에서 열정을 아끼지 않으신 김진홍 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

학위 과정동안 많은 가르침을 주신 기계공학과 모든 교수님들께 감사드립니다. 어려움 속에서도 격려해주시고 위로를 해주신 폴리텍 5대학의 김지호 교수님께 감사드리오며 그리고 바쁜 학교생활에서도 논문의 디자인 구성과 편집을 도와준 김원석 학생과 명치욱, 배경진, 신은성, 표종현 학생들에게 감사드립니다.

학위 과정동안 위로와 격려를 많이 해주신 서강정보대학 자동차과 홍성인 교수님과 에이젯 - 커먼레일에서 함께 수고하는 강성규대표, 디젤텍 김선욱, 김선훈 대표에게 진심으로 감사드리오며 묵묵히 격려해준 사랑하는 아내와 아들, 딸 그리고 아버지 어머니께 이 논문을 바칩니다.

감사합니다.

2009년 12월

김태중

저작물 이용 허락서

학 과	기계공학과	학 번	20087078	과 정	석 사
성 명	한글: 김 태 중 한문 : 金 泰 中 영문 : kim tae jung				
주 소	광주광역시 서구 금호동 769 모아@ 101동 1104호				
연락처	E-MAIL : tj906@hanmail.net				
논문제 목	(한글) 태양열 하이브리드 시스템의 성능에 관한 실험적 연구 (영어) Experimental Study on Performance of Solar Hybrid System with a Heat pump				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2009년 월 일

저작자: 김 태 중 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하