

碩士學位論文

태양열 및 보일러이용 온수난방  
시스템에 관한 실험적 연구

The background features a large, faint watermark of the Jeju National University logo. The logo is circular, containing a stylized flame or leaf design in blue, green, and purple. The text 'JEJU NATIONAL UNIVERSITY 1952' is written around the top half of the circle, and '제주대학교' is written around the bottom half. In the center of the logo, there is a smaller emblem with the text 'JEJU 1952'.

濟州大學校 大學院

機械工學科

金 賢 石

2009年 2月

# 태양열 및 보일러이용 온수난방 시스템에 관한 실험적 연구

指導教授 朴潤鐵

金賢石

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2009年 2月

金賢石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

2009年 2月

An Experimental Study on a Heating System  
with a Burner and Solar Collectors

Hyeon Seok Kim

(Supervised by professor Youn Cheol Park)

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

Faculty of Applied Energy System

Major of Mechanical Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2009. 2

# 목 차

List of Figures .....	iii
List of Tables .....	v
Summary .....	vi
1. 서론 .....	1
1.1. 연구배경 .....	1
1.2. 연구목적 및 연구동향 .....	3
2. 실험장치 및 실험방법 .....	6
2.1. 실험장치 .....	6
2.1.1. 태양열 집열기 .....	6
2.1.2. 축열조 .....	7
2.1.3. 보일러 .....	10
2.1.4. 시스템구성 .....	13
2.2. 실험장치 및 실험방법 .....	13
2.3. 실험방법 .....	17
2.3.1. 난방부하 .....	17
2.3.2. 온수부하 .....	18
2.3.3. 보일러설정온도 .....	18
2.4. 실험조건 .....	22
3. 결과 및 고찰 .....	25
3.1. 기상자료 .....	25
3.2. 축열조의 열손실 .....	27

3.3. 축열조와 보일러의 성능평가 .....	29
3.4. 난방부하와 보일러의 설정온도의 관계 .....	35
3.5. 축열조 열매체의 유량변화에 따른 성능평가 .....	40
3.6. 온수를 사용시의 시스템 성능 .....	45
4. 결론 .....	50
참고문헌 .....	53



## List of Figures

Fig. 2-1	Picture of solar collectors .....	7
Fig. 2-2	Schematics of a storage tank .....	9
Fig. 2-3	Picture of the thermal storage tank .....	9
Fig. 2-4	Picture of a burner which was installed on the top of a thermal storage tank .....	11
Fig. 2-5	Picture of heat exchange and burner .....	11
Fig. 2-6	Location of the burner on the thermal storage tank .....	12
Fig. 2-7	System configuration in a residential house .....	13
Fig. 2-8	Picture of mass flow meter .....	14
Fig. 2-9	Picture of data acquisition system .....	15
Fig. 2-10	Temperature measuring point in the thermal storage tank .....	19
Fig. 2-11	Schematics of control loop and temperature measuring point in the system for the system control .....	20
Fig. 2-12	Picture of system controller .....	21
Fig. 2-13	Picture of system controller and chiller controller .....	23
Fig. 3-1	Irradiation intensity of the solar collector .....	26
Fig. 3-2	Heat loss of the thermal storage tank at natural convection .....	27
Fig. 3-3	Heat loss of the thermal storage tank at forced convection .....	28
Fig. 3-11	Thermal storage temperature variation with 30°C return water temperature and 20 lpm flow rate	

(a) Burner limit setting temperature = 40°C .....	31
(b) Burner limit setting temperature = 50°C .....	32
(c) Burner limit setting temperature = 60°C .....	33
Fig. 3-5 Fuel consumption variation with changing of burner limit setting temperature .....	34
Fig. 3-6 Heat load and solar energy variation with time	
(a) Burner limit setting temperature = 40°C .....	37
(b) Burner limit setting temperature = 50°C .....	38
(c) Burner limit setting temperature = 60°C .....	39
Fig. 3-7 Solar energy variation and burner operation rate with time	
(a) Flow rate of the working fluid = 7 lpm .....	41
(b) Flow rate of the working fluid = 15 lpm .....	42
(c) Flow rate of the working fluid = 20 lpm .....	43
Fig. 3-8 Fuel consumption variation with changing of working fluid flow rate .....	44
Fig. 3-9 Thermal storage tank temperature variation and burner operation rate with time	
(a) Flow rate of hot water = 3 lpm .....	46
(b) Flow rate of hot water = 5 lpm .....	47
(c) Flow rate of hot water = 7 lpm .....	48
Fig. 3-9 Fuel consumption variation with changing of hot water flow rate .....	49

## List of Tables

Table 2-1	Specification of storage tank .....	8
Table 2-2	Condition of main controller .....	24



## Summary

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 performance of the heating system with a burner and solar collectors is influenced by the efficiency. 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.

This study was conducted to analyze operating characteristic of a solar assisted heating system for hot water supply and panel heating of a house. The main part of the system is a thermal storage tank which was designed to store energy that obtained from solar collectors and a burner. The heat exchanger is located on bottom of the storage tank which supplies solar energy to the water in the storage tank and is connected directly to the solar collector. As an additional heat source, a burner was inserted to the top of the storage tank and supplies energy to water in the storage tank through indirect contact of the fire frame and stack flue. And also a small tank for hot water heating was attached at inside of the thermal storage tank. The water in the tank is heated by the water in the thermal storage tank.

In this study, the compact system with various heat source and various function, performance test was conducted. As results, if design temperature of the boiler is increased, the efficiency of system is decreased. When the system uses hot water, system performance is decreased as increasing of the warm water usage. The developed system can be used as main heating equipment to the residential with the panel heating.

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경

전 세계적으로 산업 및 경제가 계속해서 발전하고 있고, 중국 및 인도를 비롯한 인구수가 많은 신흥국가의 성장속도가 급격히 커짐에 따라서 화석연료 사용량이 이들 국가의 성장속도에 비례하여 급격히 증가하고 있다. 또한 이러한 화석연료의 사용에 따른 환경오염 또한 심각해지고 있으며, 이것은 세계적인 이상기후로 이어져 인명 및 재산의 피해가 막대해지고 있다. 이에 삶의 질 향상이라는 측면과 전 세계적으로 안정적인 에너지 공급을 위해서는 새로운 에너지원의 개발이 시급하게 이루어져야 하며, 개발되는 에너지원의 경우도 먼 미래까지 계속 이용 가능하여야 할 것이며, 이것은 현 시대를 살고 있는 세대가 반드시 해결하여야 할 중요한 인류의 패러다임이라 할 수 있다.

우리나라의 경우 화석연료에 대한 에너지 의존도가 매우 큰 편으로서, IEA(International Energy Agency) 발표에 따르면 2006년 한국의 에너지 소비량은 216.5 MTOE로써 세계적으로 11위의 에너지 소비국가에 위치하고 있다고 밝혔다. 이러한 다량의 화석에너지 소비가 나타나고 있으나, 우리나라의 화석에너지 수입량은 최근 몇 년 동안 세계 유전개발 공동 사업 및 천연가스 개발 등 자구적으로 노력한 결과 많이 줄어들고는 있다. 하지만 아직까지도 전체 에너지의 93% - 96%이상을 수입에 의존하고 있는 실정이어서 신재생 에너지 및 대체에너지 개발에 대한 필요성이 더욱 중요하게 대두되고 있다.

하지만 우리나라의 신재생에너지 보급은 당장의 가시적인 이익에만 급급하여 기술개발에는 소극적인 입장을 보여 왔던 것이 사실이다. 하지만 다른 선진 국가에서는 신재생에너지 설비의 보급을 증가시키기 위한 설비

투자 및 연구개발(R&D)분야에 많은 예산을 투입하고 있으며, 그러한 투자에 따라 조금씩 가시적인 성과를 얻어가고 있다.

우리나라에서는 2008년 9월에 지식경제부에서는 시장규모와 성장잠재력이 큰 9대 분야에 대하여 민관이 공동으로 향후 5년간 총 3조원을 투자하여 2012년 까지 선진국수준의 기술력을 확보할 계획임을 발표하였으며, 이후 최근에는 신 정부에서 2030년까지 우리나라 전체에너지의 11%를 신재생에너지로 공급하겠다는 야심찬 계획을 세웠으며, 이를 추진할 정책과 프로그램을 개발하고 있다. 하지만 신재생에너지 분야 중에서 현재까지 정책적, 경제적으로 많은 투자를 통해 기술개발이 진척되고 있는 유럽 등 기술선진국들에 비하여 아직까지 기술수준이 미치지 못하고 있는 부분들이 상당수가 있다.

