

碩士學位論文

태양열 열원 난방시스템의 운전
방안에 관한 연구



濟州大學校 大學院

機械工學科

金 志 泳

2005年 12月

태양열 열원 난방시스템의 운전 방안에 관한 연구

指導教授 朴潤鐵

金志泳

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



金志泳의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2005年 12月

A study on the operating strategies for solar assisted heating
system

Jiyoung Kim

(Supervised by professor Youn Cheol Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2005. 12

목 차

1. 서론	1
1.1. 연구 배경	1
1.2. 태양열 시스템의 문제점	2
1.3. 연구 목적	3
II. 태양열 시스템과 열펌프 시스템의 구성	5
2.1. 태양열 시스템	5
2.1.1. 태양열 에너지	6
2.1.2. 태양열 집열기	7
2.2. 열펌프 시스템	9
2.2.1. 지열원 열펌프 시스템	13
2.2.2. 하천수 열원 열펌프 시스템	15
III. 실험장치 및 실험방법	17
3.1. 실험장치의 구성	17
3.1.1. 집열부	19
3.1.2. 축열부	20

3.1.3. 열펌프	21
3.2. 운전방법	22
3.3. 실험방법	24
IV. 결과 및 고찰	27
4.1. 외기 데이터	27
4.2. 집열운전의 성능실험	29
4.3. 축열조의 성능실험	42
4.4. 열펌프시스템의 운전결과	46
4.4.1. 직접 난방운전	46
4.4.2. 열펌프 난방운전	47
4.5. 난방 시스템의 경제성 평가	50
V. 결론	52
VI. 참고 문헌	55

List of Figures

Fig. 1	Schematic diagram of general solar assisted heating system	5
Fig. 2	Cycle diagram of general solar assisted heating system	6
Fig. 3	Plate type solar collector	8
Fig. 4	Dual vacuum solar collector (copper U tube type).	8
Fig. 5	Schematic of diagram general heat pump system	10
Fig. 6	Energy calculation of commercial heating system	11
Fig. 7	Various heat source of heat pump	12
Fig. 8	Schematic diagram of geothermal heat pump	13
Fig. 9	A typical application of geothermal heat pump (vertical type)	14
Fig. 10	Schematic of diagram river water heat pump	16
Fig. 11	Experimental set up of dual source heat pump system	18
Fig. 12	Dual vacuum solar collector (heat pipe type)	19
Fig. 13	Storage tank	20
Fig. 14	Direct heating mode	23
Fig. 15	Heat pump mode	23
Fig. 16	Different temperature control sensor locations	25
Fig. 17	Solar radiation variation with time	27
Fig. 18	Outdoor temperature variation with time	28

Fig. 19	Solar radiation and outdoor temperature variation with time	28
Fig. 20	Control logic of difference temperature controller	30
Fig. 21	Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(1°C bias temp.)	31
Fig. 22	Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(2°C bias temp.)	31
Fig. 23	Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(3°C bias temp.)	32
Fig. 24	Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(5°C bias temp.)	32
Fig. 25	Sensor location(1)	34
Fig. 26	Solar collector inlet and outlet temperature with time(1)	35
Fig. 27	Sensor location(2)	36
Fig. 28	Solar collector inlet and outlet water temperature with time(2)	37
Fig. 29	Sensor location(3)	38
Fig. 30	Solar collector inlet and outlet water temperature with time(3)	39
Fig. 31	Sensor location(4)	40
Fig. 32	Solar collector inlet and outlet water temperature with time(4)	41
Fig. 33	Top point temperature of storage tank with time	43
Fig. 34	Inside and outside temperature variation of storage tank top point with time	43

Fig. 35	Inside and outside temperature variation of storage tank bottom point with time	44
Fig. 36	Storage top and bottom temperature variation with time	44
Fig. 37	Circulation pump on-off operation and storage temperature with time	45
Fig. 38	Heating capacity and power consumption with time	46
Fig. 39	COP and storage temperature variation with time	48
Fig. 40	Evaporator inlet water temperature and refrigerants flow rate variation with time	48
Fig. 41	Storage temperature and operation time with variation of solar radiation	49
Fig. 42	Energy price with variation of power consumption	51

List of Table

Table 1	Solar collector classification	7
Table 2	System specification and test condition	26
Table 3	Standard and Condition of comparison operation cost	51



Nomenclature

A_c : 집열기 면적(m^2)

I_t : 경사량에 따른 일사량(W/m^2)

Q_c : 태양열 집열기 용량($kcal/h$)

η_c : 집열기 효율



Summary

The operating characteristics of a solar assisted heat pump system were analyzed to develop heating equipment for residential house. The solar energy is limitless and pollution-free natural energy; however, the solar energy has not been utilized extensively due to its low density and restriction of availability. The solar assisted heat pump system makes up the weak points of solar energy's demerits which is mentioned above and supplies higher heat to the heating space with stability.

The system runs at a dual mode. One is direct mode that heat in the thermal storage tank is supplied to the load. And the other is heat pump mode that heat in the storage tank is consumed as heat source of the heat pump that operates at night. When the setting temperature of the system increases over the limited range, the high temperature water in the solar collector's tube is being supplied to the thermal storage tank

As results, the heat pump performance is higher than that of general heat pump's which uses the only air as a heat source. With respect to the operating cost, the solar assisted heat pump is more efficient compared with a solar system using electric heater and a boiler.

The performance of the solar assisted heat pump system is influenced by the efficiency of the solar collector and the thermal storage tank. The solar collector and the thermal storage tank are controlled by different temperature controller. The controller has a temperature sensor which is being effected by the location of the

sensor and also this location leads to make the properties of the controller.

The running cost of the solar assisted heat pump system is lower than a system with electric heater or the boiler. Owing to the fact that the system runs at higher capacity range, the merits of the running cost of the developed system offsets.

Therefore the developed system can be used as main heating equipment to the residential house with the panel heating.



I. 서론

1.1 연구 배경

18세기 중엽부터 일어나기 시작한 산업혁명과 더불어 급속한 산업 경제의 발전으로 인한 무분별한 화석에너지의 사용으로 전 세계적으로 환경오염에 대한 인식이 크게 부각되고 있다. 환경오염에 의한 지구 온난화, 엘니뇨현상 및 각종 질병의 발생 등은 인간의 삶에 많은 해를 미치고 있고 현재 세계는 이런 문제를 교토의정서와 같은 국제적인 규약을 통해 해소하고자 하고 있다. 교토의정서는 화석 연료로부터 발생하는 배출가스를 규제하기 위한 구체적인 방안들이 강구되고 있으며 현재 우리나라는 이런 배출가스 규제에 대응하기 위한 준비가 아직 미흡한 상태이다. 따라서, 앞으로 다가올 기후변화 협약 및 교토의정서 등 국제적인 환경규제에 대응할 수 있는 효과적인 방안에 대한 노력이 절실히 필요한 실정이다.

2004년도 산업자원부의 통계에 의하면 현재 에너지 수입의존율이 96.7%로 나타나고 있고 최근에는 유가 상승으로 국가 경제에 막대한 손실을 주고 있다. 우리나라는 국제적인 규제에 대응하기 위한 노력뿐만 아니라 에너지 자립도를 높이기 위한 많은 투자와 개발이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국가정책적인 차원에서 태양열, 태양광, 풍력 및 연료전지 등 신·재생에너지의 여러 분야에서 연구와 개발이 이루어지고 있으나, 그러나 이러한 노력에도 불구하고 전체에너지 중에 신·재생에너지가 차지하는 비율은 매우 미비한 것이 우리에게 현실이다. 우리나라인 경우 일사량이 풍부하고 전국적으로 고른 분포를 보이고 있어 태양열에 이용은 다른 여타 신·재생에너지 중에서 대체에너지원

으로 가장 쉽게 접근 할 수 있는 에너지원 중에 하나이다. 그러나 태양열의 실제적인 이용률은 매우 저조한 것이 현실이다. 그뿐만 아니라 태양 에너지의 특징 중 하나는 에너지 밀도가 낮고 외기조건에 따른 간헐적인 에너지원이라는 부분이 태양에너지 이용에 큰 걸림돌이 되고 있다. 이와 같은 구조적인 문제점을 해결하기 위해 적용되는 기술이 집열과 축열기술이다. 현재 생산 판매 및 연구 되고 있는 대부분에 태양열 시스템인 경우 주간에 집열기를 이용해 축열을 하고 야간 및 외기 조건이 좋지 않을 경우를 대비한 보조열원으로 전기히터를 사용하고 있다. 이와 같은 형태에 태양열 시스템 중에 가장 널리 보급되었던 제품은 태양열 온수기이다.

태양열 온수기는 97년 전후를 기점으로 연간 7만대 이상의 제품이 판매되어 2,000억원 이상의 시장을 형성하며 우리나라의 대체에너지로써 유일하게 상업적 단계로 접어들었으나 정부 정책 및 여러 가지 원인으로 인해 소비자에게 외면 받고 있다. 이러한 이유 중에 하나는 잦은 고장과 성능저하에 따른 문제이며 태양열 시스템인 경우에 아직까지 성능 대비 가격이 비싸고, 태양에너지는 야간에는 전혀 에너지원으로서 역할을 수행하기 어려운 구조적인 문제점을 여전히 갖고 있기 때문이다. 그러나 이와 같은 문제점에도 불구하고 현재 에너지 정책 중에 태양열 에너지 이용확대 보급이 가장 현실적인 대안이라 할 수 있다.

1.2 태양열 시스템의 문제점

태양열 시스템 중에 가장 널리 보급되었던 제품은 태양열 온수기이다. 그러나 태양열 온수기는 정부 정책 및 여러 가지 원인으로 인해 소비자에게 외면 받고 있으며, 그 이유 중에 하나는 잦은 고장과 성능저하문제이었다. 태양열 온수기의 고장부위별 분석을 통해서 살펴본 바에 따르면 잦은 고장을 일으키는 원인 중 약 60% 이상이 집열판, 열매체 누

수이다. 특히 겨울철 동파에 의해 생기는 집열관 및 열매누수 고장은 열매체에 섞여 있던 부동액에 의해 환경을 파괴하고 시스템의 잦은 고장은 소비자에게 큰 불편을 초래할 수 있다.

초기의 태양열 시스템은 일본에서 도입하여 첫선을 보였으나 우리나라와 일본의 기후 차이를 고려하지 못하여 동절기에 동파되는 문제점을 안고 있었다. 태양열 시스템의 동파를 방지하기 위한 기술로 집열매체와 축열매체를 구분하여 집열매체에는 부동액을 혼합하는 방법이 사용되고 있으나, 부동액 사용수명의 제한성과 불안정성 및 부속액의 보충 방법에 어려움 등이 있다. 부동액의 주요 성분인 에틸렌글리콜의 유해 위험성은 CERCLA(0-3)지수에서는 보건의 3, 화재가 1이며 NFPA(0-4)지수는 보건의 1, 화재 1인 물질이다. 에틸렌글리콜은 호흡기관, 피부, 눈에 자극을 야기 시키고 신경, 신장손상 및 중추신경에 영향을 미칠 수 있다. 또한 에틸렌글리콜을 사용하면 집열매체와 축열매체가 하나의 열매체(물)를 사용하는 시스템에 비하여 두 매체의 열교환에 의한 열 손실이 수반된다. 빈번하게 발생하는 문제는 아니지만 시공과정에서 설비자에 의한 실수나 제작상 착오로 인하여 집열매체와 축열매체가 혼용되는 경우가 발생하여 소비자가 유독물질에 이 노출 될 수도 있다. 시중에 판매중인 태양열 온수기는 보조 장치로 전기히터를 사용하여 일사량이 풍부하지 못할 경우 많은 전기량을 소비하고 태양열이 감당하는 부하 분담률이 감소, 즉 많은 부분의 난방 부하를 전기히터가 감당하면 대체에너지의 의미가 많이 퇴색 할 수 있는 시스템이다.

1.3 연구 목적

우리나라는 국민소득 증가 및 생활수준의 향상과 더불어 실내공간에서 활동하는 시간의 비중이 더욱 높아짐에 따라 쾌적한 실내공기의 유지에 대한 관심이 높아지고 있다.

주거환경에 있어서 쾌적성에 대한 사용자의 요구가 증가됨에 따라 공기조화기의 사용이 급증하고 있으며, 냉난방기의 경우 성능향상 및 기능향상 등으로 인하여 보급률 또한 증가하고 있다. 이에 비례하여 에너지소비도 증가함에 따라 건물의 사용되는 에너지양도 크게 증가하여 우리나라 전체 에너지사용량에서 많은 비중을 차지하고 있다. 건물에서 소비되는 에너지를 절약하고자 정부에서는 대체에너지개발 및 이용·보급 촉진법을 시행하고 있다. 대체에너지개발 및 이용·보급 촉진법이란 2002년 3월 25일에 개정·발효된 것으로 제11조 2항에 “산업자원부장관은 대체에너지의 이용·보급을 촉진하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 대통령령이 정하는 바에 따라 국가기관, 지방자치단체, 정부투자기관, 그밖에 대통령령이 정하는 자가 신축하는 건축물에 대하여 대체에너지를 의무적으로 이용하게 할 수 있다”고 규정하고 있다.

본 연구에서는 에너지를 절약하기 위해 현재 보급되어 있는 태양열 시스템의 기술적 문제를 보완하여 건물 및 시설에 적용하기 위한 실증연구를 수행하였다. 본 연구에서 구축한 시스템은 태양열 집열 시스템과 열펌프시스템을 연계 구성하여 안정적인 난방 및 온수공급이 가능한 태양열 하이브리드(Hybrid) 열펌프 난방시스템의 개발이다. 본 시스템은 태양열이 부족할 경우에도 난방 혹은 급탕요구부하를 충족할 수 있도록 설계 및 제어되는 하이브리드 시스템으로써 재실자는 부하변동을 걱정할 필요가 없는 시스템의 개발이다[1, 2]. 본 연구는 태양열시스템의 문제를 기술적으로 접근하여 해결함과 동시에 태양열 시스템을 온수·급탕만이 아닌 난방용으로 사용영역을 확대하고자 하는 목적을 가지고 있다[3, 4].

II. 태양열 시스템과 열펌프 시스템의 구성

2.1 태양열 시스템

태양열을 열원으로 이용하는 태양열시스템은 태양에서 방출되는 일사광선을 열에너지로 변환하여 사용하는 것으로써 크게 두 가지로 구분되어 진다. 첫째는 설비형 시스템(Active solar system)과 두 번째는 자연형 시스템(Passive solar system)이다. 자연형 시스템은 태양열에서 얻어지는 열원을 펌프나 송풍기를 사용하지 않고 직접 이용하는 시스템을 의미하며, 설비형 시스템은 열에너지를 운송장치에 의해 사용처에 공급 및 회수하는 시스템이다. 태양열 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 1과 같이 구성되고 Fig. 2는 일반적인 설비형 태양열 시스템의 그림이다.

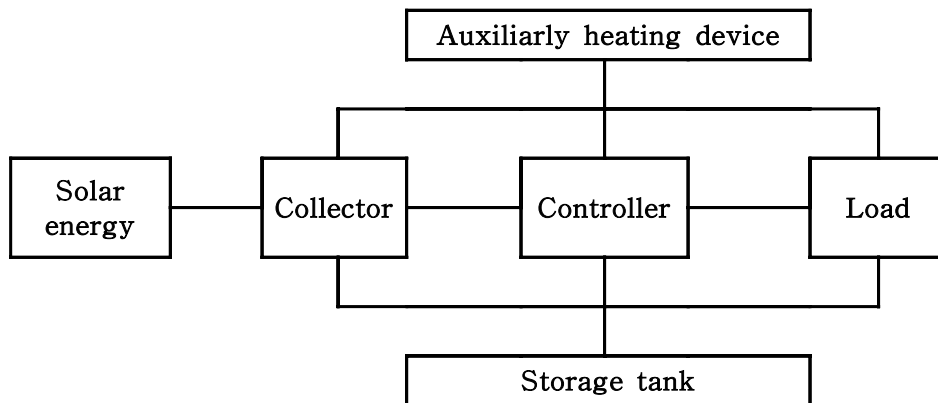


Fig. 1 Schematic diagram of general solar assisted heating system

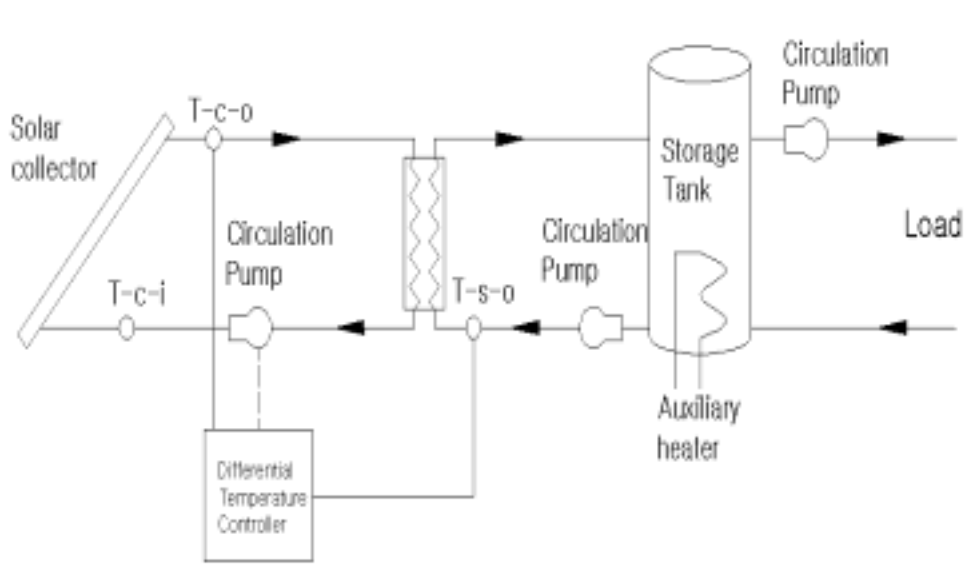


Fig. 2 Cycle diagram of general solar assisted heating system

2.1.1 태양열 에너지  제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

태양에서 오는 일사광선은 가스, 공기, 매연, 먼지 등에 일부는 산란되고 흡수되면서 지표면에 도달하게 된다. 일사광선 중에서 산란 없이 직접 지표면에 도달하는 경우를 직달일사(Direct radiation)라하고 산란되어 지표면에 도달하는 일사광선을 산란일사(Diffuse Radiation)라 한다. 이 두 가지를 모두 합쳐 전일사(Total radiation)라 한다.

$$Q_c = \eta_c \cdot I_t \cdot A_c \quad (1)$$

식 (1)은 집열량을 계산하는 식으로써, 일사량은 태양열을 획득하는 중요 인자로서 일사량이 증가 할수록 많은 열량에 에너지를 얻을 수 있다.