신재생에너지원 중에서 태양에너지는 양적으로 무궁무진하며, 환경오염을 유발하지 않은 청정에너지이며, 재생에너지로서 변환효율(온수급탕의 경우 약 50%)이 높다는 장점을 갖고 있다. 이에 유럽등지에서는 온수 급탕 시스템과 난방 시스템의 분리된 형태의 기술개발이 이루어져 왔으나 점차 효율적인 측면과 경제적인 측면의 필요성이 중요시되어 현재는 난방 및 온수가 혼합된 형태의 하이브리드 시스템의 개발이 계속 이루어지고 있는 상황으로써, 이미 70년대 중반부터 시제품이 생산되기 시작되었으나 비교적 낮은 효율로 인해 상용화가 지연되었으나 지속적인 기술개발의 필요성에 따라 미래를 염두하고 지속적인 기술개발이 이루어진 결과 90년대 부터는 상용화가 이루어지게 되었고, 최근에는 유럽의 많은 나라에서 온수 및 난방이 혼합된 형태의 하이브리드 시스템의 사용이 비슷해지거나 오히려 많아지고 있는 실정이라 할 수 있겠다.

우리나라는 일사량이 풍부하고 전국적으로 고른 분포를 보이고 있어 태양열이용은 다른 여타 신재생에너지 중에서 대체에너지원으로 가장 쉽게 접근 할 수 있는 에너지원 중에 하나이다. 태양열 분야에서도 다수의

연구와 개발이 이루어지고 있으나, 그러나 이러한 노력에도 불구하고 전체 에너지 중에 태양열이 비율은 매우 낮은 실정이다.

국내에서는 1990년대 중반 이후부터 가정용 태양열 온수기와 중대형 온수급탕 시스템을 중심으로 보급되어 왔으나 국내에 태양열 시스템 이용이 많지 않은 원인은 계절 및 시간의 변화에 그리고 태양고도에 따라 얻을 수 있는 에너지의 양이 매우 가변적이고 에너지의 수요와 공급이 시간적으로 일치하지 않는데서 찾아볼 수 있다. 또한 고가의 시스템인데 반하여 주로 한 계절에만 사용하게 됨으로써 효율이 좋지 못하여 사람들이 필요성에 대해 인식은 하고 있지만 사용을 많이 하지 못하고 있는 실정이다. 또한, 국내 에너지 체제의 비현실적인 측면과 시설비 대비 낮은 효율로 인하여 지속적인 발전이 이루어지지 못하고 있었으나, 최근에는 세계적으로 태양열 이용기술의 개발필요성이 크게 대두됨에 따라 조금씩 발전을 거듭하고 있어 현재에는 온수 급탕에서 난방까지 가능한 혼합형 시스템의 개발이 이루어지고 있다.

## 1.2 연구목적 및 연구동향

태양열시스템은 계절 또는 시간적으로 부하의 불균형 문제로 인하여 시스템에 과열의 문제가 발생 할 수 있다. 중대형 태양열시스템의 경우, 하절기에 급탕 또는 난방부하의 부재 또는 감소로 인한 시스템 과열문제는 보급을 위한 필수요건인 안정성과 신뢰성에 문제를 야기 할 수 있다.

본 연구는 위와 같은 문제점을 해결할 수 있는 방안을 찾고, 현재의 태양열 온수기 시장을 난방까지 확대하기 위한 중간 과정으로써 동계에 보일러를 주 난방기로 사용하는 시스템에 태양열 집열기와 축열조 및 버너 등을 시스템 적으로 구성하여 온수와 급탕이 연속적으로 가능한 시스템을 개발하는 것이 목적이다. 본 연구에서는 시스템의 집적화 및 간략화를 위

하여 주 난방기의 보일러를 태양열 축열조에 일체형으로 삽입하여 하나의 축열조가 주 난방 및 보조난방을 모두 담당하여 콤팩트한 크기로 제작하여 시스템의 공간적인 절약과 효율향상을 도모 하고자 한다.

현재 대부분의 태양열 축열조의 축열 매체로는 물을 이용하고 있으며 이용 부하면에 있어서는 대다수 온수 급탕용으로 사용되고 있었으나, 최근 들어 태양열을 온수 및 난방용 복합 기기에 대한 기술개발이 이루어지기 시작하였다. 기존의 온수 급탕용 축열조의 경우에는 축열조 내부의 물을 상부에서 취출하고 하부에서 환수되는 구조여서 하부에서 유입되는 유체에 의하여 축열조의 유체가 혼합되어 축열조 전체의 온도가 동시에 변화하여 축열조 내부의 온도구배가 종방향으로 성층을 확연하게 이루기가 어려운 형태였다.

축열조에 있어서 축열된 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 축열조내 물의 성층화가 중요한 요인으로 작용하게 된다. 축열조 내의 물의 온도가 축열조 수직높이방향으로 같을 경우는 전체 축열조의 물이 부하측에서 사용가능한 온도로 유지 된다는 것이다. 하지만 부하가 발생하더라도 순간적으로 축열조 내의 물을 모두 사용하는 것이 아니기 때문에 축열조의 온도를 사용가능한 온도로 유지하기 위해서는 축열 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라 다른 보조에너지의 사용도 많아지게 되고 그러한 보조열원의 잦은 사용은 전체적인 시스템의 효율을 낮게 하는 원인으로 작용할 수 있게 된다.

축열조 효율에 관한 연구 Ryu et. al.[1], D. E. Kim et. al.[2] 및 Paek et. al.[3]등은 최적의 축열조건을 구하기 위하여 집열된 고온의 온수가 축열조 내를 순환하며 축열조 전체를 축열시키는데 있어 열교환기의 형태 및 온도 성층화를 위한 환수관의 축열조내의 최적의 위치 등에 대한 연구를 진행하여 비교적 높은 효율의 축열조를 설계하였으며, 이를 적용한 시스템의 성능평가 등을 수행하였다.

또한, Kim et. al.[4][5]은 집열부, 축열부 및 열펌프로 시스템을 구성하고 제어는 온도조절기를 사용하여 축열조의 열을 직접 난방에 사용하는 운전과 열펌프운전의 선택적 제어를 하고 축열조에 열을 저장하는 시퀀스를 제어하는 차온제어기를 사용하여 전체 시스템을 컨트롤 할 수 있게 구성하여 실험한 결과 집열 및 축열운전을 수행시 집열기의 제어변수인 차온 및 편차 최적의 설정이 높은 효율에 집열 및 축열운전을 수행할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 축열조의 온도분포는 축열조 바닥층이 상부층보다 열손실이 조금 크다는 것을 알 수 있었다. Kim et. al.은 연구에서 에너지평형의 계산을 통하여 다른 난방 장치와 경제성을 평가해 본 결과 태양열 열원 하이브리드 시스템의 운전비용은 기타의 다른 난방시스템과 비교하였을 때 태양열 열원 열펌프시스템이 전기히터를 사용하는 경우보다 약 30%정도의 연료비용 감소효과를 가져올 수 있고, 보일러에 대비하여서는 약 90%의 연료비용 감소효과를 가져올 수 있다고 하였다. 하지만 이러한 결과는 소형 용량 시스템을 비교 조건으로 사용하여 나타난 결과로서 시스템의 용량이 커질 경우의 에너지 비용의 절감효과는 대폭 감소할 수 있다는 연구결과가 있다고 하였다.

Park et. al.[6][7]에 따르면 본 연구의 목적과 같은 온수 급탕시스템에 대하여 순환펌프의 온도제어에 대한 시스템의 성능에 대하여 계산한 결과에서 집열기를 사용할 경우와 집열기를 사용하지 않을 경우를 비교했을 때 시스템의 성능향상에 대하여 연구하였다. Han [8]은 온수온도제어에 관하여 시스템의 성능을 평가하였을 때 온수열량이 축열조내로 축열되는 열량과 난방을 위해 방열되는 열량에 비해 상대적으로 작기 때문에 온수사용이 없는 난방전용 시스템과 성능차이는 크지 않다는 결과를 도출하였다. 이는 시뮬레이션의 결과로서 실제적인 실험장치의 구동을 통한 연구가 필요하다.