2.1.2 태양열 집열기

태양열 집열장치는 집열되어지는 온도에 따라 저온용, 중온용 및 고온용으로 나눌 수 있으며, Table 1은 태양열 집열기의 분류체계를 나타내고 있다. 시중에 유통되고 있는 가정용 태양열 집열기는 평판형 집열기가 많이 보급 되어 있는데, Fig. 3에 나타낸 바와 같이 평판형 집열기는 상단부에 일사광선을 투과시키고 열 손실을 줄일 수 있는 투과체가 있으며 그 하단부에는 투과된 일사광선을 열에너지로 변환시켜주는 흡수관이 있고 단열재로 단열되어있다. 흡수관에는 집열매체가 지나갈 수 있는 관이 부착되어 있어 이 관을 통해 흡수관에 집열된 열에너지가 열매체로 전달되어 이용부나 축열부로 전달된다.

본 연구에서는 Fig. 4와 같은 2중 진공관식 형태에 최신 집열기를 사용하였다. 2중 진공관 집열기는 외부에 유리관 튜브가 2중으로 구성되어 있고, 튜브 안이 진공으로 가공 처리되어 대류에 의한 열손실이 적고 평판형 집열기에 비해 성능과 고온의 열원을 얻을 수 있다

Table 1 Solar collector classification

	Passive system	Active system		
	Low temp.	Low temp.	Middle temp.	High temp.
Application temp.	Under 60℃	Under 100℃	Under 300℃	Over 300℃
Collector type & System	Passive Solar System	Plate type, Vacuum type	PTC type, CPC type	Dish type, Power tower, Solar furnace

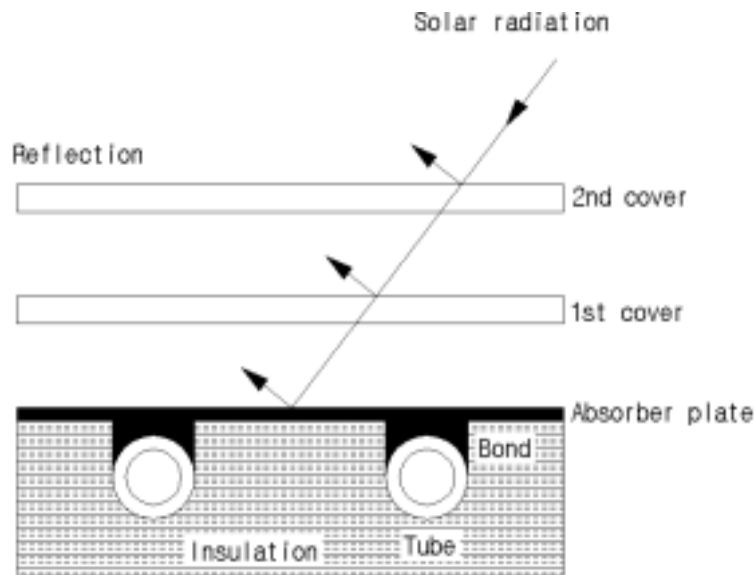


Fig. 3 Plate type solar collector

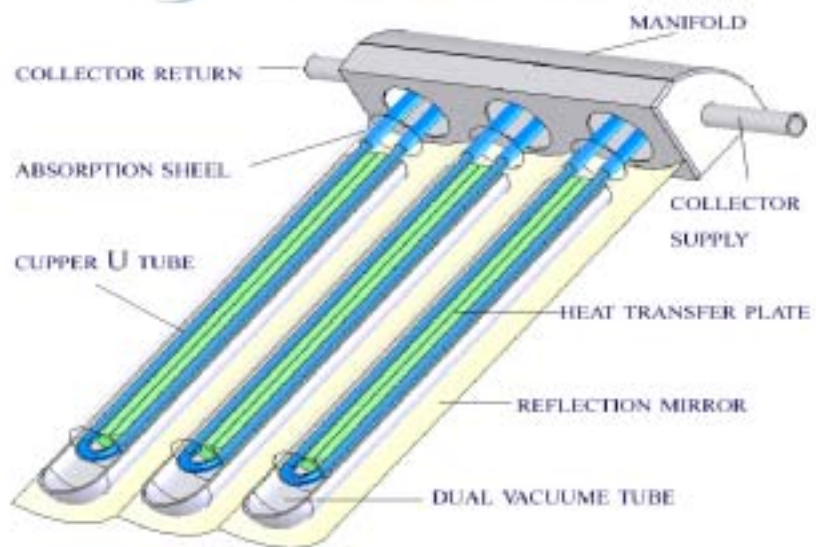


Fig. 4 Dual vacuum solar collector (copper U tube type).

2.2 열펌프 시스템

열펌프 기술은 저온의 열원에서 열을 흡수하여 고온의 열원으로 열을 방출시키는 에너지 절약적인 장치이다. Fig. 5는 열펌프의 구상도를 나타내고 있다. 사이클 상으로 고온부에서 열의 방출을 목적으로 하는 열펌프와 저온부에서 열의 흡수를 목적으로 하는 냉동기는 열역학적으로 동일한 사이클을 이루고 있으며, 냉난방 겸용 열펌프는 냉매회로에 조절을 통하여 두 가지의 기능을 수행하도록 사이클을 구성한 시스템이다. 냉난방 열펌프는 공급하는 전기에너지에 수배에 달하는 열량을 난방열로 공급할 수 있기 때문에 에너지 절약적인 장치이고며 Fig. 6은 열펌프시스템과 일반 전기히터 등에 에너지효율을 비교 평가하기 위한 그림으로써 각 시스템의 효율을 나타내고 있다.

냉방전용 에어컨인 경우 여름에만 사용하고 연중 대부분의 기간이 비작동 상태이나, 이러한 기기를 냉난방 겸용으로 사계절 동안 사용할 수 있다면 기기의 이용효율이 증대되고 국가적인 에너지 절약에도 크게 기여할 수 있다. 이와 같은 열펌프 기술은 다양한 분야에 적용되어 질 수 있으며, 지열, 하천수와 해수뿐만 아니라 각종 사용되지 않고 버려지는 폐열 및 배열을 열펌프의 열원으로 사용하여 우리에게 유용한 에너지원으로 재생산이 가능하다. 열펌프 기술은 이처럼 미활용되고 있는 에너지를 적극 활용 할 수 있는 기술로써 열펌프에서 사용하는 다양한 열원을 Fig. 7에 나타내었으며, 10-30℃의 저온의 열을 활용하여 난방· 급탕에 이용 가능한 60℃이상의 열을 생산하는 기술이다.[5, 6]

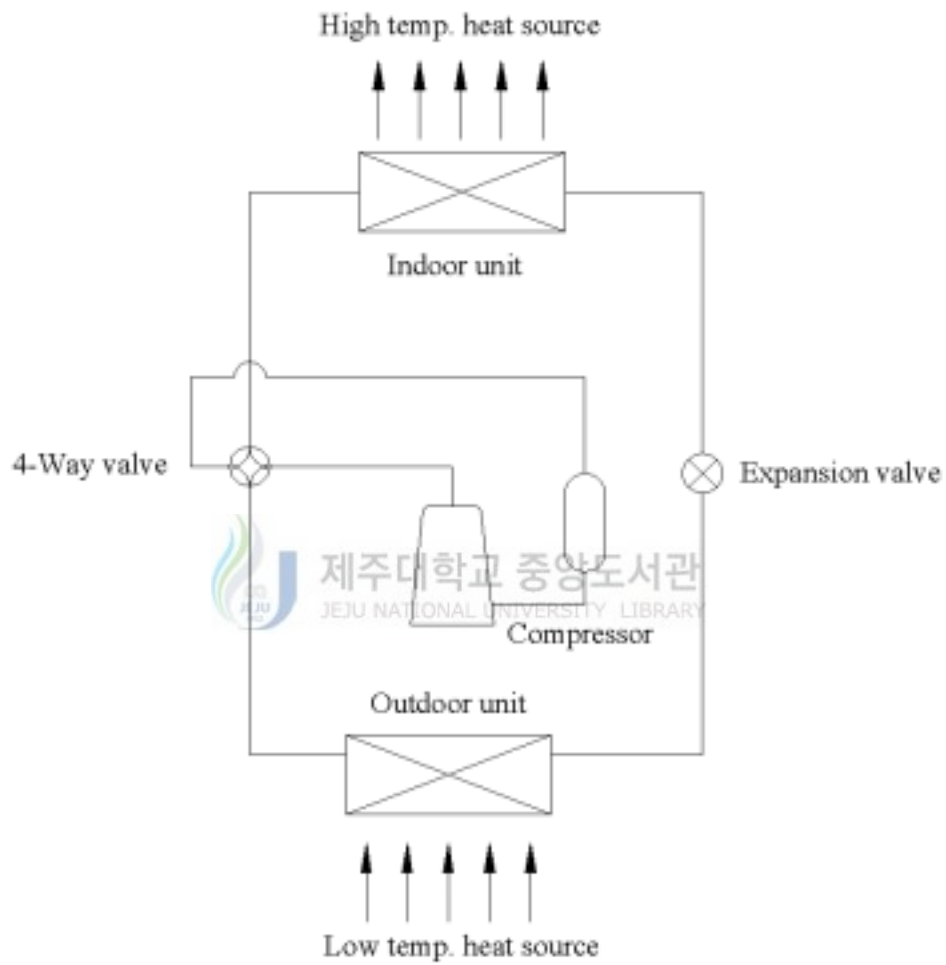


Fig. 5 Schematic diagram of general heat pump system

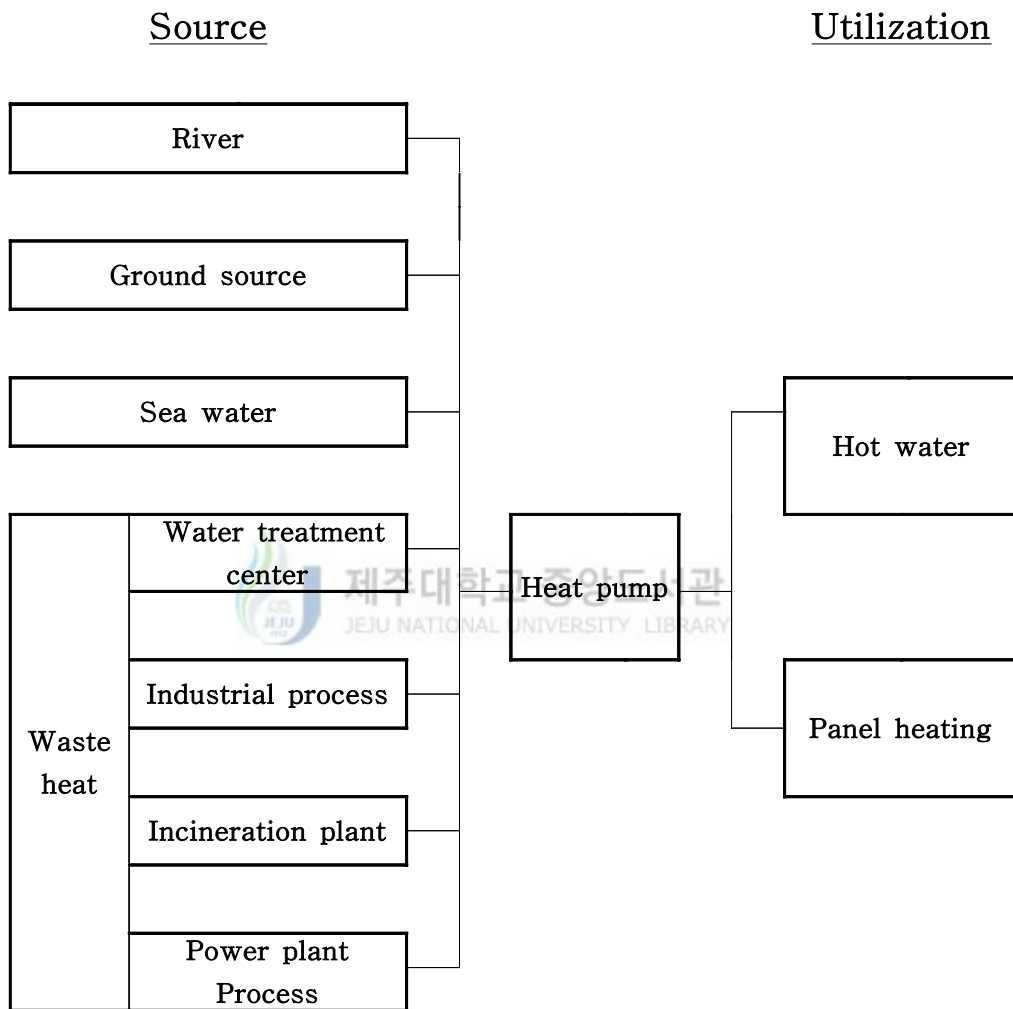


Fig. 7 Various heat source of heat pump

2.2.1 지열원 열펌프 시스템

열원으로써 지열은 태양열에 약 47%가 지표면을 통하여 지하에 저장되어 있는 열원으로써 지표면 가까운 땅속에 온도는 개략 10-20℃이며, 연중 큰 변화가 없고 지하 수km의 지열 온도는 40-150℃ 이상 열원을 말한다.

Fig. 8에 나타낸 지열원 열펌프 시스템은 지표면의 지중열을 이용하는 시스템으로서 겨울철 난방 시에는 외기 온도보다 따뜻한 지열원을 지중열교환기를 통해 열펌프에 저열원으로 사용하고 여름철 냉방시에는 외기온도보다 차가운 지열원을 열펌프에 고온 열교환기에 사용하여 고온의 열원을 지중으로 버리는 시스템으로써 기존의 냉난방 설비보다 에너지소비량이 적고 공기보다 안정적인 지열을 열원으로 사용하기 때문에 효율이 높은 시스템이다. Fig. 9는 지열원 열펌프에 적용형태 중에 하나인 수직형 시스템을 나타내고 있다.

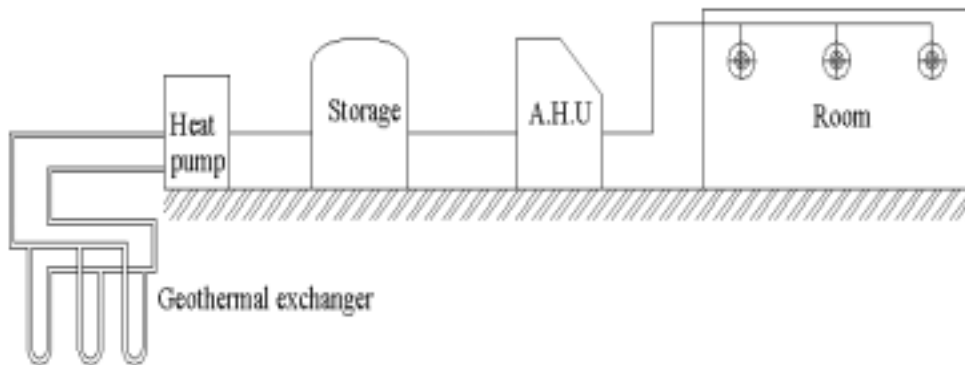


Fig. 8 Schematic of diagram geothermal heat pump



Fig. 9 A typical application of geothermal heat pump (vertical type)

2.2.2 하천수 열원 열펌프

하천수를 열원 및 냉각열원으로 각각 사용하는 하천수 이용 열펌프시스템은 공기를 열원으로 사용하는 공기열원 열펌프에 비하여 물을 열전달 유체로 사용함으로써 시스템의 성능이 높다. 냉·온열을 안정적으로 공급할 수 있어 지역냉난방 등에 사용되는 하천수 이용 열펌프시스템의 하천수는 동절기에는 3-16℃, 하절기에는 22-28℃의 온도를 나타내고 있어 외기온도에 비하여 겨울철에는 약 10℃ 정도 높고 여름철에는 약 5℃ 정도 낮은 특징을 가지고 있다. 하천수는 유량이 풍부하고 안정적이므로 열펌프에 열원으로 사용하여 난방·급탕에 이용 가능한 60℃의 열을 생산 할 수 있다. Fig. 10은 이러한 하천수 열펌프의 간략한 설치형태를 살펴볼 수 있는 모식도로써 난방시에는 외기온도보다 높은 하천수를 여과기를 사용하여 불순물을 제거하고 열펌프의 저열원을 순환하는 2차측 열매체와 열교환하고 열펌프의 고열원을 오피스에 지하 저장조에 열매체와 열교환하여 축열을 한다. 사무실에 거주자는 저장조에 축열된 열매체를 이용하여 난방을 한다. 냉방시에는 열펌프에 고열원 열교환기와 저열원 열교환기에 역할을 바뀌어 사무실에 고온의 열을 하천수에 버리는 역할을 한다. 즉 사무실에 거주자는 저장조에 축냉된 열원을 사용하여 냉방을 하는 시스템이다.