## 제2장 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 태양열 집열기

본 연구에서의 에너지원인 태양에너지를 얻기 위한 집열기의 형식은 평판형 집열기로서 도관접합된 집열기이다. 집열기는 보통 4인가족이며 주택의 크기가 90m<sup>2</sup>이하 정도의 가정집을 기준으로 생각하였을 때 집열기의 효율에 따라서 어느 정도의 차이는 있으나, 보통 평판형 집열기의 경우 6매에서 최대 10매 정도를 사용하는데, 본 실험에서는 10매(20m<sup>2</sup>)를 사용하였다. 집열기의 열매체로는 겨울철 동파를 방지하기 위해 부동액과 물의 비율을 보통 50:50정도로 혼합하여 사용하고, 기후적인 영향이 많은 곳은 부동액의 비율을 80 - 90%정도 까지도 높여서 사용하는 것이 보편적이거나, 본 실험의 특성상 우선 흑반기에는 운전이 이루어지지 않을 것이라는 전제하에 부동액을 첨가하지 않은 순수한 물을 열매체로 사용하였다. 10매의 집열기는 각각 병렬로 연결하여 설치하였으며, 또한 집열기 설치각도는 위도에 따라 사용할 수 있는 태양에너지 밀도의 차이가 있어 권장되는 설치각도가 다른데 북위 약 32.5도의 위치에 설치하였고 지면과의 설치각도는 위도 권장각도 40 - 45°내외 중 45°각도로 집열기를 설치하였다. 그리고 집열효율을 증대시키는 하나의 방편으로 집열기의 설치 방향을 정남향으로 하였다.

Fig. 2-1은 본 연구의 실험장소인 건물옥상에 설치된 10매의 집열기의 사진이다.

집열기에 집열된 열에너지는 축열조의 열교환기를 거쳐 다시 집열기로 순환되어지는 폐루프 형태를 갖는데, 순환펌프의 작동에 의해 순환되게 된다. 순환펌프는 차온제어(Differential temperature controller)에 의해 작동

을 하는데, 집열기의 고온부와 축열조의 온도차이를 통해서 설정온도에 따라 작동하게 된다.



Fig. 2-1 Picture of solar collectors

### 2.1.2 축열조

본 연구에서 제작한 축열조는 난방용 축열조 내부에 온수 및 급탕용 탱크가 내장된 형태인 Tank in tank형 타입이며, 집열기에서 흡수한 태양 에너지를 축열조에 전달하는 축열용 열교환기로 Tank in coil형 열교환기가 설치되어 있고, 난방송수용 일반형 노즐 1개 부분과 난방환수(Return)용 디스트리뷰터(Distributor)형 노즐 1개 부분으로 구성되어 있으며, 온수 및 급탕 공급과 환수를 위한 노즐이 각각 1개씩으로 이루어져 있다. Fig. 2-2는 본 연구에서 제작한 축열조의 설계도이며, Fig. 2-3은 축열조가 설치된 모습을 나타내는 사진이다.

이때 집열기에서 축열된 태양에너지는 차온제어기를 통하여 축열조로 이동하며, 이때 축열조는 본 연구의 핵심부분으로써 난방수와 온수가 하나의 축열탱크에서 공급되며, 축열조내의 온수탱크는 독립적으로 축열조내에

서 온수분배시스템에 연결되도록 하였다.

본 연구에서 사용한 축열조는 950 ℓ 용량으로서 가정용 태양열 난방 축열조로 많이 사용되고 있는 800 ℓ - 1,500 ℓ 용량에 유사한 크기를 선택하였다. 축열조의 열손실을 줄이기 위해 50 mm 두께의 단열조로 단열을 하였다.

축열조내의 온도 성층화를 위해 중요하게 적용된 기술 중 하나로서 디스트리뷰터(Distributor)인데 종형의 디스트리뷰터를 사용하여 축열조내 난방수 환수시 난방수의 밀도에 따라 최적층으로 분사할 수 있는 노즐을 길이 방향으로 배치되고 있다. 디스트리뷰터의 유입구 관경은 41.6 mm이며 길이는 980 mm이며 종방향으로  $\varnothing$  30 mm 직경의 노즐을 약 100 mm 간격으로 5개를 배치하였다.

본 연구에 사용된 난방 및 온수용 축열조의 제원은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1 Specification of storage tank

	Specifications
Size	$\varnothing$ 910mm x 1620mm(h)
Material	Storage tank : SPHC Heat exchanger : STS 304
Effective volume	950 ℓ
Distributor diameter	$\varnothing$ 41.6 mm (I.D)
Insulation thickness	50 mm ( Poly urethane foam )

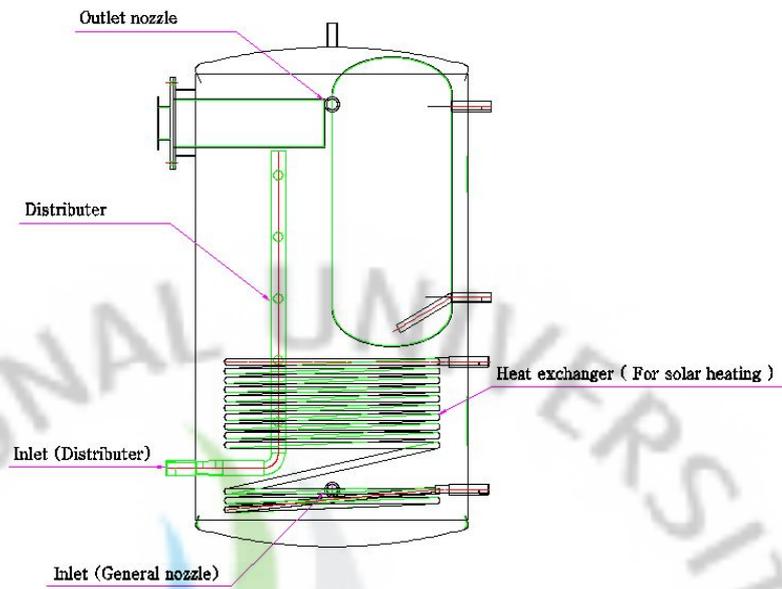


Fig. 2-2 Schematics of a storage tank



Fig. 2-3 Picture of the thermal storage tank

### 2.1.3 보일러

태양열 집열기를 통한 열에너지를 주 에너지원으로 사용하지만, 일사량이 좋지 않아 집열효율이 낮은 날이거나, 혹은 낮은 기온으로 인해 집열효율이 비교적 낮아 축열조의 온도가 최소한의 기준 온도 이하로 떨어질 경우, 아침 또는 저녁시간 같이 샤워의 사용 또는 주방에서 온수의 필요성이 생기는 비교적 짧은 시간에 대하여 난방과 온수를 많이 사용하게 되는데 이러한 시간대에 부하를 보조해주는 태양열 이외의 에너지원이 필요하게 된다. 이에 본 연구에서는 보조 보일러를 사용하였는데, 보일러는 가스 및 기름을 사용할 수 있으나 본 연구에서는 야외 실험시 비교적 안정적으로 사용할 수 있는 기름보일러를 사용하였다. 보조 보일러는 축열조의 상부에 부착된 형태로서 인젝터의 전동기 출력이 17W인 버너를 사용하여 축열조 상부의 물을 직접 데우는 방식이다. Fig. 2-4은 축열조 상부에 설치된 보일러의 모습이며, Fig. 2-6은 설계도면이다.

본 연구에서 사용한 보일러는 일반적으로 시중에서 구입할 수 있는 기름보일러에 장착된 버너를 분리하여 사용하였으며, Fig. 2-5에 나타낸 바와 같이 축열조내에서 축열용 열매체와 열교환을 촉진시키기 위하여 병렬로 다수의 연도를 구성하였으며, 버너의 말단에서 연도를 180° 꺾어서 버너의 입구쪽에 배기가스배출용 연도를 설치하였다.