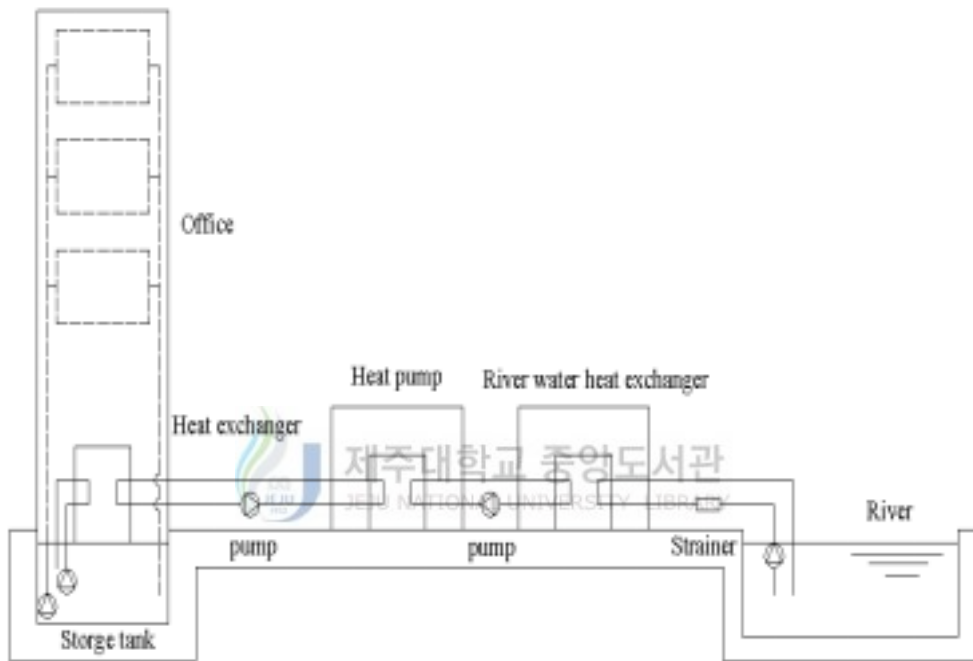


Fig. 10 Schematic diagram of river water heat pump

III. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치의 구성

시스템은 크게 집열부, 축열부 및 열펌프로 구성되어 있다. 집열기와 축열조는 건물 옥상에 설치를 하였고 열펌프는 건물 내부에 설치하여 순환펌프를 사용하여 축열된 열매체를 실내에 있는 내부시스템과 순환 할 수 있도록 구성하였다. 실험 장치는 시스템의 부하를 표현하기 위해 실내에 5RT급 냉동기를 사용하여 일정한 온도와 고정된 양의 물을 부하측 열교환기와 열펌프의 고열원 열교환기로 공급한다. 시스템을 흐르는 열매체는 순수한 물을 사용하였고 데이터 계측을 위하여 T-type 열전대를 사용하여 각 부분에 온도를 측정하였다. 물용 체적유량계와 냉매용 질량유량계를 설치하여 순환하는 유체의 유량을 측정하였고, 전력량 측정기를 사용하여 사용되는 전기에너지의 양을 측정하였다.

시스템 제어는 온도조절기를 사용하여 직접사용운전과 열펌프운전의 선택적 제어를 하였고 축열조에 열을 저장하는 시퀀스를 제어하는 차온제어기를 사용하여 전체 시스템을 컨트롤 할 수 있게 구성하였다. Fig. 11은 본 연구에서 구성한 실험장치의 개략도로서 시스템의 유체의 흐름을 조절하기 위한 전자밸브에 위치 및 각종 센서의 위치를 나타내고 있다.

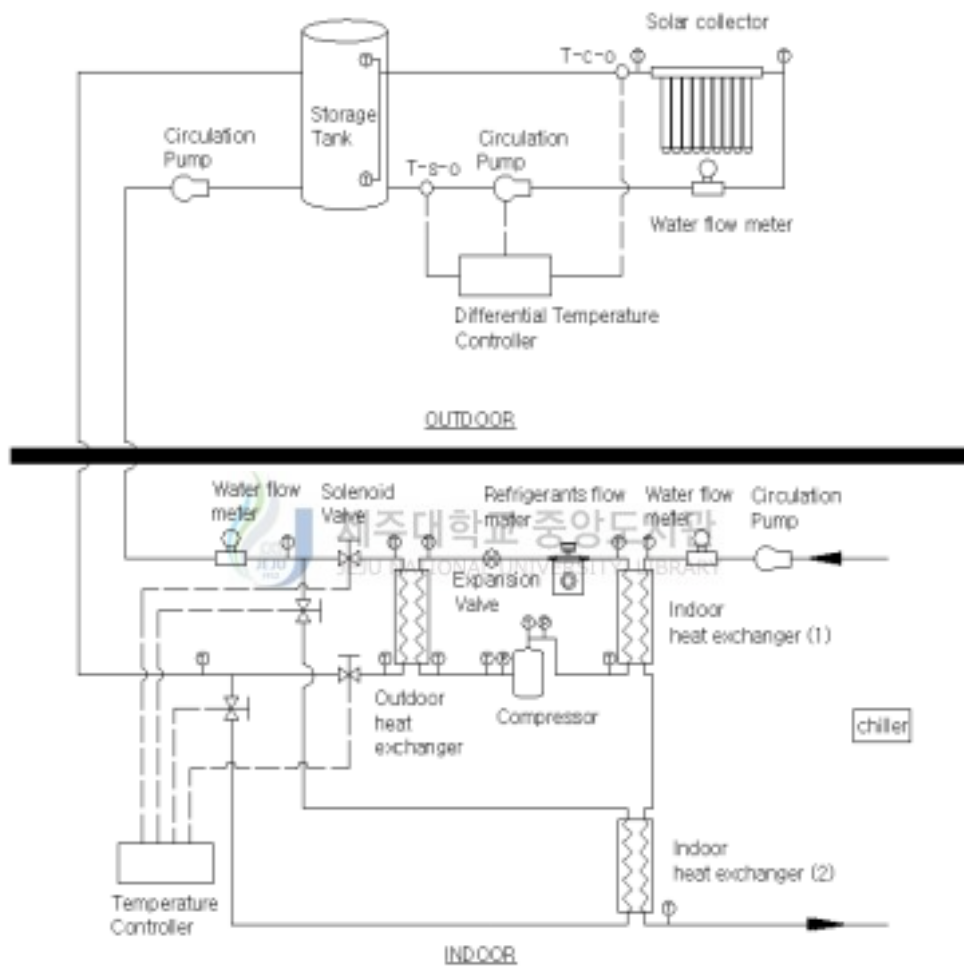


Fig. 11 Experimental set up of dual source heat pump system

3.1.1 집열부

태양열을 집열하기 위해 본 시스템에서는 Fig. 12에 나타난 바와 같이 2중 진공관식 히트 파이프 삽입형을 사용하였다. 외부에 유리관 튜브가 2중으로 되어있어 튜브 안이 진공으로 가공 처리되었으며, 대류 의한 열손실이 적고 집열된 열은 히트 파이프를 사용하여 열매체 열 전달하는 집열기이다. 그림에서와 같이 히트파이프 증발부에서 태양열을 흡수하고 히트파이프 응축부에서 흡수된 열을 발산한다. 이때 매니폴더를 지나는 집열매체와 열교환하여 축열이 된다.

집열기는 위도 약 북위 32.5도에 위치에 설치했고 집열기가 바라보는 방향은 정남향이 며 지면과의 설치 각도는 33도이다.



Fig. 12 Dual vacuum solar collector (heat pipe type)

3.1.2 축열부

Fig. 13은 축열조에 개략도를 나타낸 것으로 200L용량의 PE 재질의 원형 통을 사용하였으며, 외부 단열을 위하여 외벽에 두께 15mm 고무발포 보온재를 사용하였다. 차온제어기를 사용하여 집열기 출구온도와 축열조에 배출온도를 측정하여 일정온도 이상의 온도차가 되면 순환 펌프에 축열조의 물이 집열기와 순환 하게 구성하였다. 집열기와 축열조의 열전달 매체의 순환은 팽창탱크를 사용하지 않는 개방형 순환 시스템으로 구성하였다. 축열조 내부와 외부에 열전대를 설치하고 상부와 하부에 각각 한 조씩 짝을 이루어 설치하였다.

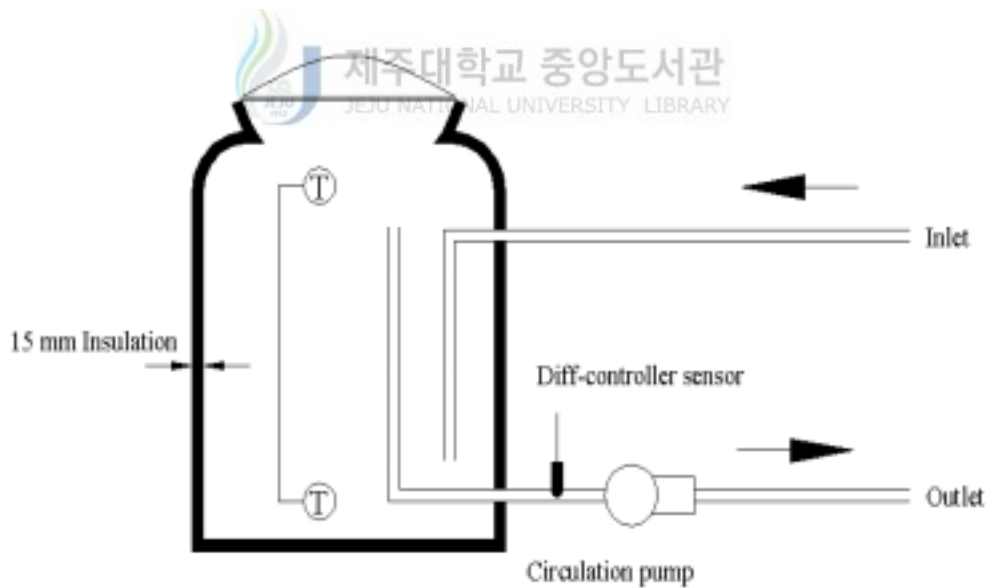


Fig. 13 Storage tank

3.1.3 열펌프

열펌프 사이클은 두개의 판형 열교환기와 1hp의 밀폐형 왕복동식 압축기 및 외부 균압형 온도팽창밸브(TEV)로 구성하였다. 2개의 판형 열교환기는 축열조에 저장된 열원과 열교환하기 위한 저열원 열교환기와 부하측과 열교환하는 고열원 열교환기다. 고압관은 3/8inch를 동관을 사용하고 저압관은 1/2inch동관을 사용하였다. 냉매의 양과 시스템의 안정적인 작동을 위해 수액기를 설치하여 팽창밸브에 100%로 액상태에 냉매를 공급할 수 있도록 구성하였다. 수액기를 지나 정확한 냉매의 상태를 확인하기 위한 사이트 글라스를 설치하였고 사이트 글라스를 다음에는 냉매의 정확한 양을 측정하기 위한 냉매질량 유량계를 설치하였다. 열교환기에서 유체의 흐름은 대항류 방식으로 구성하였고 축열조에서 나오는 고온의 열원을 직접 부하측과 열교환하기 위해서 별도의 판형열교환기를 구비하였으며 열매체의 흐름을 조절하기 위해 전자밸브와 온도조절기를 같이 구성하였다. 글루브밸브(Glove valve)를 설치하여 열교환기에 들어가는 열매체와 부하열원의 유량을 조절하고 직법 운전과 열펌프 운전시에 저열원 열교환기에 투입되어지는 물에 유량을 별도로 조절하기 위해 저온 열교환기 물배관 입구측에도 글루브밸브(Glove valve)를 설치하여 유량을 조절 할 수 있게 구성하였다.

3.2 운전방법

본 시스템은 두 가지 운전 모드를 가지고 있다. 첫 번째는 태양열을 직접 사용하는 경우이고 두 번째는 축열된 에너지를 직접 사용하여 난방이 어려운 경우로써, 이미 직접 난방 모드로 사용하여 축열조의 온도가 기준온도 이하로 떨어지거나 외기 조건에 의해 축열된 에너지양이 직접 사용 할 수 있는 온도보다 낮아지면 저온에 축열된 열매체를 열펌프의 저열원으로 사용하는 운전방법으로 나눌 수 있다. 직접 운전 모드는 Fig. 14에서 열매체 흐름이 나타나 있고 열펌프 운전 모드는 Fig. 15에 나타내었다.

시스템의 초기 운전시에는 직접 축열된 열을 부하측에 사용하며 열원 공급 온도가 40℃ 이하가 되면 온도조절기가 릴레이와 솔레노이드 밸브를 작동하여 열매체 흐름을 부하측에서 열펌프의 저열원 열교환기로 흐르게 하였고 동시에 압축기가 작동하여 열펌프 모드로 전환 되어진다. 그러나 저열원의 온도가 40℃이면 열펌프의 사이클 측면에서 압축기 흡입온도가 너무 높아져 압축기 입구의 과열도를 과도하게 증가시키고, 열펌프의 압축기 토출 온도가 매우 높아 질 수 있어 압축기에 무리를 줄 수가 있다. 이러한 문제를 해소하기 위해 저열원 열교환기로 흐르는 열매체는 열원을 직접 사용하는 유량 경우에 1/2로 하여 흐르게 하였다. 축열조에서 부하측 배출 온도가 40℃이상 이면 직접 사용 직접 열원으로 사용 시 증발기 흡입 유량 400L이고 축열조에서 부하측 배출 온도가 40℃ 이하인 경우 열펌프 열원으로 사용 열펌프 열원으로 사용 시 증발기 흡입 유량 200L으로 조절하여 운전 하였다.

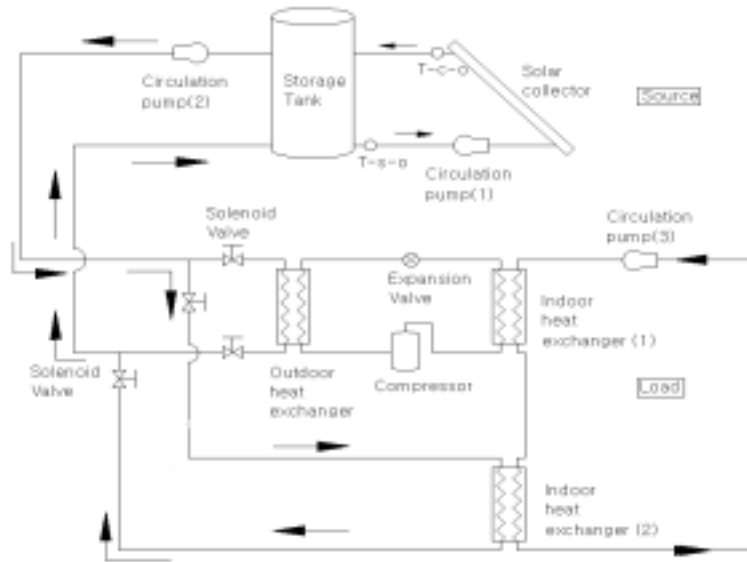


Fig. 14 Direct heating mode

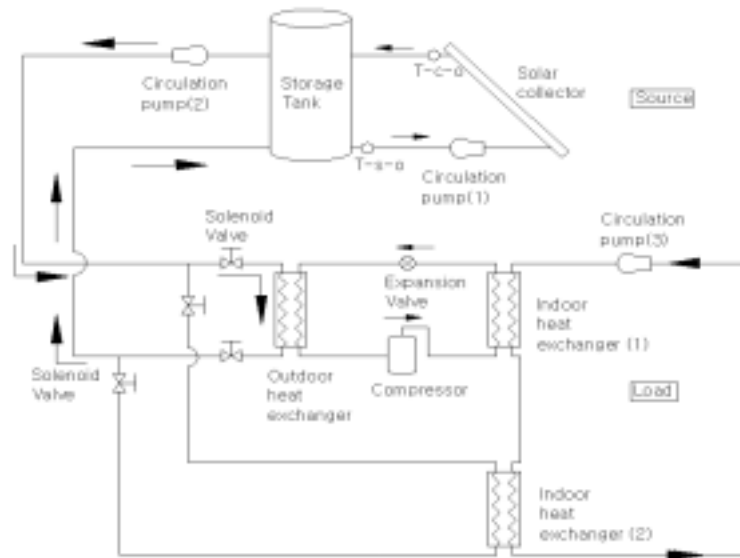


Fig. 15 Heat pump mode

3.3 실험 방법

실험은 주간에는 무부하 상태에서 태양열을 집열기와 축열조를 이용하여 축열하고 야간에 일정량의 부하를 주어 축열조의 온도가 15°C이하가 될 때까지 운전하여 시스템의 성능을 분석하였다.