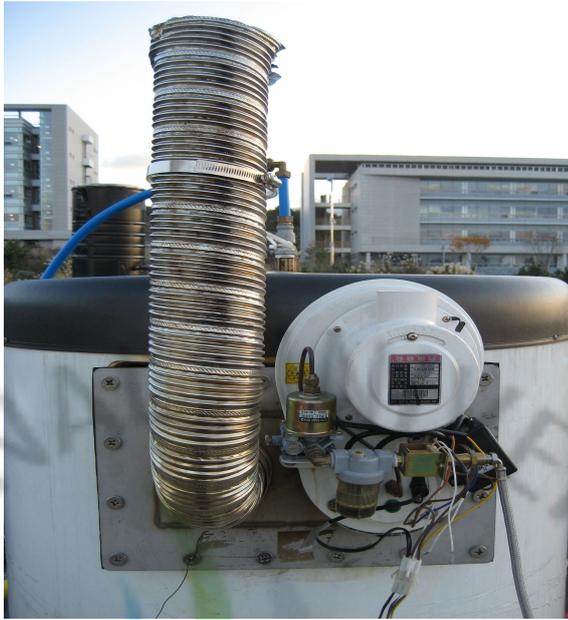


Fig. 2-4 Picture of a burner which was installed on the top of a thermal storage tank



Fig. 2-5 Picture of heat exchange and burner

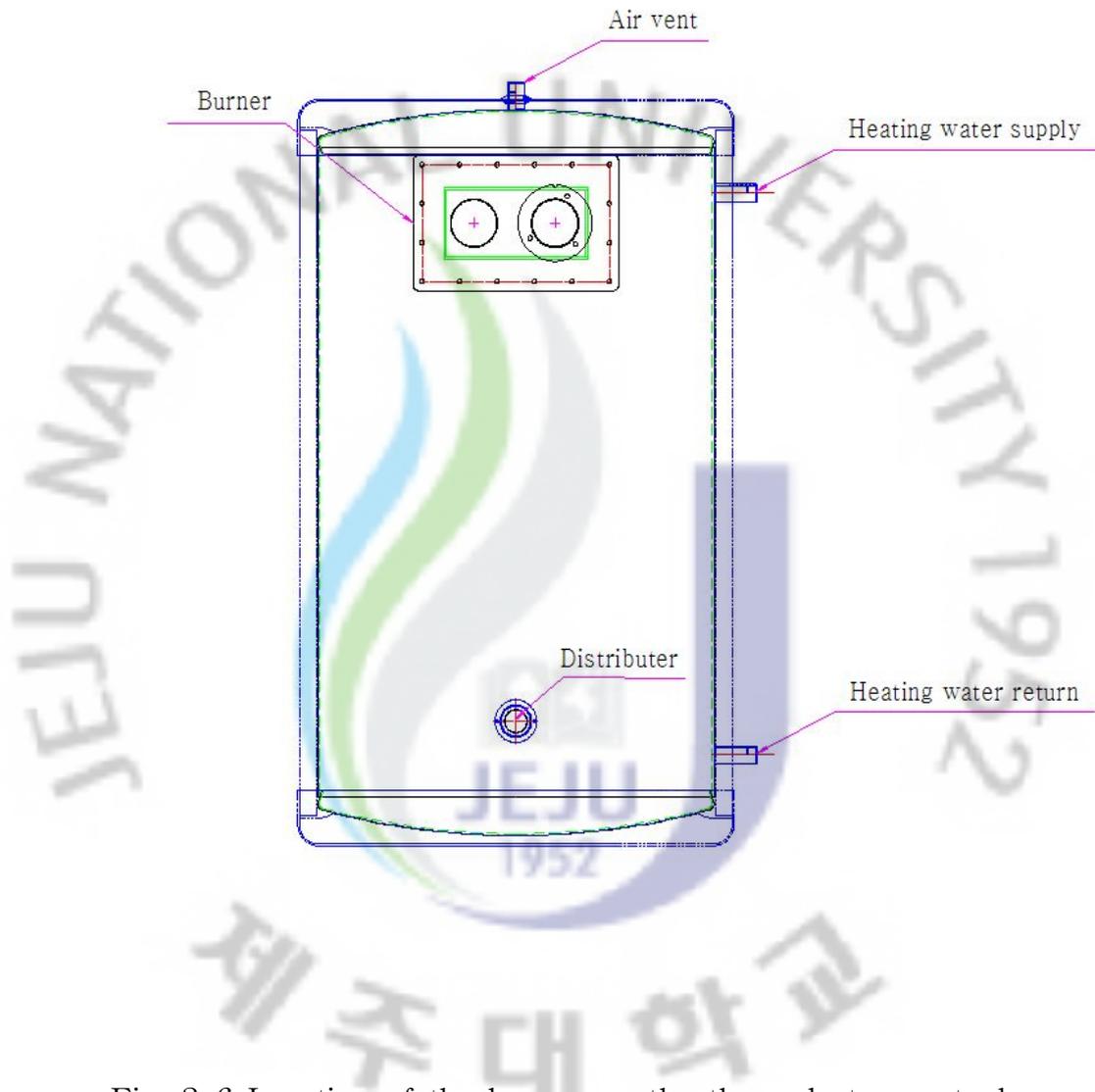


Fig. 2-6 Location of the burner on the thermal storage tank

## 2.1.4 시스템구성

Fig. 2-7은 본 연구의 태양열 및 보일러이용 온수급탕시스템의 설치 및 사용에 대한 개략도이다. 축열조를 중심으로 집열기와 온수부하 및 난방부하가 연결되어 있으며, 축열조는 1,000 ℓ, 집열기는 20 m<sup>2</sup>의 면적에 10매가 설치되었으며, 난방부하는 약 5RT급의 냉각기(Chiller)를 사용하였다.

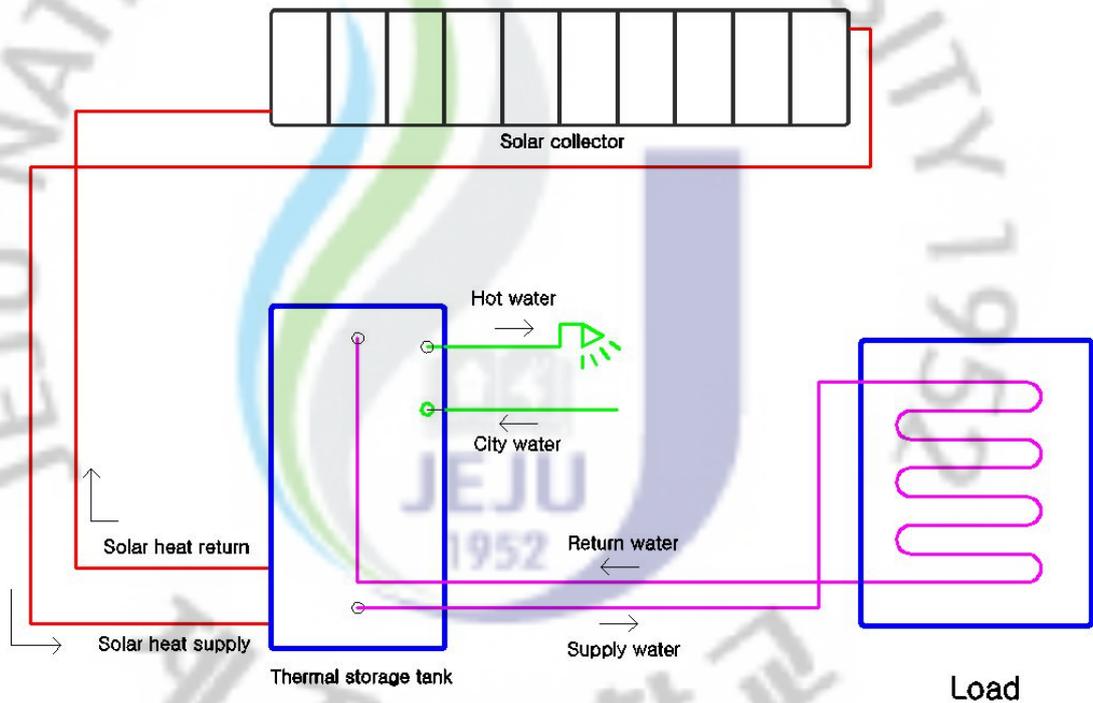


Fig. 2-7 System configuration in a residential house.