축열운전은 아침 6시 30분부터 12시간 동안 실시하였다. 주간에는 부하에 대한 영향을 배제하고 실험을 수행하였으며, 야간에는 축열된 열을 사용하여 난방부하를 모사하기 위하여 설치한 저온형 칠러를 사용하여 일정한 부하 조건을 주어 시스템의 성능을 측정하였다.

주간 축열운전시에는 집열 및 축열 성능을 파악하기 위해 집열 운전 제어기인 차온제어기 입력 값을 변경시켰을 때 시스템의 운전특성과 차온제어기의 제어용센서의 위치 변화에 따른 특성을 살펴보았다. 본 연구에서는 축열 방법 중에 일반적인 출구 측 물에 온도를 측정하는 방법 및 집열기 몸체에 온도를 기준으로 해서 축열하는 방법을 적용하였으며, Fig 16은 차온제어기 제어용 센서의 측정위치를 나타내었다.

본 연구에서 수행한 실험의 실험조건 및 실험장치의 사양은 Table 2와 같다.

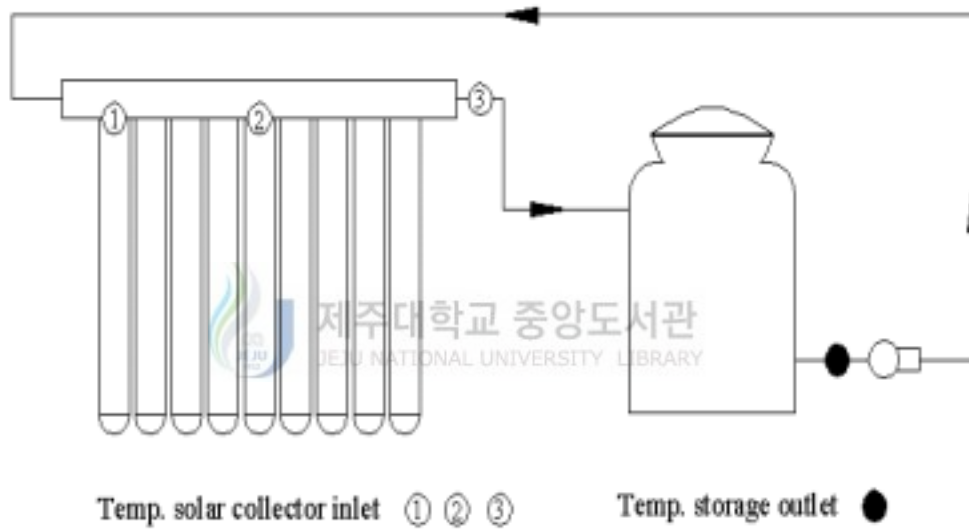


Fig. 16 different temperature control sensor locations

Table 2 System specification and test condition

Solar collector	Size(mm)		1780×1560
	Area(m ²)		2.7
	Slope(°)		33
Storage tank	Capacity(L)		200
Temp. control	Difference Temp(°C)	Set	2, 3, 5
		Bias(°C)	1, 2, 3, 5
	Start- up temp. (°C)		40
Circulation flow rate	Pump (1)(L/H)		530
	Pump (2)(L/H)		800
	Pump(3) (L/H)	Direct mode	200
		Heat pump mode	400
Heat exchanger type			plate
Compressor capacity(Hp)			1
Expansion valve type			TEV
Refrigerant			R22

IV. 결과 및 고찰

4.1 외기 데이터

Fig. 17은 10월 초에서 11월 말 사이의 기간동안 측정된 일사량으로써, 오전 6시 30분 부터 오후 6시 30분 까지 12시간 동안 측정된 값으로 월평균 200-250 W/m²의 일사량을 보이고 있으며 Fig. 18에 나타난바와 같이 같은 기간동안의 외기 온도는 월평균 약 15℃ 정도를 나타내고 있다. Fig. 19는 한 사이클 동안 일사량과 외기 온도로써 일사량과 외기 온도는 같은 패턴을 나타내며, 한낮을 기준으로 점점 증가하다 감소하는 정형적인 패턴을 보이고 있다.

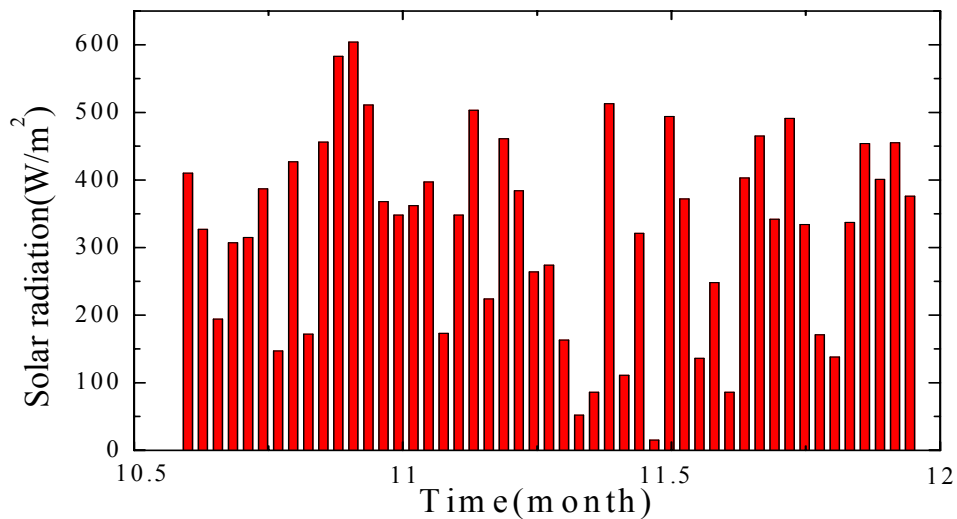


Fig. 17 Solar radiation variation with time

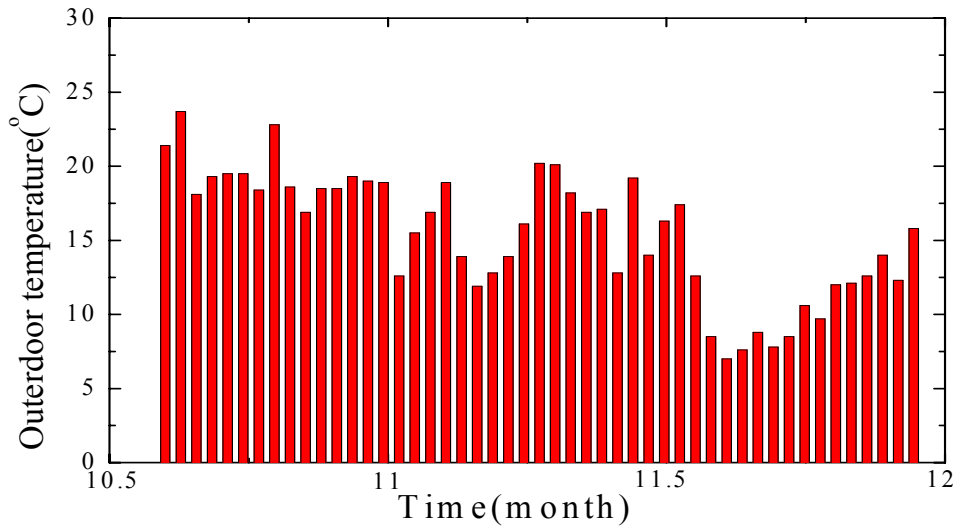


Fig. 18 Outdoor temperature variation with time

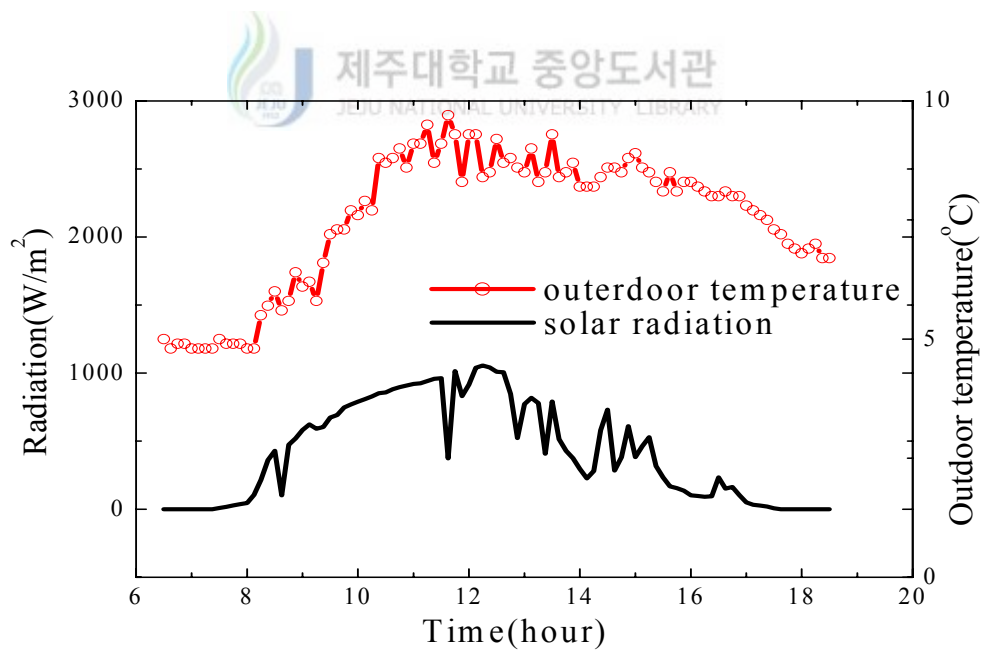


Fig. 19 Solar radiation and outdoor temperature variation with time

4.2 집열운전의 성능실험

본 연구에서는 집열기와 축열조에 집열매체 순환운전은 집열기의 배출 온도와 축열조의 배출온도를 측정하여 설정온도차 이상이 되면 시스템이 운전되는 방식이다. 집열운전의 효율에 따라 일사량이 많은 날은 많은 에너지원을 일사량이 적은 날은 적은 에너지원을 획득 할 수 있을 것이다. 그러나 같은 조건에서 최대한 많은 에너지를 흡수 할 수 있다면 특히 일사량 적은 날인 경우 시스템의 성능에 많은 영향을 미칠 것이다. 이처럼 태양열을 열원으로 사용하는 본 연구 시스템인 경우에도 집열운전의 성능이 시스템의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 이러한 이유로 집열 운전의 여러 가지 운전 조건을 가지고 성능 테스트를 해보았다.

집열기에 대한 실험은 차온제어기의 온도 설정제어와 앞에서 나타낸 바와 같이 차온제어기 센서의 위치를 변경시켜 가면서 시스템의 성능을 측정하였다. Fig. 20은 차온제어기에 작동 알고리즘을 그림으로 표현한 것으로 그림에 예를 설명하자면 집열기 출구와 축열조 출구의 온도차가 5℃이면 순환펌프가 작동하여 집열운전을 하고 3℃이면 순환 펌프에 작동이 멈추도록 설정 되어 있는 모습이다. 이처럼 본 연구에서 사용된 차온제어기는 잦은 순환펌프의 ON-OFF를 피하기 위해 히스테리시스 있는 제어를 사용하였다. 잦은 펌프에 작동은 펌프에 기동토크에 많은 전력이 들어가 전체 소비전력에 증가 요인이 된다[7].

첫 번째 실험은 차온제어기에 설정온도에 따른 실험 결과이다.

Fig. 21과 Fig. 22는 차온이 3℃인 상태에서 편차가 1℃와 2℃이고 차온 센서가 집열기 입구에 설치되어 있는 경우에 대하여 시스템의 운전 상태를 나타낸 것이다. 일사량에 따른 펌프의 ON-OFF가 편차가 1℃일 때가 편차가 2℃일 때보다 자주 일어난 것을 알 수 있다.

Fig. 23과 Fig. 24는 차온이 5°C이고 편차가 3°C 및 5°C 일 때 차온센서의 위치가 집열기의 중앙에 위치한 경우이다. 편차가 커질수록 펌프의 ON-OFF가 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 집열기에 차온 편차 등의 설정 값이 집열기의 집열성능 뿐만 아니라 시스템의 전체성능에도 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.

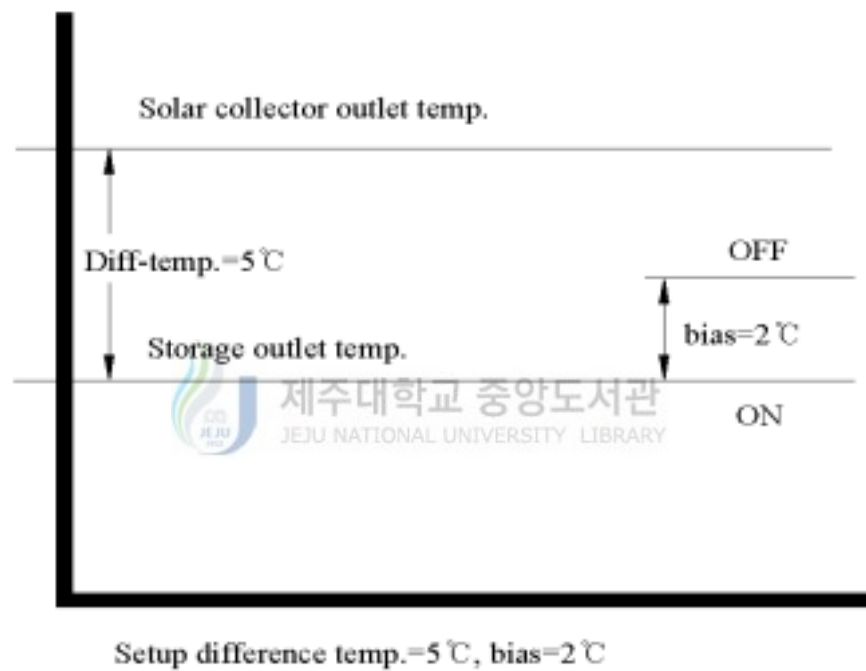


Fig. 20 Control logic of difference temperature controller

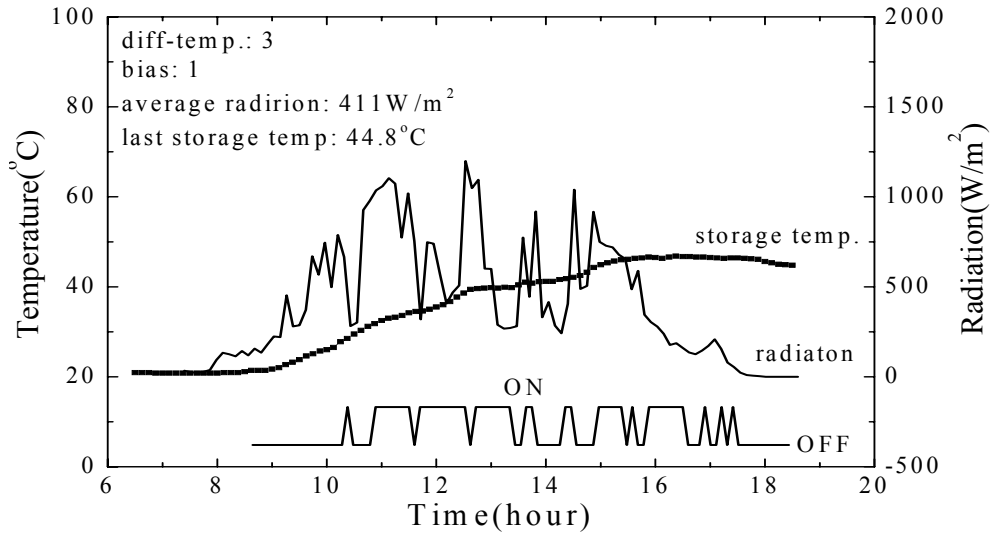


Fig. 21 Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(1°C bias temp.)

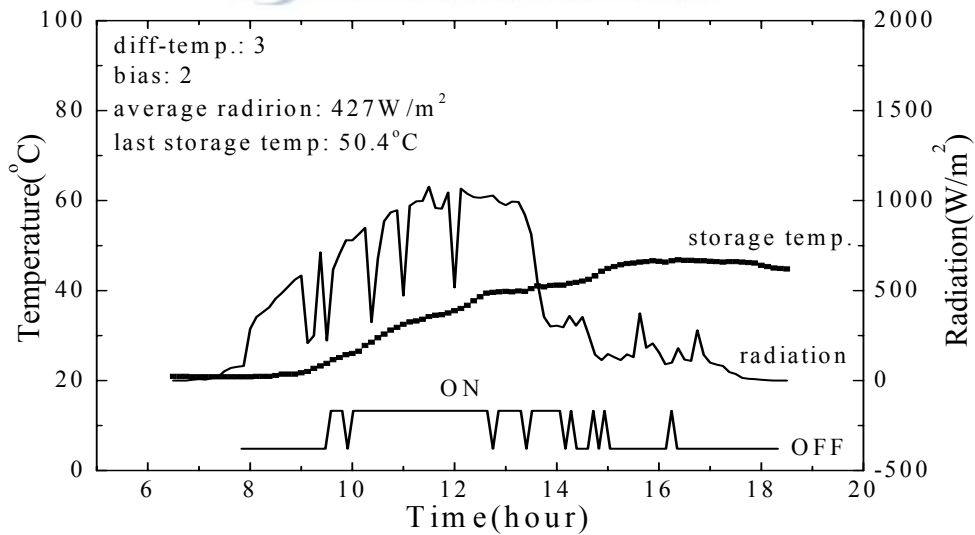


Fig. 22 Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(2°C bias temp.)

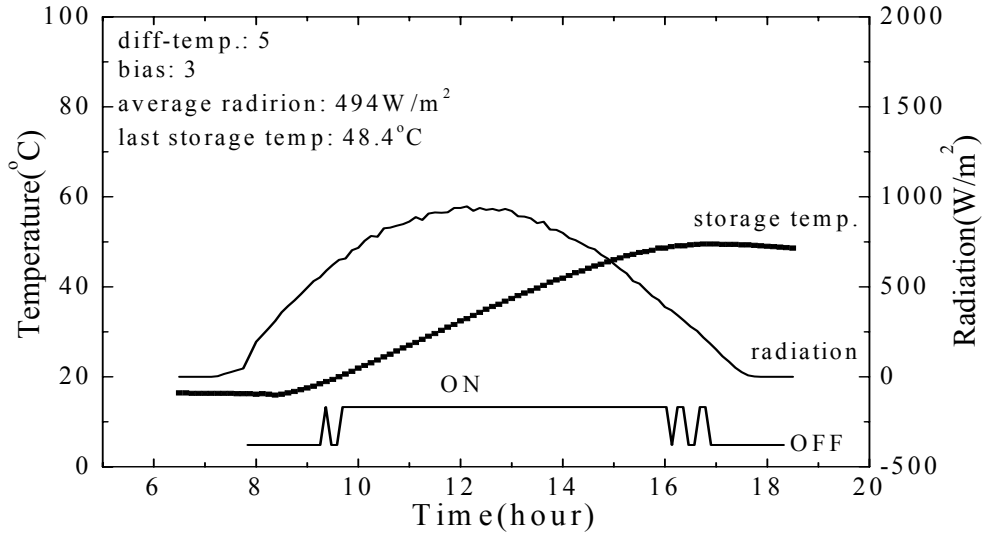


Fig. 23 Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(3°C bias temp.)

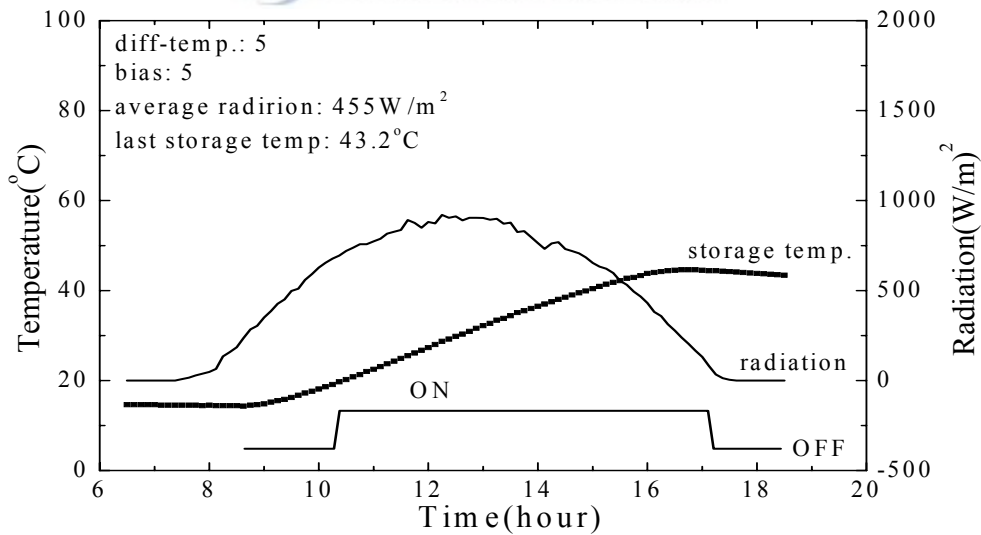


Fig. 24 Radiation, storage temperature and circulation pump operation with time(5°C bias temp.)

두 번째로 차온제어기 센서의 위치에 따른 성능실험의 결과이다. Fig. 25는 차온제어기의 센서에 위치를 자세히 묘사한 그림이다. 현재 집열기 출구측의 센서가 위치해 있으며 센서와 열매체 사이의 공간이 존재하고 매니폴더 내부에 열매체가 거의 존재하지 모습으로 집열 운전에 중요한 부분인 차온제어기 센서가 열매체의 온도를 정확히 측정하지 못하고 있고 이와 같은 상태에서의 시스템의 운전특성을 알아보기 위해 집열기 입·출구 온도를 측정해 보았다. Fig. 26은 차온이 3℃이고 편차는 2℃일 때의 집열기 입·출구 온도에 대한 실험결과이다. 하루 일사량이 604W/m²이고 평균 외기온도는 18.5℃이다 Fig. 26에 (b)는 일사량이 풍부하여 펌프의 ON-OFF가 빈번한 작동을 하는 구간에 대한 상세 그래프로써 15시부터 17시까지에 운전한 그래프이다. 본 연구에서 사용한 집열기는 앞에서 서술한 바와 같이 매니폴더의 삽입되어진 히트 파이프의 응축기와 집열매체가 열교환하는 방식의 집열기이다. 그러나 집열기의 설치형태는 집열기 매니폴더보다 축열조의 최고 수위보다 낮은 구조인 상태로써 이러한 상태는 매니폴더 안의 항상 일정한 축열매체가 존재 할 수 없는 구조이다. 이와 같은 현상은 Fig. 25의 나타낸 바와 같이 차온제어기 센서의 위치가 집열기 내부 빈 공간의 설치된 것과 같은 구조로 측정치의 오차를 발생시킨다. 결국 집열기의 매니폴더는 높은 온도를 유지하여도 매니폴더와 차온제어기 사이의 열매체가 존재하지 않음에 따라 차온제어기의 온도 센서는 정상온도를 측정하지 못하여 오작동을 하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 26에서 오전 8시부터 9시 구간은 펌프가 작동하지 않아 집열기의 온도가 너무 높아지는 구간이 존재함에 따라 집열기의 자체에 무리를 주고 사용 수명을 단축 할 수 있고 Fig. 27에서 보여지듯이 집열기의 입·출구 온도는 차온제어기의 온도설정의 따라 일정한 온도차를 유지해야 하지만 작동이 매우 불안정 운전을 하는 것을 알 수 있다.

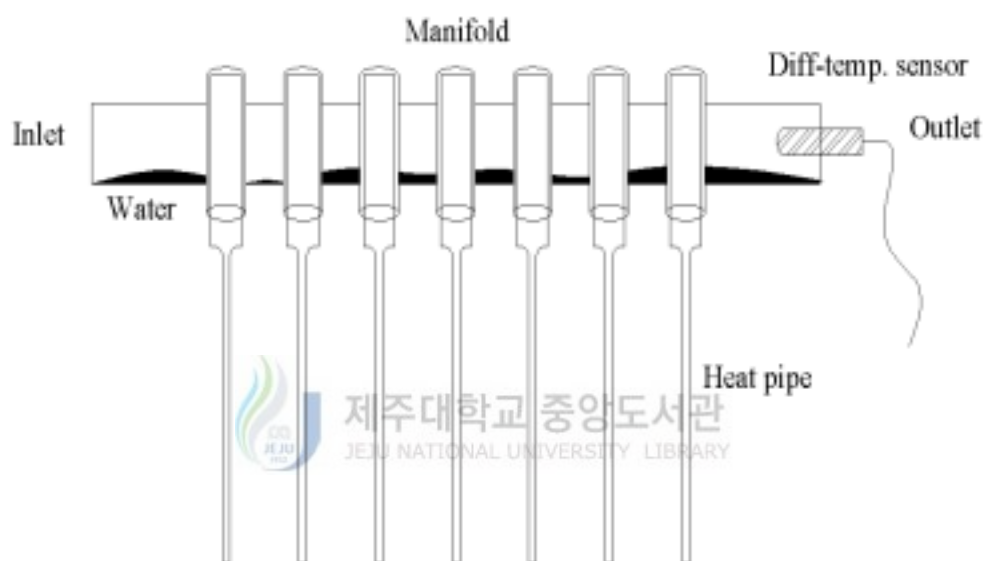
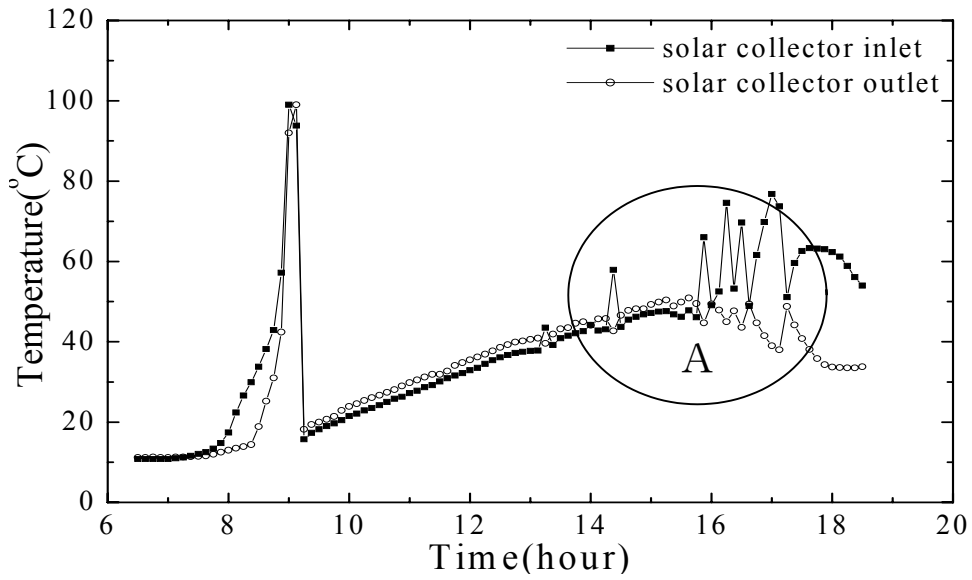
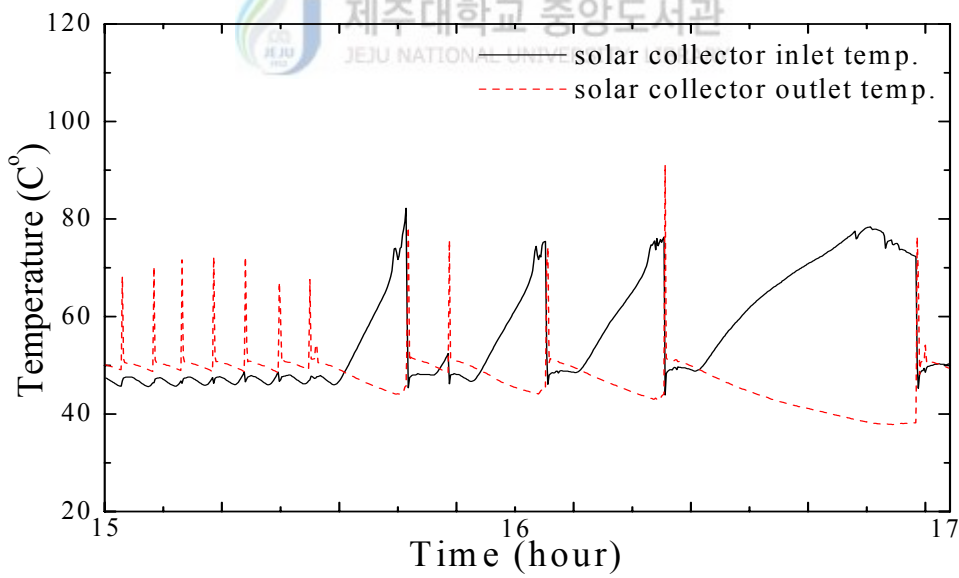


Fig. 25 Sensor location(1)



(a) Temperature variation



(b) Details of section A in (a)

Fig. 26 Solar collector inlet and outlet temperature with time(1)

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 차온제어기의 온도센서를 입구 측 매니폴더 표면의 직접 부착하여 실험하였다.

Fig. 27은 차온제어기 센서의 위치를 표시한 그림으로 Fig. 28은 차온은 5°C이고 편차가 5°C일 때의 집열기 입·출구 온도의 대한 실험결과이다. 실험기간동안의 일사량은 274W/m²이고 평균 외기온도는 20.2°C이다. Fig. 28을 보면 집열기 입출구 온도는 일정한 패턴을 유지하고 있으나 차온제어기 온도센서를 집열기 매니폴더 입구표면의 부착할 경우에도 집열기 출구온도가 60°C에서 70°C로 순간적인 온도상승이 이루어지고 있다. 이러한 경향은 매니폴더 내부가 비어있는 상태에서 태양일사의 의하여 계속적으로 가열되어 지다가 순환펌프가 작동하여 작동유체인 물이 순환을 시작하면서 매니폴더 입구에서부터 가열되기 시작하여 출구의 열매체 온도는 최대로 증가하는 것으로 볼 수 있다.

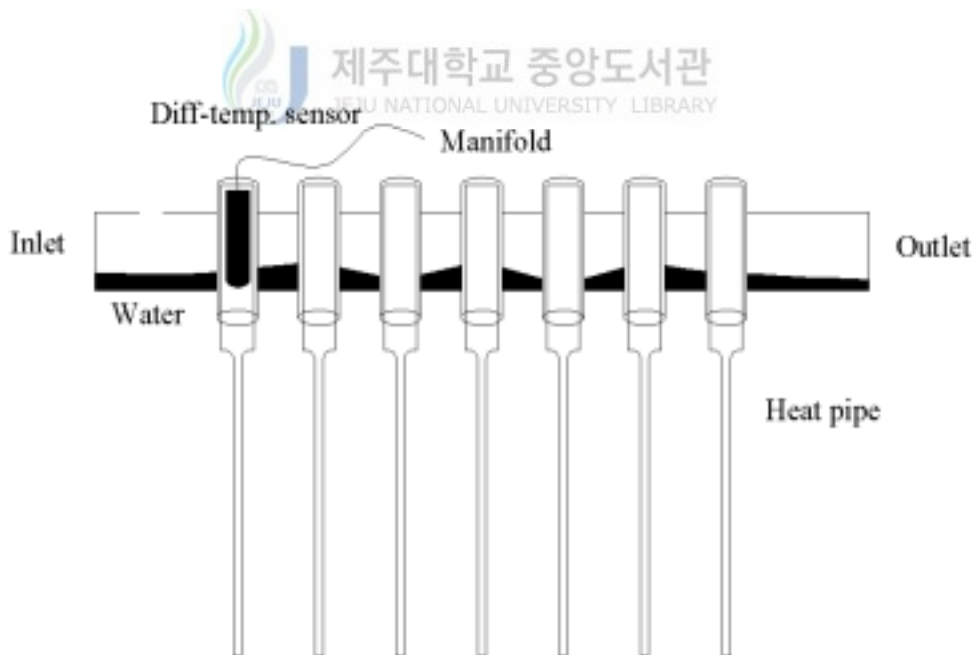
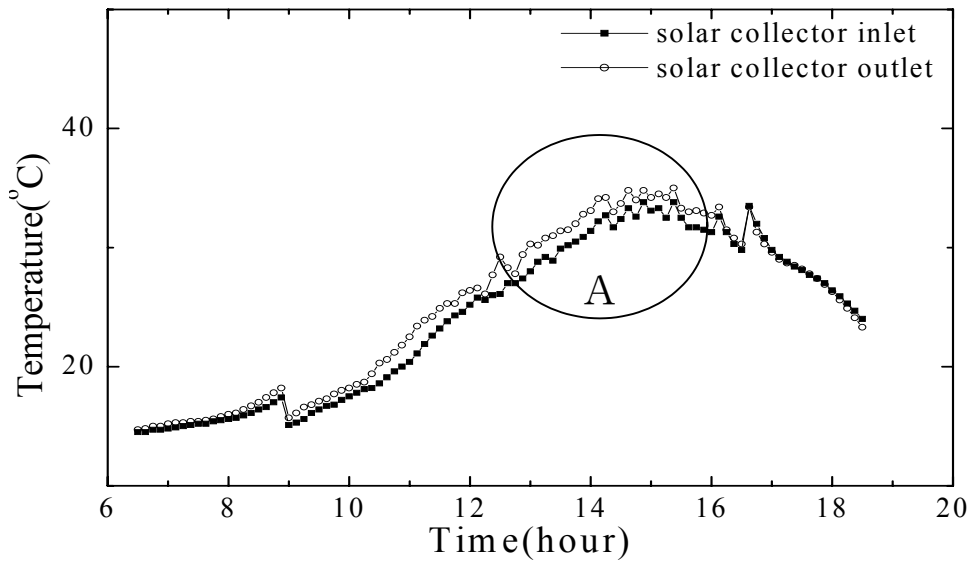
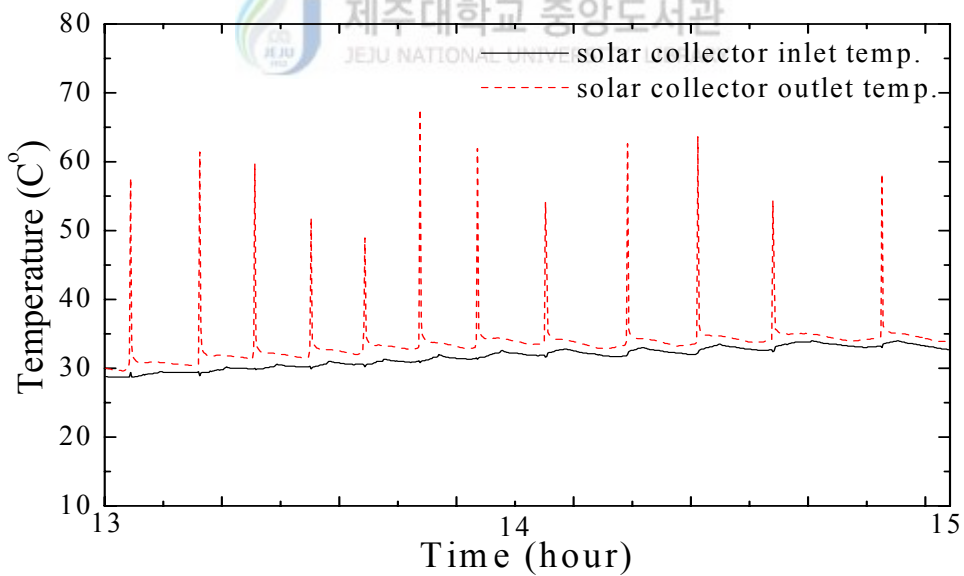