## 2.2 측정장치 및 측정방법

본 연구에서 중요한 부분은 얼마정도의 집열기 효율이 생기며, 이렇게

획득된 에너지를 통하여 어느 정도의 난방부하 및 온수 부하를 감당 할 수 있으며, 또한 이는 기존에 사용되고 있는 보조 열원인 기름 및 가스의 사용량을 감당 할 수 있는가가 고려해야 될 사항이라 할 수 있겠다. 따라서 집열기의 열량 및 축열조의 열량 부하에 대한 열량을 각각 구하여 비교하는 것이 매우 중요한 사항이라 할 수 있겠다.

이에 따라 각각의 부분에 대해 유량 및 온도차( $\Delta T$ )가 반드시 측정되어야 한다. 본 연구에서는 집열기내에서 집열되어 축열조내로 순환되며 열교환되므로 이 부분에 유량계(Mass flow meter) 및 열전대(Thermocouple)를 설치하였고, 난방수로 송출되고 다시 환수되는 부분과 저온형 칠러에서 유입되어 다시 송출되는 부분 또한 같은 방식으로 유량계 및 열전대를 설치하였다. Fig. 2-8은 측정에 사용된 질량유량계의 설치모습이다. 측정된 유량은 유량계 외부에 부착된 디지털표시부를 통하여 현장에서 확인할 수 있으며 동시에 자료처리시스템에 전달되어 기록되도록 하였다.



Fig. 2-8 Picture of mass flow meter

실험을 통하여 수집된 데이터는 PC에 연결된 데이터로거로 옮겨지는데 연구에서 사용된 데이터로거로는 Yokogawa사에서 제작된 DR-230제품을 사용하였다.

데이터의 수집은 10초에서 1분정도 사이로 설정을 하였는데, 대부분의 온도변화를 고려하는 실험에 있어서 신뢰도를 높이기 위하여 데이터의 측정 간격을 비교적 짧은 시간에 대하여 필요로 하나 본 연구의 특성상 측정되는 시간의 간격은 측정되는 매체가 물이기 때문에 10초에서 1분정도의 범위 내에서는 온도변화가 그렇게 많지 않을 것으로 생각되어 너무 짧은 시간 간격 설정은 많은 의미를 갖지는 않는다고 생각되어 측정간격을 설정하였고 또한 측정되는 데이터량을 고려하여 온수실험과 난방실험에 따라서 자료수집간격 변화시키면서 측정하였다.

Fig. 2-9은 자료처리시스템의 사진이다.



Fig. 2-9 Picture of data acquisition system

또한 일사량에 따른 집열기 효율 또한 연구에서 중요한 부분 중 하나라 할 수 있겠다. 이에 일사량을 측정하는 일사량계(Albedometer)를 설치하였는데, 설치각도는 위도와 설치 각도에 따라 달라지게 되므로 여기서는 집열기의 설치각도와 같은 45°의 각도로 설치를 하였으며, 측정되는 값은 마이크로정도로써 매우 작은 값이 되어 컨버터를 통해 증폭시켜서 데이터를 수집했다. 여기에서 일사량 데이터도 역시 Fig. 2-9에 나타낸 DR-230에서 수집하였다.



## 2.3 실험방법

### 2.3.1 난방부하

본 연구에서 온수난방기를 실제 주거용 주택에 설치하여 실 부하 상태에서 실험을 수행하여야 보다 신뢰성 있는 연구가 진행되었으나, 경제적, 시간적 및 공간적인 제약이 따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 실제건물의 난방부하를 대체하기 위한 별도의 난방부하용 냉각기를 사용하였다. 저온형 칠러는 약 5RT정도의 용량으로서 일반적인 가정집의 난방부하에 대한 부하 시험은 충분히 수행 할 수 있는 크기이다. 칠러와 본 연구의 난방시스템간의 열전달은 별도의 부하조(Load tank)를 구성하여 부하조에서 칠러와 축열조의 열매체가 상호 혼합되어 직접열교환방식으로 열전달이 이루어지도록 하였다. 이러한 방식은 일반주택의 난방부하와는 약간의 차이는 있으나 축열조의 환수온도를 일정하게 제어할 수 있는 효과적인 방법이다.

실제 주택에서의 난방은 일반적으로 난방공간인 각 실의 룸 컨트롤러(Room controller)에서 실내온도를 설정하는데 여기서는 칠러내의 컨트롤러가 그 역할을 해주게 된다. 본 연구에서 부하변동을 위해서 부하조의 온도를 칠러에서 순환되는 물의 온도를 변화시키며 실험을 하였다. 본 연구에서 집열기를 통하여 열이 저장된 축열조에서 열매체가 송출되어 부하조로 이송되며, 부하조에서 다시 축열조로 다시 환수될 때 열매체의 온도인 부하조의 설정온도를 칠러를 통해서 제어하여 일정하게 유지한다.

본 연구에서 실험조건으로 난방부하를 변경시키기 위해서 첫 번째로 고려한 사항은 열매체의 유량변화이다. 난방부하는 순환하는 열매체의 유량의 변화에 따라서 축열된 에너지의 사용이 달라지므로 유량변화를 7 lpm, 15 lpm 및 20 lpm 으로 변경하면서 실험하였다. 두 번째로 고려한 사항은 축열조 상부에서 부하측으로 공급되는 열매체가 부하조에서 축열

조로 환수될 때 환수온도의 변경에 따른 성능실험을 수행하였다. 이는 공급되는 난방수의 온도와 환수되는 온도와 차이가 적을수록 축열조의 온도 성층화 및 에너지 효율에 영향을 많이 주는 사항이기 때문이다. 본 연구에서 환수온도는 각각 40℃와 30℃로 설정하여 실험하였다.

### 2.3.2 온수부하

온수부하는 난방부하가 폐루프(Closed loop) 형태에서 순환되는 것과 달리 필요한 온수를 사용하면 사용된 온수는 하수의 형태로 건물에서 외부로 배출되어 시스템에 대하여는 부하로써 사용된 것이고, 지속적인 온수부하를 공급하기 위해서는 다시 차가운 시수를 시스템에 급수를 하여 주어야 하는 일종의 개방형루프(Open loop) 형태를 갖는다.

본 연구에서는 온수부하를 결정하는데 있어서 일반적으로 온수사용은 샤워를 한다거나 설거지 등과 같이 냉방이나 난방 부하와 같이 오랜 시간 지속적으로 부하가 필요한 것이 아니라 비교적 짧은 시간 내에 사용된다. 점을 고려하여 온수 부하의 사용패턴을 10분에서 15분 정도의 시간동안 일정량을 사용한다는 전제하에 부하를 결정하였다. 또한 여기에서 온수로 사용되는 양만큼의 물은 온수탱크의 급수노즐을 통해 시수(City water)가 자동적으로 급수되는 형태로 구성하였다.

또한 온수의 사용시간은 일반적인 주거용 가정에서는 낮 시간대에 온수 및 난방의 사용이 대부분 없으며, 일사량이 적어지는 저녁시간인 18시 이후에 설정온도 이후에 따라 온수운전이 시작되도록 실험하였다.

### 2.3.3 보일러설정온도

난방부하 및 온수부하에 있어서 축열된 에너지가 일사에너지에 따라 변하므로 부하의 온도에 따라 보일러의 작동을 제어하였다. 보일러의 작동은 축열조의 온도를 40℃, 50℃, 55℃ 및 60℃로 변화시켰으며, 축열조의

축열온도가 기준이하이면 보일러가 운전되도록 하였다. 이것은 집열기를 통하여 축열된 온도가 얼마냐에 따라서 보조에너지원(본 연구에서는 보일러)의 사용시간이 결정되는 중요한 사항이기 때문이다.

보일러의 작동온도와 시스템의 난방부하, 축열조의 온도 측정위치 등을 나타낸 Fig. 2-10, 집열기의 차온제어기 등의 각 제어장치는 Fig. 2-11와 같이 하나의 제어기를 통하여 구현 될 수 있도록 구성하였으며, Fig. 2-12은 통합제어기의 사진이다.