Fig. 27 Sensor location(2)



(a) Temperature variation



(b) Details of section A in (a)

Fig. 28 Solar collector inlet and outlet water temperature with time(2)

Fig. 31는 차온제어기의 온도센서의 설치 위치를 변경하여 집열기의 매니폴더 중앙의 설치하였을 경우를 나타내고 있다. 이의 대한 실험결과를 Fig. 32과 33의 나타내었다. 설정 차온은 5℃이고, 편차도 5℃이다. 이때 평균 일사량은 334W/m²이고 평균 외기온도는 10.6℃이다. 차온제어기 온도센서를 집열기 입구의 설치한 경우보다 일사량이 향상 되었으나, 집열기에서 배출되는 온도는 차온제어기 온도 센서를 입구의 설치한 경우보다 낮은 경향을 나타낸다. 그러나 입구와 중간 위치 경우의 직접 집열매체의 온도를 이용한 제어가 아닌 간접적인 방법으로 제어함의 따라 일사량이 줄어드는 오후에는 입·출구의 온도가 역전되는 것을 알 수 가 있다. 이와 같은 현상은 축열조에서 배출되는 높은 온도의 작동유체가 이미 식어 버린 집열기를 순환하면서 발생하는 현상으로 이러한 작동은 전체적인 시스템의 효율감소로 이어진다.

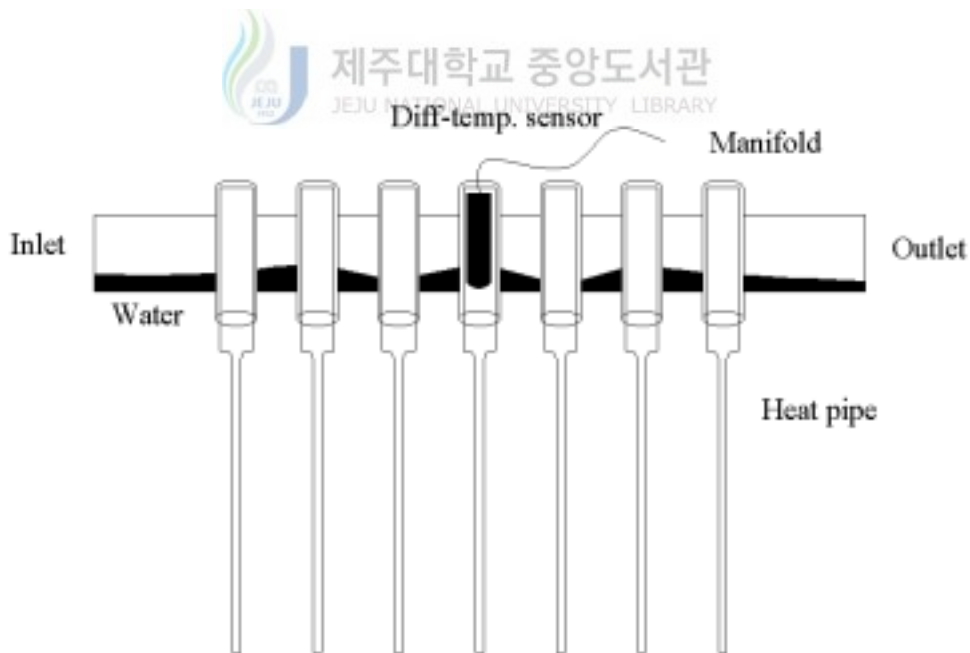
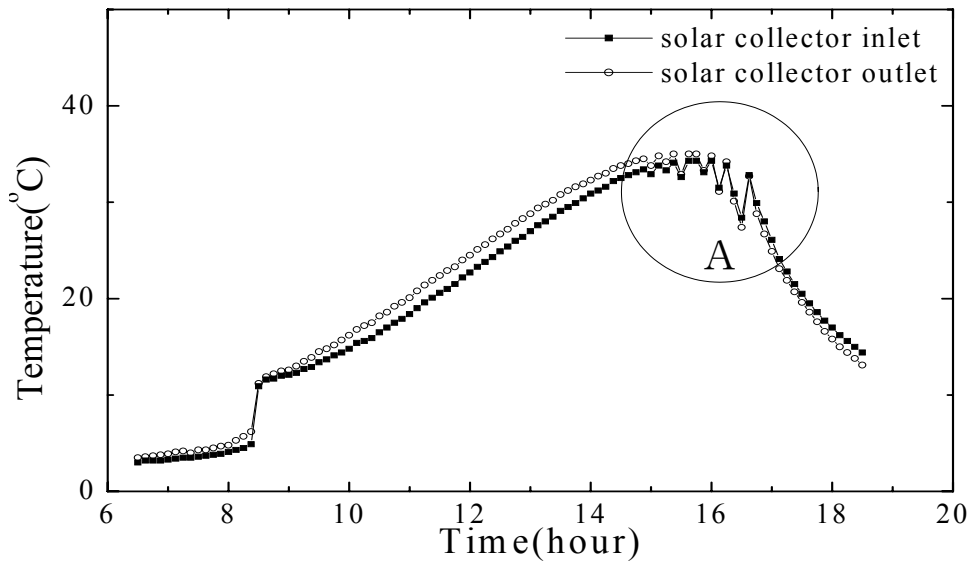
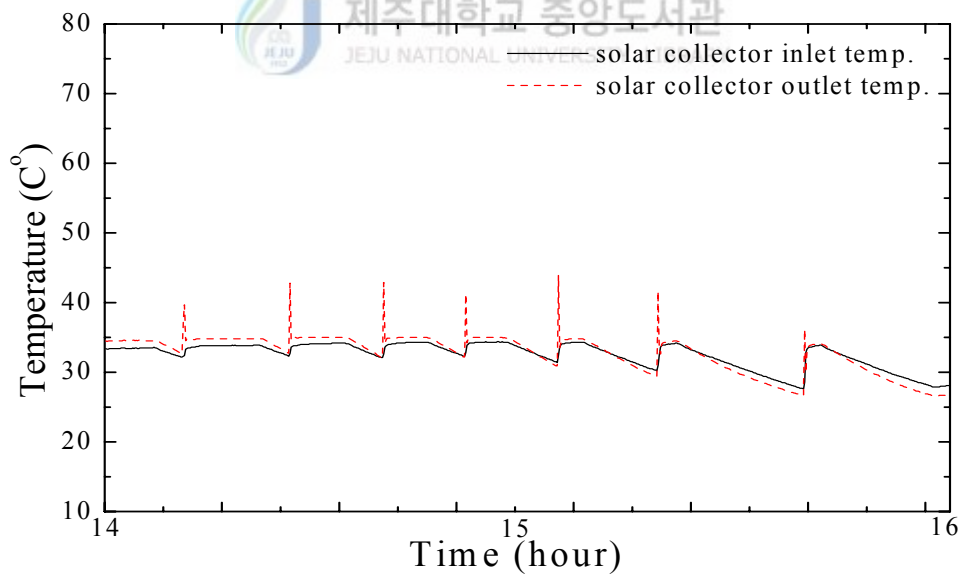


Fig. 29 Sensor location(3)



(a) Temperature variation



(b) Details of section A in (a)

Fig. 30 Solar collector inlet and outlet water temperature with time(3)

다음은 차온제어기의 온도센서를 집열기 매니폴더 끝단의 설치하여 시스템을 제어하였다. Fig. 31에 보여 지듯이 집열기 매니폴더안의 열매체가 충만하게 구성하였다. Fig. 32는 차온이 5℃이고 편차도 5℃일 때의 집열기 입·출구 온도의 대한 결과로써 하루 일사량이 455W/m²이고 평균 외기온도는 12.3℃이다. 우선 축열조에 위치를 상승시켜 집열기의 매니폴더에 항상 집열매체가 가득 차 있고 매니폴더 끝의 설치된 차온제어기의 온도센서는 직접 집열매체를 측정 할 수 있게 매니폴더안으로 삽입하여 설치하였다. Fig. 32를 살펴보면 집열기의 입출구 온도는 일정한 온도차를 유지하면서 증가하는 것을 알 수 있다. 축열운전이 완료되는 한 사이클 동안의 실험결과를 살펴보면 다른 실험에서 볼 수 있었던 급격한 집열기 온도상승이 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

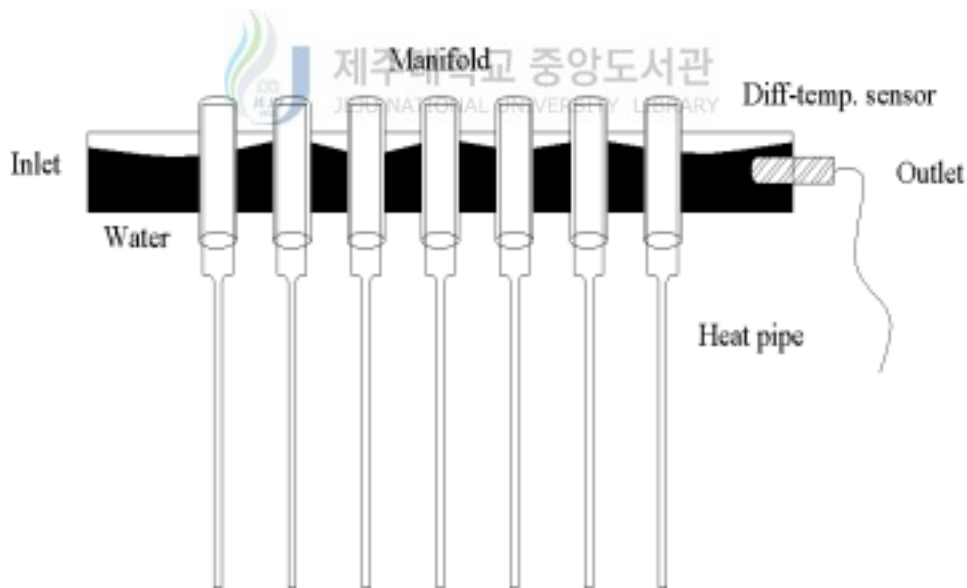
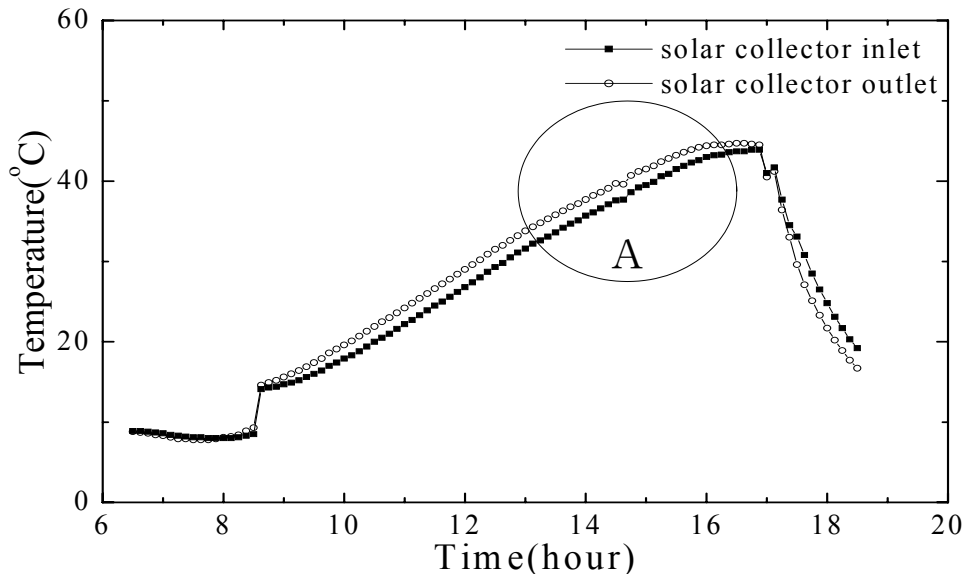
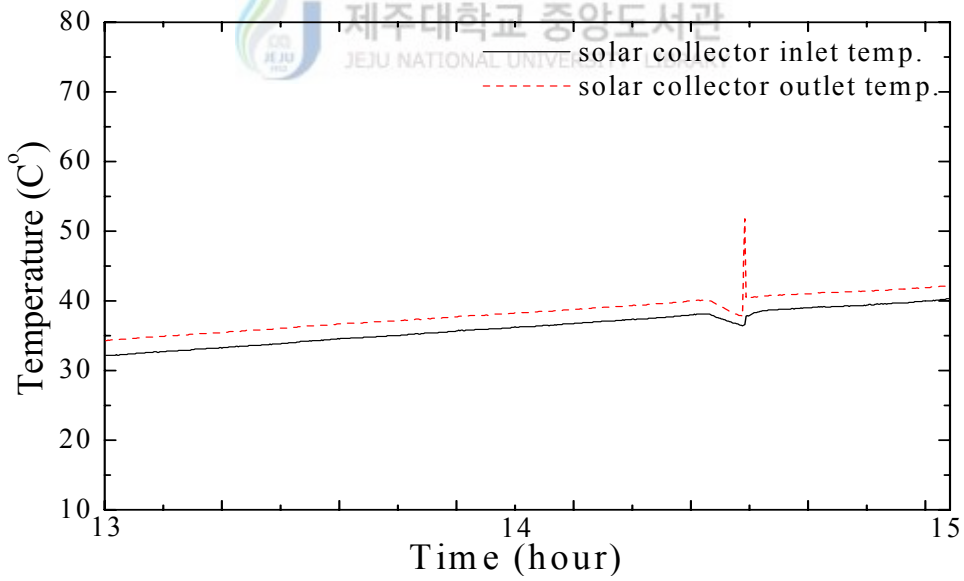


Fig. 31 Sensor location(4)



(a) Temperature variation



(b) Details of section A in (a)

Fig. 32 Solar collector inlet and outlet water temperature with time(4)

4.3 축열조의 성능실험

Fig. 33은 월간 축열조에 축열되어진 축열매체의 온도를 나타내고 있다. 일사량에 따라 많은 온도차를 내고 있으며, 11월달 평균온도는 약 28-30℃를 유지하는 것을 알 수 있다.