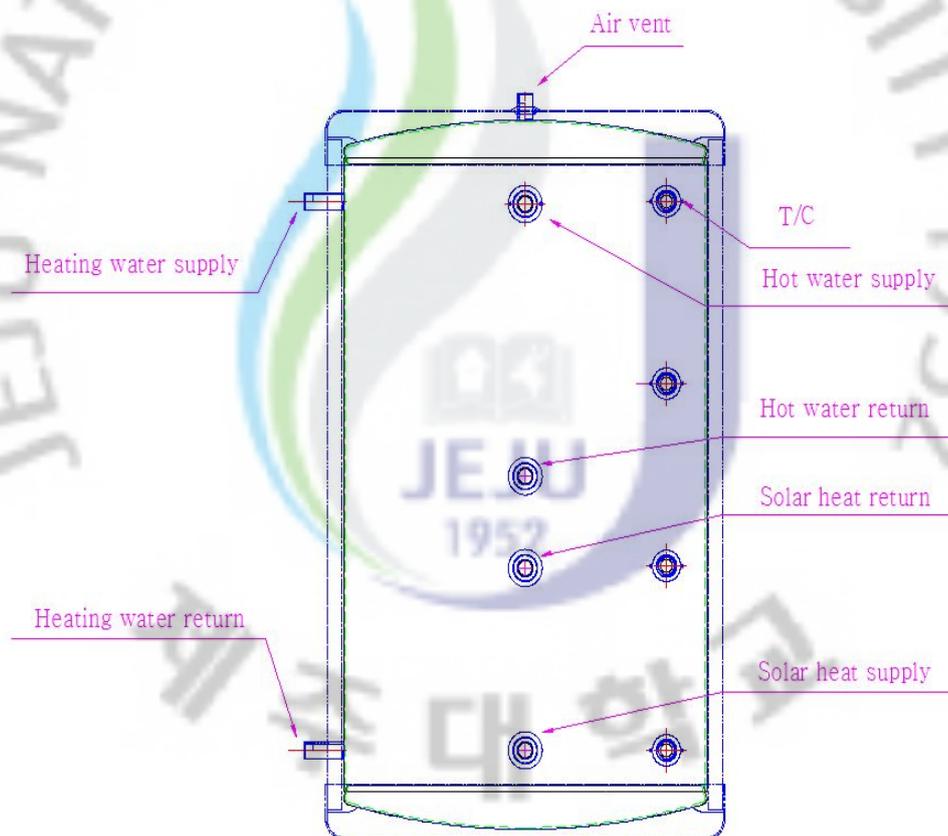


Fig. 2-10 Temperature measuring point in the thermal storage tank

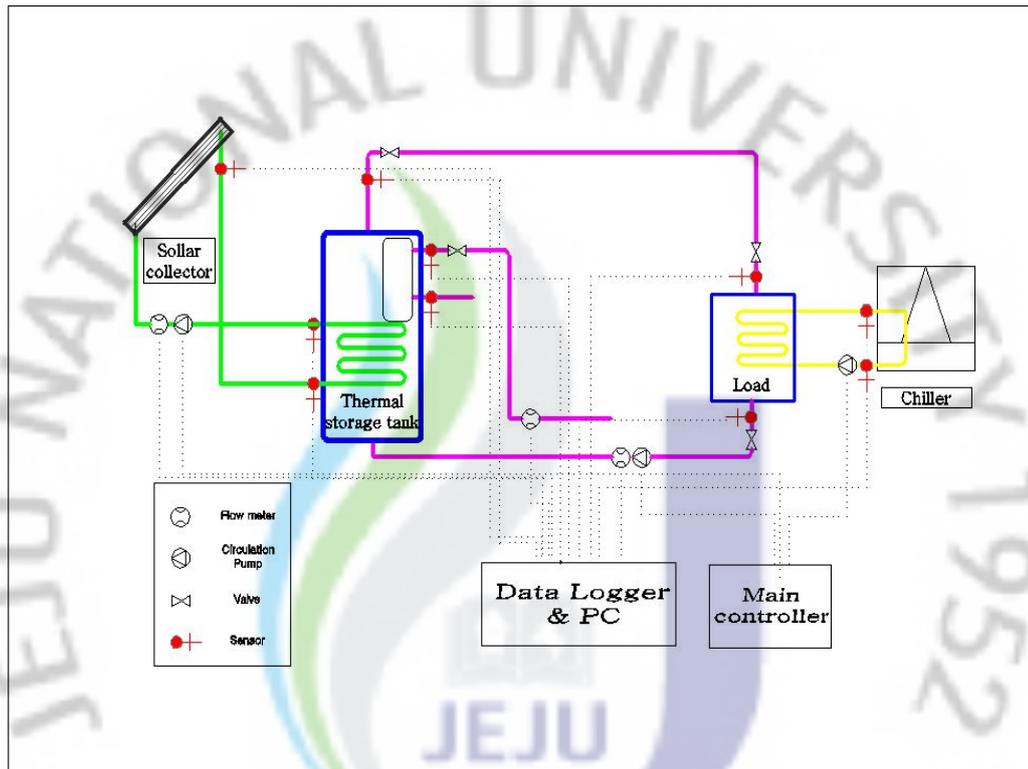


Fig 2-11 Schematics of control loop and temperature measuring point in the system for the system control



Fig. 2-12 Picture of system controller

## 2.4 실험조건

본 연구의 실험조건은 Fig. 2-11에 나타낸 바와 같은 시스템의 제어기를 통하여 제어하였다. 실험조건은 집열부분과 축열조의 난방부하를 위한 부분 그리고 온수부하를 위한 부분으로 구분하여 설정하였다.

설정된 실험조건은 본 연구의 온수난방시스템의 각 지점에서 측정된 온도를 통하여 주 제어기(Main controller)에 의하여 시스템이 제어되며, 각 위치에서의 제어용 온도측정은 비교적 신뢰도가 높은 축온저항센서인 RTD(Resistance temperature detector)를 사용하였다.

실험조건 중에서 축열운전에 대한 시스템 제어는 본 연구에서 중요한 부분으로써 차온제어를 통해 제어가 이루어지는데 집열기와 축열조에서 각 부분에 대해 온도차에 따라 집열기 순환펌프의 ON-OFF를 제어하게 된다.

실험조건 중 보일러의 작동온도는 설정온도와 축열조의 열매체의 온도 차이(Difference temperature)에 따라서 컨트롤되게 된다. 설정된 제어 내용 및 설정 온도 등은 Table 2-2에서 나타낸바와 같다.



Fig. 2-13 Picture of system controller and chiller controller

Table 2-2 Condition of main controller

		Set point	Mode
Boiler setting temp.		40℃, 50℃, 55℃, 60℃	B-1
Collector pump	Low temp. limit	30℃	P-1
	Temp. diff.(cut-on) between collector and thermal storage tank	5℃	P-2
	cut-off temp. diff.	2℃	P-3
Over heating limit temp.		150℃	P-4
Operating time set in manual operation		10분	P-5
Temp. for anti-freezing		5℃	P-6
Reference Temp.		0℃	P-7

## 제3장 결과 및 고찰

### 3.1 기상자료

본 연구의 태양열 및 보일러이용 온수난방시스템의 경우에 있어서 시스템의 성능은 외기상태에 따라서 크게 변화하며, 특히 일사량에 가장 큰 영향을 받는다. Fig. 3-1은 특정날인 2008년 10월 11일 저녁시간부터 시작하여 14일 저녁까지 측정된 일사량으로써 주간 시간대에는 일사량이  $500 \text{ W/m}^2$  -  $800 \text{ W/m}^2$ 까지 올라가는데 또한 일사량은 한낮을 기준으로 점점 증가하다가 감소되는 전형적인 패턴을 보이고 있다. 오랜 시간을 기준으로 측정을 하였을 때 보다 좋은 실험이 되겠으나, 이 정도의 에너지밀도에서는 본 연구를 수행해나가는 데 있어 문제가 없을 것으로 판단하였으며, 본 연구에서 태양열 집열기의 매수를 비교적 여유 있게 설치하여 일사량의 차이에 따른 축열량의 변화를 최소화 시키고자 노력하였다. 10월 12일의 일사량은 높고 시간별로 큰 차이를 보이지 않고 있으나 12일의 자료는 전체적인 평균일사량은 작으나 순간적으로 높은 강도를 나타내는 자료가 보인다. 이러한 자료를 살펴보면 12일은 구름이 있는 약간 흐린날로 볼 수 있으며, 구름 사이로 햇살이 비칠 경우에 강도가 짧은 시간동안 커다는 것을 알수있다. 따라서 이러한 일사량 자료만으로도 그날의 구름량을 어느 정도 판단할 수 있는 근거가 될 수 있다.