Fig. 34와 Fig. 35는 축열조 내부와 외부의 온도를 축열조 내부의 높이에 따라 나타낸 것이다. Fig. 34는 축열조 상부의 축열매체 온도와 같은 높이에서의 축열조 외부표면 온도를 나타낸다. 열펌프시스템의 가동초기에는 외부와 내부의 온도차가 크지 않으나 내부의 온도가 상승 할수록 온도차이가 커지는 것을 알 수 있다. 외기 온도와 축열조 내부 온도 차가 상승함에 따라 외부로의 열손실이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 35에서도 같은 경향을 나타내고 있으나, 상부에 비하여 하부의 손실이 크다는 것을 알 수 있다. 축열조의 바닥부분은 지면과의 열교환으로 인해 더욱 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 36은 시간의 따른 축열조 상부와 하부의 온도차를 나타내고 있다. 축열조의 용량이 200L로 소용량이기 때문에 큰 온도의 성층화는 일어나지 않고 있다. 또한 지속적인 순환이 이루어지고 있어 온도 성층화가 크게 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 37은 시간과 순환펌프의 운전의 관한 결과이다. 일사량이 풍부한 시간대에서 순환 펌프가 빈번하게 작동하는 것을 알 수 있으며, 순환펌프가 순환하는 동안에 축열조의 온도가 상승하는 것을 알 수 있다.

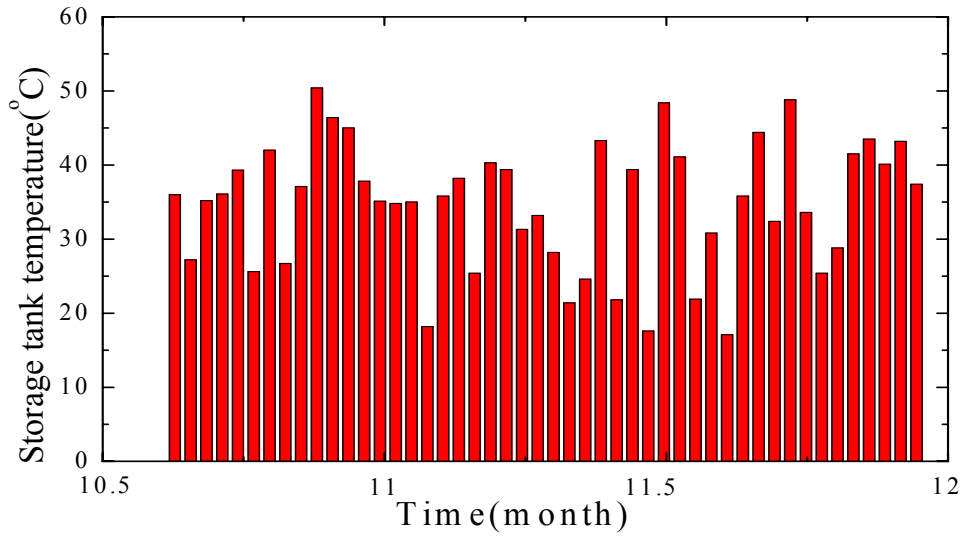


Fig. 33 Top point temperature of storage tank with time

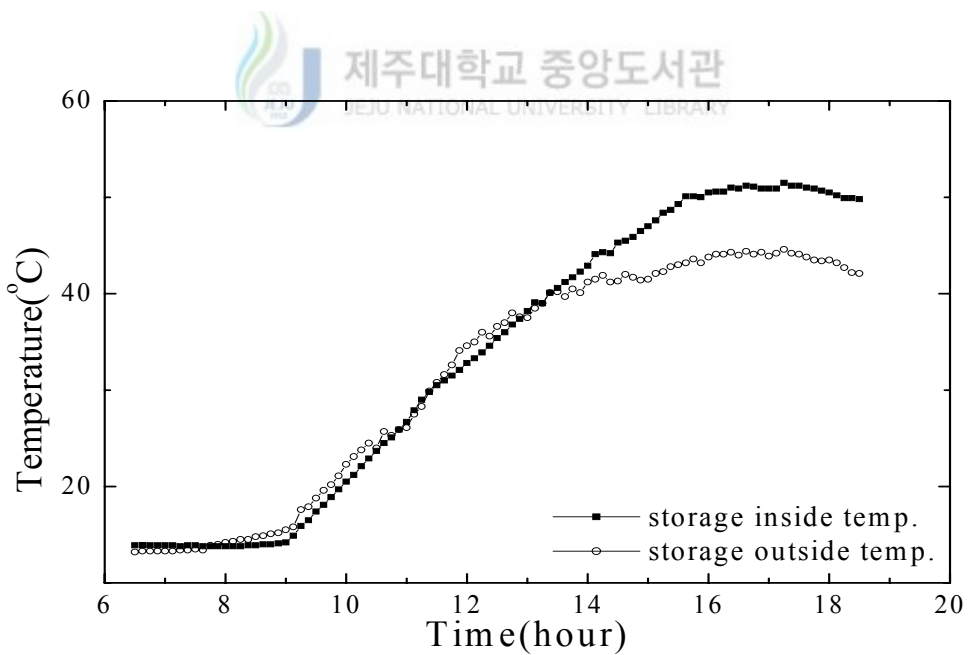


Fig. 34 Inside and outside temperature variation of storage tank top point with time

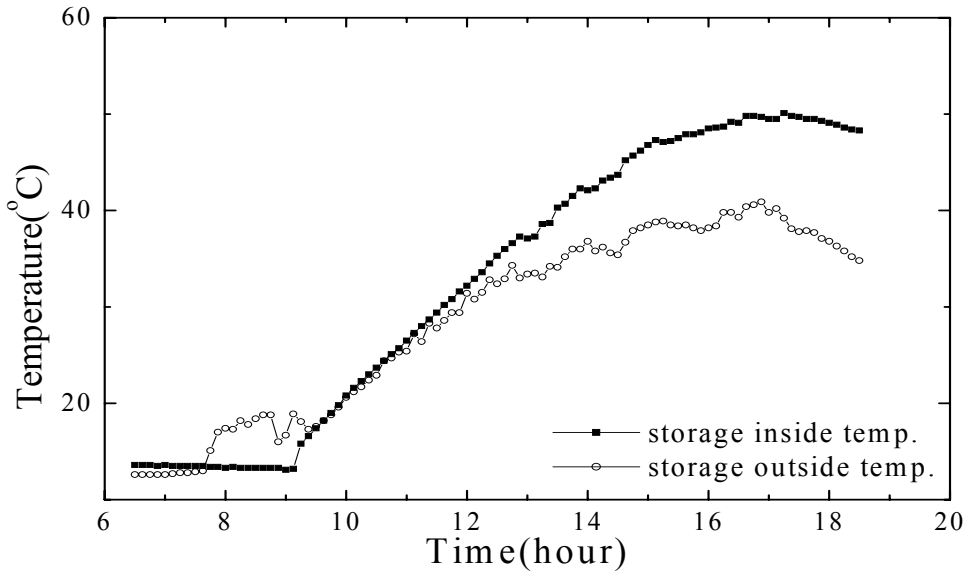


Fig. 35 Inside and outside temperature variation of storage tank bottom point with time

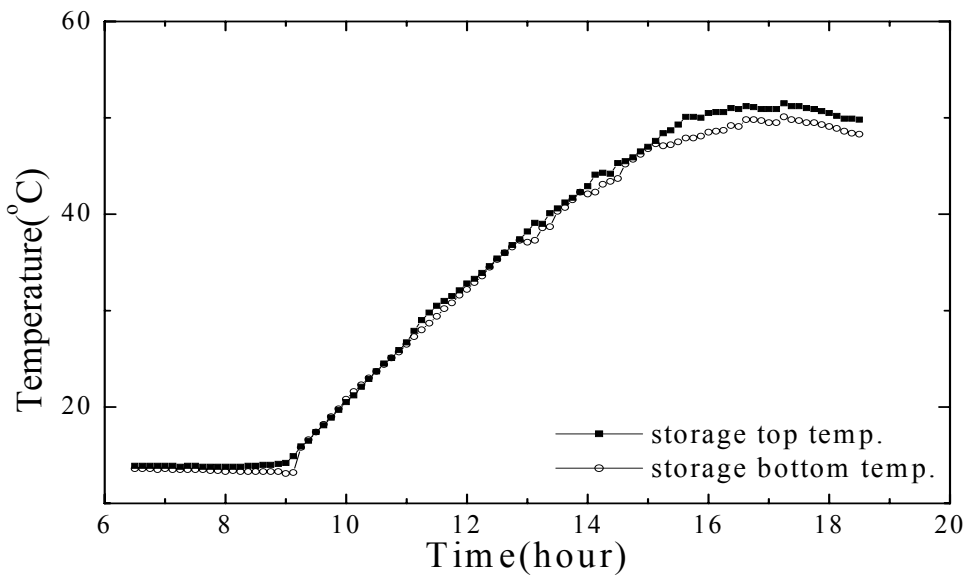


Fig. 36 Storage top and bottom temperature variation with time

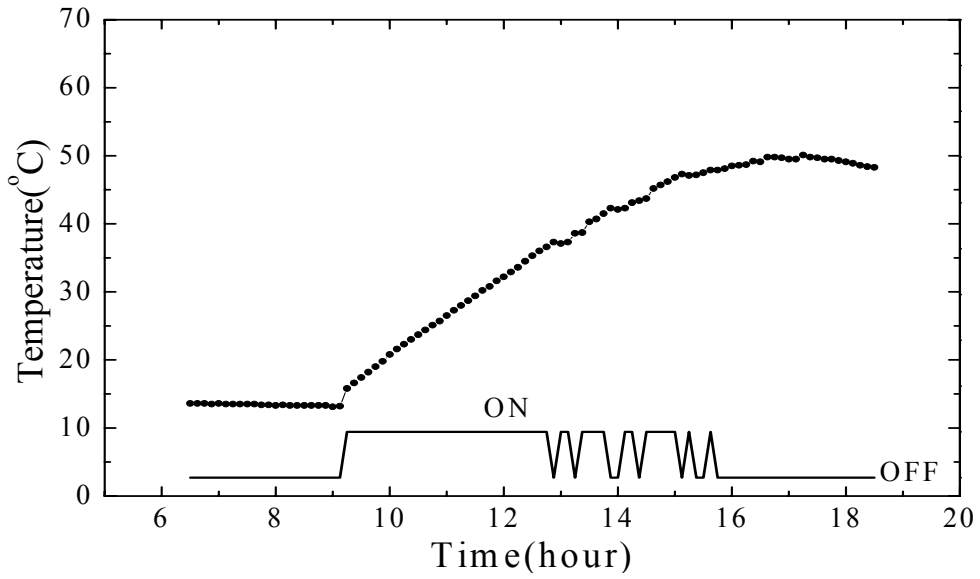


Fig. 37 Circulation pump on-off operation and storage temperature with time



4.4 열펌프 시스템의 운전결과

4.4.1 직접 난방운전

축열된 열매체의 온도가 직접 사용할 수 있는 온도인 경우 열원을 부하에 직접 사용했을 경우를 Fig. 38에 나타내었다. 초기 축열조의 물은 약 44℃로써 이 상태로 우선 순환펌프 운전을 시작하고, 압축기의 운전과 더불어 소비동력이 급격히 증가 되는 것을 알 수 있고 난방능력은 점점 감소하다가 열펌프 작동과 함께 증가 하는 곳을 알 수 있다. 또한 축열조의 축열된 열을 계속 소모함에 따라 계속적으로 난방 능력이 감소하는 것을 알 수 있고 축열조의 열을 직접난방에 사용하는 직접모드에서 열펌프 운전모드로 전환되는 시간은 가동 후 약 20분 후이다.

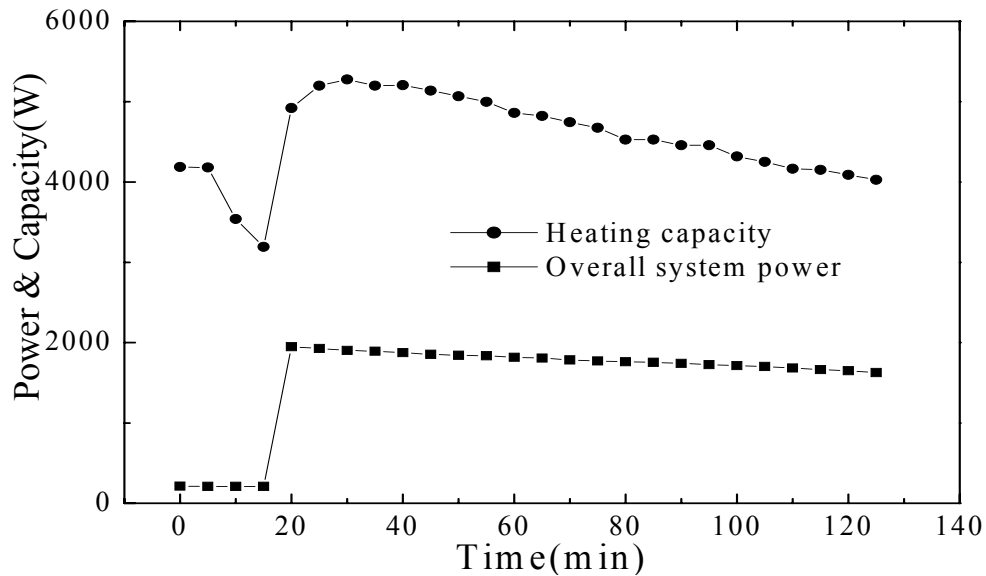


Fig. 38 Heating capacity and power consumption with time

4.4.2 열펌프 난방운전

열펌프 모드에서는 Fig. 39의 나타낸 바와 같이 축열조의 온도가 15℃가 될 때까지 열펌프 운전 시간은 약 2시간 정도이고 기존의 열펌프 시스템보다는 높은 COP를 나타내고 있는 것을 알 수 있고 COP인 경우 약 2시간동안 3.0에서 3.5를 유지하고 있다. 열역학 제 1 법칙의 따라 열펌프의 입력되는 열원 온도가 감소함에 따라 저열원으로 입력되는 열원의 에너지 수위가 낮아져서 총 난방능력이 감소하고 냉동 사이클에서 보면 증발 온도가 계속 감소함에 따라 저압 또한 낮아져 고압측과의 간격이 벌어져서 소비전력은 증가한다. 이와 같은 이유로 COP는 점점 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 40는 열펌프의 공급되는 열원의 온도가 감소의 따라 냉매의 흐름도 점차 감소한다. 즉 열원의 온도가 계속적으로 감소함에 따라 증발온도 또한 같이 감소하여 온도 팽창밸브는 과열도를 조절하기 위해 계속적으로 팽창밸브의 개도를 줄이는 방향으로 작동하고 이에 따라 냉매유량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이처럼 열펌프의 성능을 증가시키기 위해서는 열원의 에너지 수위가 가장 중요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 41에서 일사량이 증가 할수록 축열되는 에너지에 수위도 증가하고 열펌프의 운전 시간도 연장 할 수가 있다는 것을 보여 주고 있다.