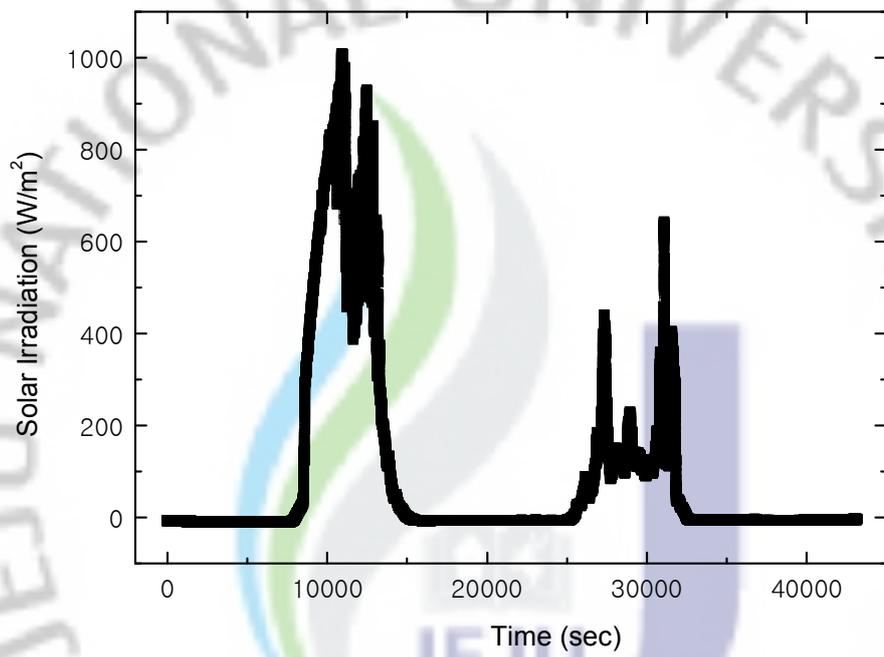


Fig 3-1 Irradiation intensity of the solar collector

### 3.2 축열조의 열손실

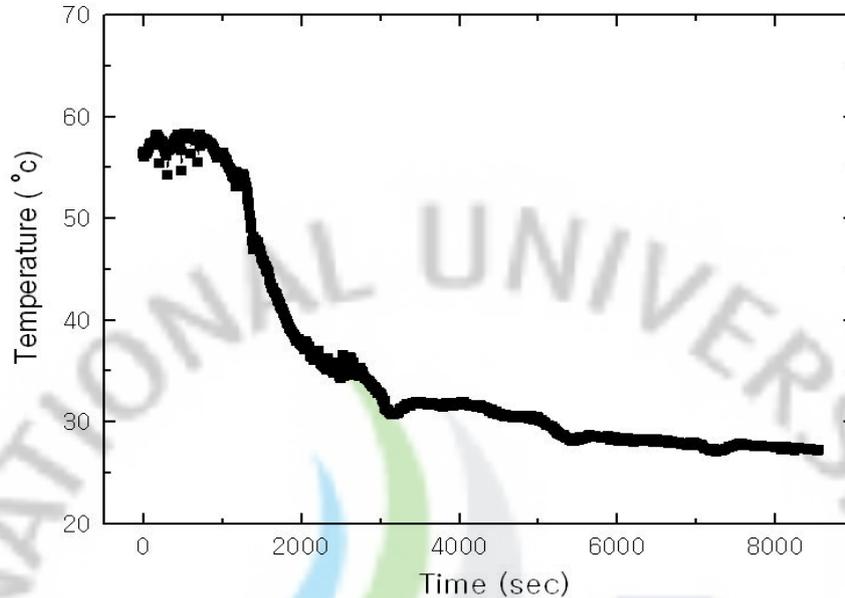


Fig. 3-2 Heat loss of the thermal storage tank at natural convection

축열조의 성능을 평가하는데 있어서, 축열된 열에너지가 시간이 지남에 따라 얼마정도의 에너지 손실이 생기어지는는 본 연구에서 중요하게 고려되어야 할 사항이다. 일사되는 에너지에 의해 축열된 열에너지가 오랜 시간 고온으로 유지된다면, 시스템의 효율을 향상시키는데 도움을 줄 수 있지만, 그렇지 않은 경우는 보조열원의 사용이 잦아지게 되어 전체적인 시스템의 효율을 저하시키게 된다.

자연방열 즉, 축열된 에너지가 외부열손실로 인하여 온도가 감소하는 것은 Fig 3-2에 타나낸 바와 같이 55°C 정도까지 축열된 후 외기온도와의 차이에 의해 처음에는 비교적 빠른 속도로 에너지 손실을 이루다가 외기온도와 비슷해짐에 따라 완만하게 열손실이 일어나게 된다. 전체적으로 외기온도까지 축열조내의 열매체의 온도가 떨어지는 시간은 약 5시간이 소요되어 일반적으로 난방이 시작되는 시간을 오후 7시로 보았을 때 태양이

지는 6시이후 약 1시간가량의 시간 동안에 45℃ 까지 약 18 %정도 감소하는 것으로 나타났다. 이때 열손실은 축열조에 버너와 연통을 설치하는 부분에 우레탄 단열재를 충전하지 못하였기 때문으로 사료되며, 본 결과로부터 현재 설치된 축열조는 버너의 설치입구의 단열재 충전 등 몇 가지 개선요소를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig 3-3은 Fig. 3-2의 자연방열과 달리 무부하 상태에서 강제대류를 통하여 열전달 실험을 수행하였다. 이때 순환하는 열매체의 유량은 15 lpm 으로 설정하였으며, 자연방열의 경우보다 아주 빠른 시간내에 축열조의 열매체의 온도가 감소하는 것을 알 수 있다. 일사를 통하여 집열한 축열조의 온도가 자연방열과 같은 약 55℃의 경우에 있어서 강제대류의 경우에는 약 1시간 30분정도에 축열조의 열매체의 온도가 외기온도와 같은 약 20℃에 도달하였다는 것을 알 수 있다.

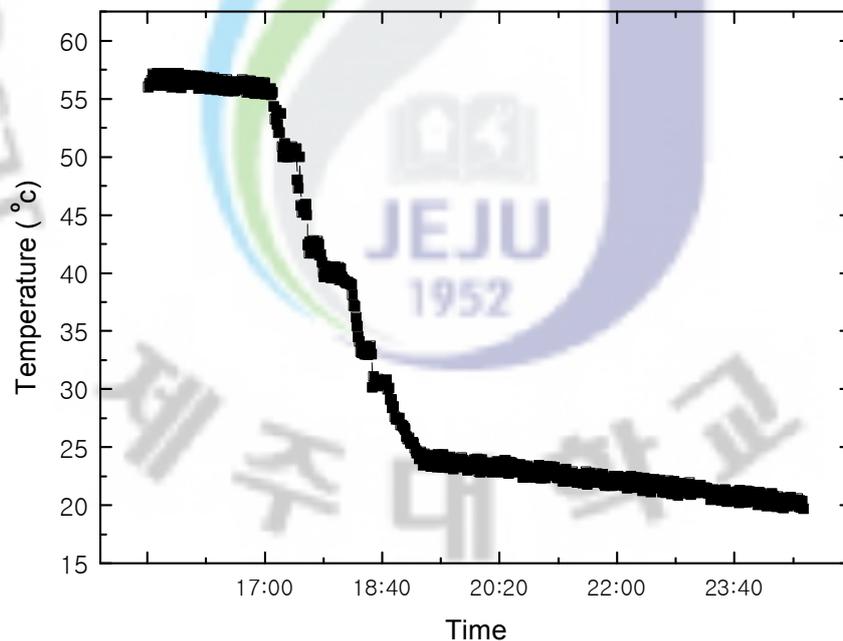


Fig. 3-3 Heat loss of the thermal storage tank at forced convection

### 3.3 축열조와 보일러의 성능평가

태양이 진 후 일사가 없는 저녁시간의 경우에 있어서 축열조 내의 열매체의 온도는 시간이 지남에 따라서 떨어지게 되는데, 온도가 너무 낮아지게 되면 필요한 부하를 충족하기 위해서 보조열원의 사용이 많아지게 되어 시스템의 전체성능이 낮아질 수 있다.