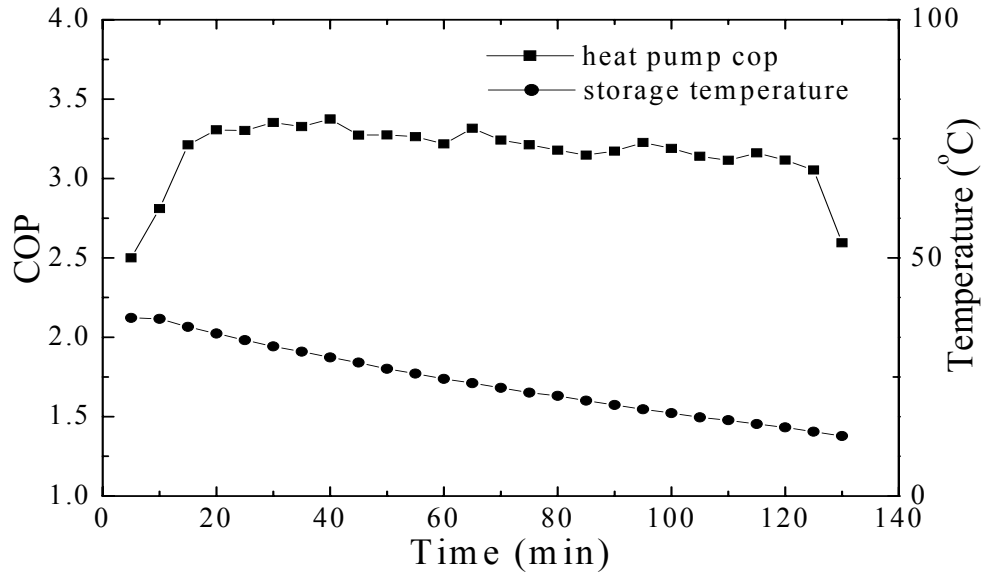


Fig. 39 COP and storage temperature variation with time

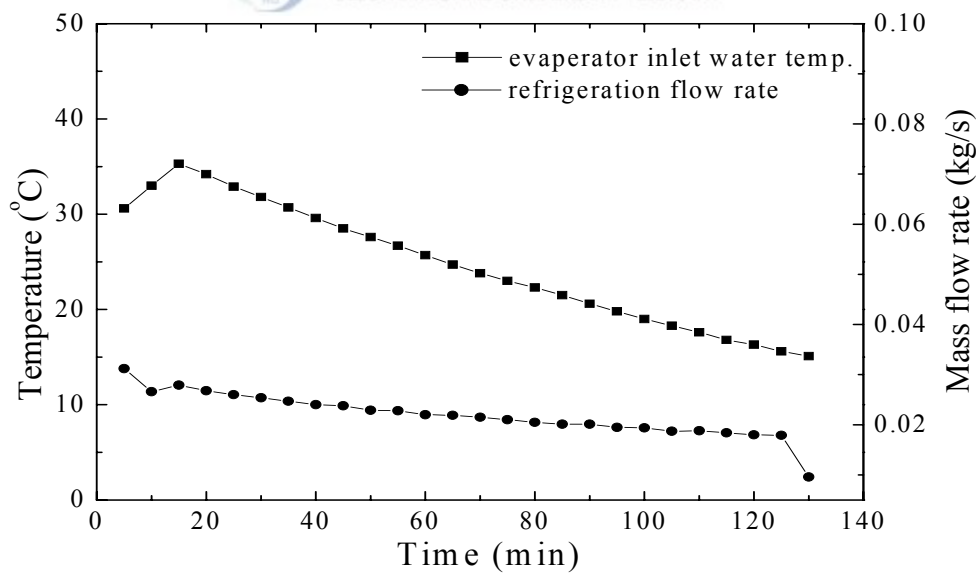


Fig. 40 Evaporator inlet water temperature and refrigerants flow rate variation with time

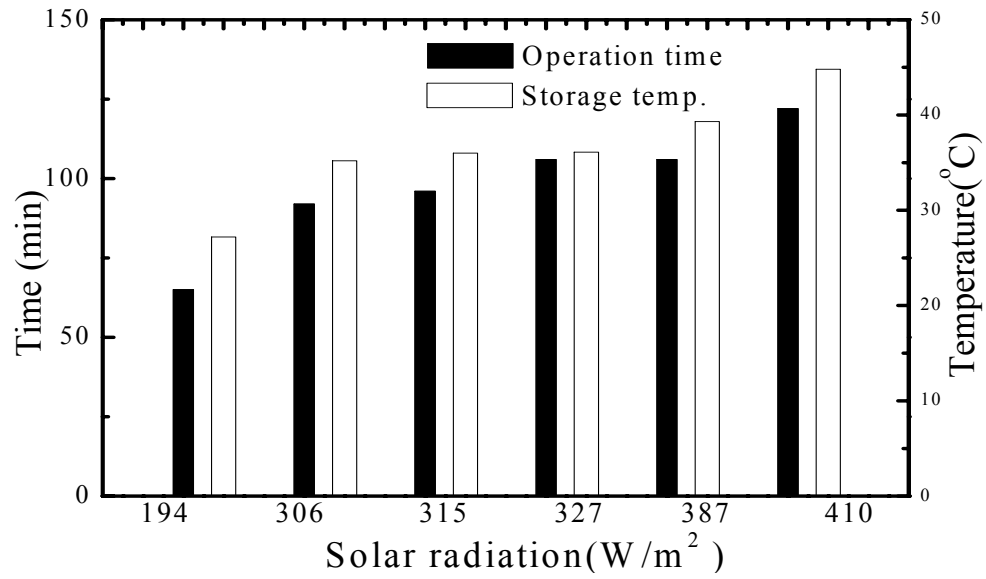


Fig. 41 Storage temperature and operation time with variation of solar radiation

4.5 난방 시스템의 경제성 평가

Table 3은 본 연구에서 제작한 태양열 열원 열펌프 시스템과 다른 방식의 난방 시스템과에 경제성을 비교 조건을 제시하고 있다. 비교 대상은 일반적이 보일러와 본 시스템과 같은 사양의 집열기를 쓰고 열펌프를 대신하여 전기 히터를 사용하는 경우이다.

비교 조건은 본 연구에서 평가한 태양열 열원 열펌프 시스템의 총 난방용량인 183,600 (kcal)을 기준으로 같은 용량을 얻기 위하여 소비자가 지출해야 할 운전비에 대해서 비교해 보았다. 난방용으로 보일러를 사용할 경우에는 보일러 효율이 감안하고 경유 단가는 1 리터당 1,000원으로 계산하였다. 본 연구에서 고려된 태양열 열원 열펌프시스템의 성능을 분석해 보면 총 생산 열량에 약 70%를 태양열이 감당하고 나머지는 열펌프에 의해서 보안 되었다. 이와 같은 경우 나머지 30%를 전기히터를 사용하는 경우와 전체 난방 용량을 보일러로 가동하는 경우를 비교해 보았다. 그리고 전기를 열원으로 사용할 경우 전기요금이 일반적인 가정용과 심야 전기를 사용하는 경우에 대하여 경제성을 비교해 보았다.

Fig. 42에는 나타낸 바와 같이 보일러에 운전비용이 가장 많이 드는 것을 알 수 있고 보일러인 경우에 약 21,551원이 소비 되었고 열펌프를 사용할 경우에는 일반 전기를 사용할 때 4,180원이며 심야 전기를 사용할 경우에는 1,606원이 소비 된다. 열펌프 대신에 전기히터를 쓰는 경우 일반전기인 경우 7,430원, 심야전기인 경우 2,274원이 소비 되는 것으로 나타났다. 그러나 비교 선정된 시스템의 용량이 작기 때문에 많은 소비 가격에서 많은 차이를 나타내지는 않는다. 시스템의 용량이 커질수록 특히 200kWh 이상인 경우 일반전기보다 경유를 사용하는 것이 경제적이고 심야 전력과 일반 전기에 차이는 점점 많은 차로 벌어지는 것을 알 수 있다.

Table 3 Standard and Condition of comparison operation cost

Categories	Specification	Standard heating capacity
Solar assisted hybrid heat pump system	heat-pump & solar collector (2.7 m ²)	183,600 (kcal/mon)
Solar assisted electric heater system	electric heater & solar collector (2.7 m ²)	
Boiler	heating power 17,000 (kcal/h) fuel consumption rate 2.0 (L/H) light oil cost 1,000 (₩/L)	

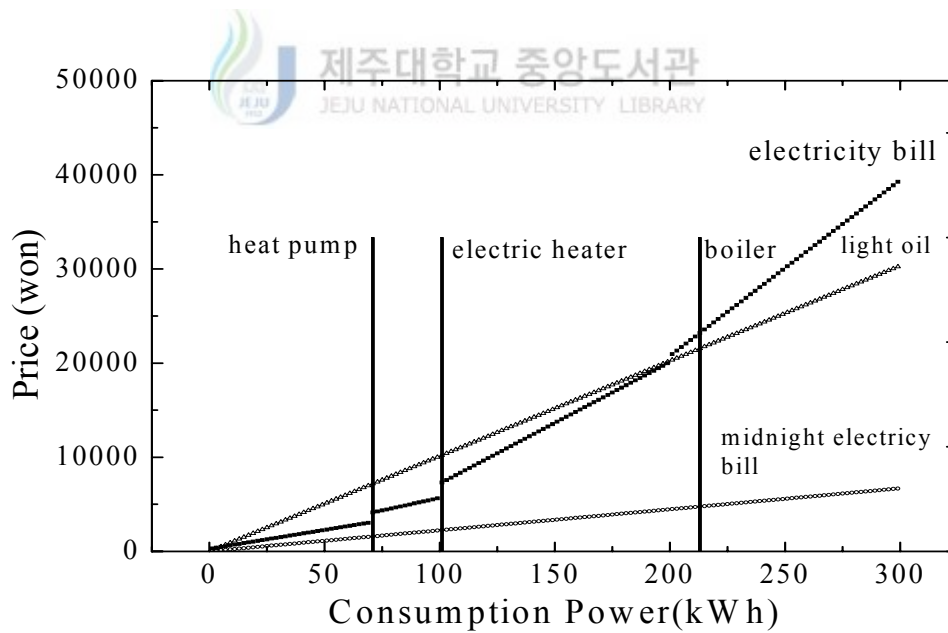


Fig. 42 Energy price with variation of power consumption

V. 결론

본 연구는 불규칙하게 공급되어지는 태양에너지로부터 발생된 열원을 활용해 안정적인 열의 공급이 가능한 난방 시스템의 개발에 관한 연구다. 태양열 시스템은 불규칙적인 에너지원인 태양열을 활용하기 위해서 축열장치와 보조열원을 항상 동반한다. 태양열 온수기의 경우에는 시스템의 용량에 따른 축열조를 구비하고 있으며 축열조 내부에는 보조 열원으로 전기히터가 삽입 되어 있다. 본 연구에서는 축열조에 삽입된 보조 열원인 전기히터를 제거하고 열펌프를 이용하여 안정된 운전이 가능하고 재실자에게 안정된 난방열을 공급함과 동시에 난방비용을 절약함으로써 소비자에게 경제적인 부담을 줄일 수 있는 방법으로 태양열 열펌프 하이브리드 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 시스템의 성능을 파악하기 위하여 집열 성능, 축열 성능 및 열펌프의 성능을 세분화하여 실험하였으며 실증실험을 통해 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 태양열 열펌프 하이브리드 시스템 또한 태양열을 열원으로 이용하는 시스템으로써 성능에 가장 중요한 인자는 일사광선에 의해 축열 되어진 열원의 질이다. 우선 장치 설치장소의 기후는 도서지역으로 해양성 기후의 영향과 난대성 기후를 나타내며, 연평균 기온은 16℃, 강수량은 1,530mm, 구름이 거의 없는 쾌청일수는 연평균 49일이다. 10월부터 11월에 걸쳐 측정된 외기데이터 및 축열 된 열원의 에너지 수위를 보면 충분히 태양열 하이브리드 시스템에 사용할 수 있는 기후 여건이 되는 것을 알 수 있다.
2. 집열 및 축열운전을 수행시 집열기의 제어변수인 차온 및 편차 최적의 설정이 높은

효율에 집열 및 축열운전을 수행할 수 있다는 것을 알 수 있다. 차온 3℃인이고 편차가 1℃인 경우 펌프에 잦은 ON-OFF로 인해 같은 작동시간에 비해 많은 소비 전력을 소비하게 된다. 그와 반면 차온 5℃, 편차의 설정이 5℃인 경우에는 펌프에 ON-OFF 작동은 간헐적이지만 차온이 3℃이고 편차가 2℃인 경우보다 하루 평균 일사량이 28W/m² 적은 기후조건에서 축열조에 최고 온도는 약 7℃가 높은 것을 알 수 있다. 최적에 제어 설정값을 찾아내는 것이 집열 효율의 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 차온제어기의 온도 센서의 위치는 집열기의 집열매체출구 온도를 측정하여 제어하는 것이 가장 안정적인 운전이 가능한 것을 알 수 있다. 우선 집열기 특성에 맞는 설비가 이루어져야 하고 정상적인 운전인 경우 집열기의 입·출구 온도차가 설정 온도를 벗어나지 않는 것을 알 수 있고, 출구측 온도의 급한 상승 또한 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다.



3. 축열조의 온도분포는 축열조 바닥층이 상부층보다 열손실이 조금 크다는 것을 알 수 있다. 한 사이클 중 오후 2-3시를 기점으로 축열조의 온도는 40℃를 넘어서고 외기에 온도는 계속적으로 떨어짐에 따라 축열조 내부와 외부에 온도차가 크게 벌어져 열손실 양도 증가하는 것을 알 수 있다. 축열조에 높이에 따른 온도 성층화는 축열조에 용량이 소형이고 지속적인 집열매체의 순환으로 인해 집열운전 후에 약 1℃정도에 온도차가 형성되었다.
4. 축열된 열원을 난방용 열펌프의 저열원으로 운전할 경우에는 직접운전으로 한번 사용된 축열조의 열원을 열펌프의 저열원으로 다시 한번 사용함으로써 난방운전 중 열펌프 가동시간 단축과 열펌프 가동 시 여타 다른 열원을 쓰는 열펌프의 비해 높은 3-3.5 정도의 COP를 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 축열조에 온도가 44℃의 열원을 사용할

경우 15℃까지 축열조의 온도가 낮아지는 운전 과정 중에 전체 작동시간에 약 15%를 직접운전 방식으로 85%는 열펌프운전으로 작동되었다. 열펌프 운전시도 열원의 에너지 수위가 높을수록 전체 열펌프에서 생산 할 수 있는 난방능력이 증가하고 직접운전 시간이 증가 할수록 소비 전력이 감소 할 수 있다.

5. 다른 난방 장치와 경제성을 평가해 본 결과 태양열 열원 하이브리드 열펌프 시스템의 운전비용은 기타의 다른 난방시스템과 비교하였을 때 태양열 열원 열펌프시스템이 전기히터를 사용하는 경우보다 약 30%정도의 연료비용의 절감이 가능한 것으로 나타났고, 보일러의 대비하여서는 약 90%의 연료비용 감소효과를 가져올 수 있다. 비교 평가해본 난방비의 절감은 심야전기를 사용 할 경우에는 더욱 절감효과가 커지는 것을 알 수 있으나, 이러한 결과는 본 연구에서 적용한 난방용 시스템이 실험실 수준의 소형용량 시스템을 비교 조건으로 사용하여 나타난 결과로써 시스템의 용량이 커질 경우의 에너지 비용의 절감효과는 대폭 감소할 수 있다. 특히 소비 소비전력이 월 200kW 넘어서거나 태양 일사량이 매우 저조한 경우 운전비 절감 차이는 더욱 낮아질 것이다.

VI. 참고 문헌

- [1] Chang Duck Kim, In Ju Hwang, Tae-Won Lee, Jinho Lee, 1999, Performance of a Heat Pump System with Solar Thermal Storage, SAREK 1999 Summer Conference, pp. 265-272
- [2] Nam Choon Baek, Jin Kook Lee, Byoung-ha Song, 2001, Performance of Dual Source Heat Pump System with Solar with Solar-Assisted Evaporator, SAREK 2001 Summer Conference, pp. 1334-1338
- [3] Jin ho Kim, Jun Un Park, Heung Jae Kim, Eung Sam Yoon, Chang Kyun Yu, Nam Choon Baek, 2003, Analysis of the Solar Assisted Heat Pump System for Heating of the Zero Energy Solar House(ZESH), SAREK 2003 Spring Conference pp. 92-101
- [4] Jiyoung Kim, Gwang Soo Ko, Youn Cheol Park, 2005, The Hybrid Heat Pump with Solar Energy for Heating, SAREK 2005 Summer Conference, pp. 177-183
- [5] Youn Cheol Park, Jiyoung Kim, 2004, An Experimental Study on the Performance of Heat Pump for Low Temperature with Refrigerant Heating Method SAREK 12005 Summer Conference, pp. 173-178
- [6] Jiyoung Kim, Gwang soo Ko, Youn Cheol Park, 2005, A Study on the Operating Strategic for Solar Assisted Heating System, The Korea solar Energy Society 2005 Autumn Conference, pp. 25-30
- [7] U-Cheul Shin, Nam Choon Baek, 2005, Performance of Solar Thermal System by On-Off Differential Temperature of Differential Temperature Controller, Journal of the Korea Solar Energy Society Vol. 25, No. 2, pp. 1-8

감사의 글

어느덧 학부 생활 4년, 대학원 생활 2년이란 긴 시간을 보냈던 학교를 떠나게 됐습니다. 되돌아보면 학부를 마치고 대학원을 시작하면서 학부에서 할 수 없었던 많은 경험을 하게 되었고 새로운 지식을 접할 수 있었던 아주 유익했던 시간이었습니다. 학기 초에는 대학원 생활의 막연한 기대 속에 시작했고 지금은 졸업논문을 끝으로 마무리하려 합니다. 대학원 1학기부터 졸업 논문까지 마무리 짓도록 많은 도움을 주신 교수님과 선배, 동료, 여러분께 감사드립니다.

졸업논문을 준비하면서 부족함이 많은 저를 더 성장할 수 있는 기회를 마련해주시고 희망찬 미래에 대한 설계를 세울 수 있도록 많은 도움을 주신 지도교수님이신 박윤철 교수님께 가장 큰 감사를 전하고 싶습니다. 학부 3년부터 대학원 4학기까지 길고도 짧은 4년이란 기간을 한결 같은 마음으로 지도해주시고 저의 모자란 부분은 항상 감싸주신 지도교수님께 너무나 큰 빛을 지고 떠나는 것 같습니다. 또한 논문심사를 통해 좀 더 나은 논문이 되도록 세심한 검토와 조언을 주신 권기린 교수님, 정동원 교수님께 감사드립니다.

학부 4년과 대학원 과정에 있어서 전문지식과 삶의 지혜를 가르쳐 주신 김귀식 교수님, 허종철 교수님, 현명택 교수님, 조경호 교수님, 임종환 교수님, 최경현 교수님, 강철웅 교수님, 김상재 교수님께도 감사의 마음 전합니다. 4년간 동고동락 했던 냉동공조 연구실에 상혁선배, 병찬, 광수, 유리, 익효, 재철, 준호, 기봉, 동수에게도 감사의 마음을 전합니다.

항상 저를 믿고 저를 위해 희생해주신 가족들에게 정말 큰 고마움을 전합니다.