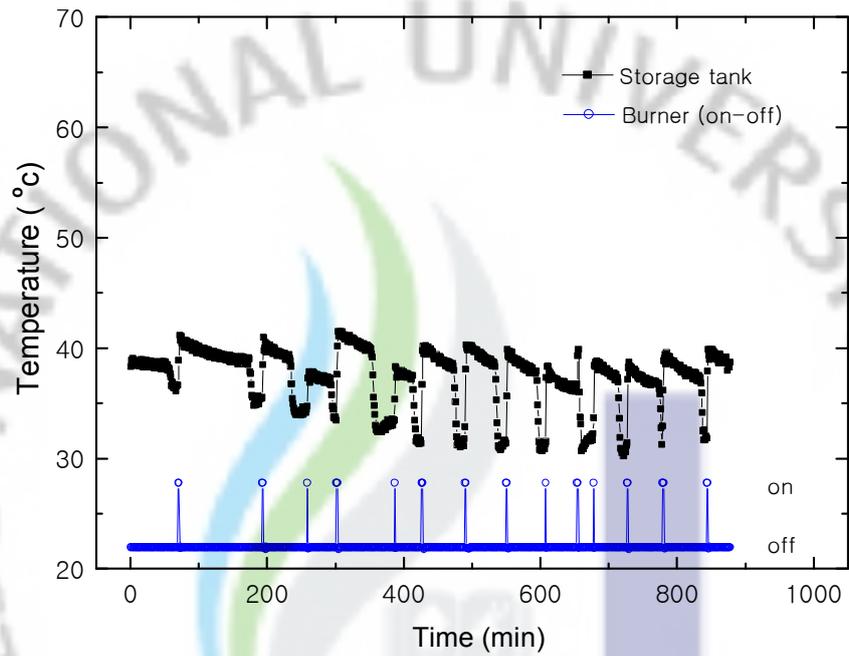
보조열원인 보일러의 성능은 버너의 작동상한온도를 어떻게 설정하느냐에 따라서 크게 달라 질 것이다. 따라서 본 연구에서는 보조보일러의 작동상한온도를 40℃, 50℃ 및 60℃로 변화시키면서 전체 시스템의 성능을 평가하였다. 버너의 작동시작온도는 축열조의 열매체의 온도와 작동상한온도와이 차이가 4℃이 이상이 되었을 때 버너가 작동하도록 하였다. 이때 부하측으로 공급되는 열매체의 유량은 20 lpm으로 일정하게 고정하고, 또한 부하측의 부하조를 거쳐 축열조내로 다시 환수되는 물의 온도는 30℃로 일정하게 유지하였다. 이때 실험결과는 Fig. 3-4(a), (b) 및 (c)에 나타내었으며, 버너의 작동상한온도의 설정에 따라서 작동되는 횟수가 달라지며, 또한 버너의 연료소비량이 설정온도에 따라 급격하게 변화하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3-4(a)의 경우는 버너의 작동상한온도를 40℃로하고 부하측의 환수되는 열매체의 온도를 30℃, 유량을 20 lpm으로 하였을 경우이며, 버너의 작동상한온도를 40℃로 하였기에 40℃에서 버너가 정지하고 이후 난방열을 부하측에 공급하여 축열조의 온도가 36℃가 되었을 경우에 다시 버너가 작동한다. 이때 축열조의 열매체의 온도는 버너의 가동과 더불어 열매체의 순환펌프가 작동하여 부하조내의 30℃의 열매체가 축열조에 유입된다. 이때 축열조의 온도는 36℃에서 30℃까지 점차적으로 감소하다가 버너의 열전달이 증가하여 축열조의 대표온도 측정지점의 온도가 40℃가 되면 운전을 정지하여 같은 동작을 반복하게 된다.

이때 각 경우에 있어서 연료소비량을 살펴보면 Fig. 3-5에 나타낸 바와

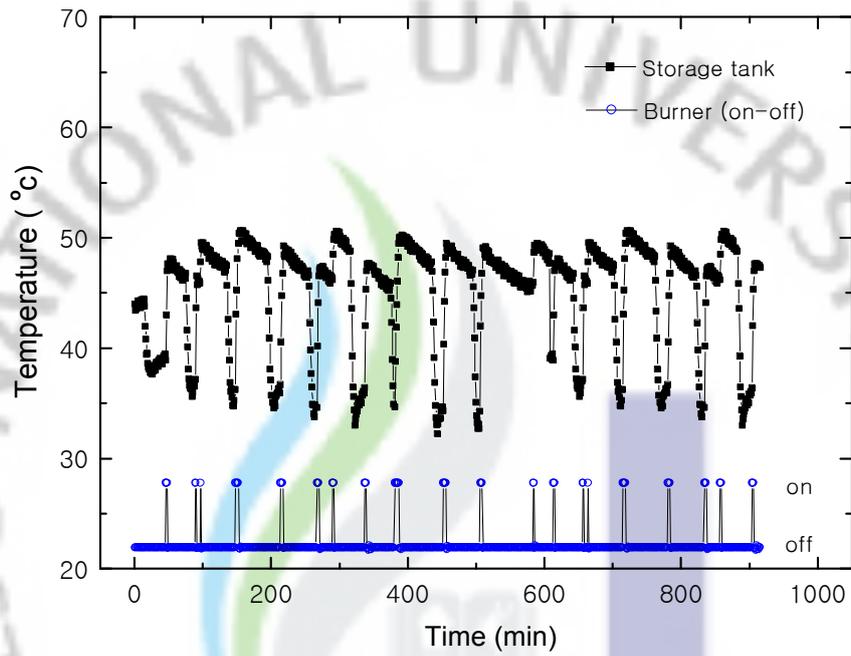
같이 실험에 있어서 버너작동온도 40℃으로 하였을 때는 연료소모가 0.9 liter 정도였으나 버너작동온도 50℃으로 설정하였을 때는 1.6 liter로 40℃의 경우보다 약 77%로 증가하였으며, 60℃일 때는 2.9 liter를 소모하여 50℃의 경우에 비하여 약 81% 증가하였다. 따라서 보일러의 작동시작 설정온도가 높을수록 연료소비량은 더욱 급격하게 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 본 실험에서 사용된 보일러에서 난방용 등유의 순발열량 8,200 kcal/ℓ 이고, 보일러 효율이 약 87 % 정도 이므로 연료소모량에 대해 살펴보면 보일러 설정온도를 40℃로 하였을 때는 보일러는 약 6,472 kcal/day정도의 에너지가 사용되었다는 것을 알 수 있었고, 50℃일 때와 60℃일 때는 각각 11,506 kcal/day, 20,855 kcal/day의 에너지가 사용되었음을 알 수 있었다. 여기서 연료소비량은 실험시간동안 소모된 총 연료량으로써 적산소모량을 측정하였다. 따라서 연료소비량을 기준으로 보았을 때 버너의 작동시작 설정온도가 높을수록 시스템의 효율이 감소한다. 이것은 난방부하만을 고려한 것으로써, 온수는 사용하지 않는다는 조건에서의 결과이다.

보조보일러가 작동하고 온도가 상승하는데 시간이 약간 지연되는데 이는 버너의 용량과, 축열조의 크기에 따라 축열조내의 모든 열매체의 온도를 올리는데 다소 시간이 지연된다고 할 수 있다. 따라서 이 시간은 열매체의 열용량에 따라서 달라진다고 할 수 있다. 하지만 이렇게 축열조의 열매체의 온도상승에 소요되는 시간은 대체적으로 본 연구의 신뢰도 측면에서는 차지하는 비중이 작다고 생각된다.



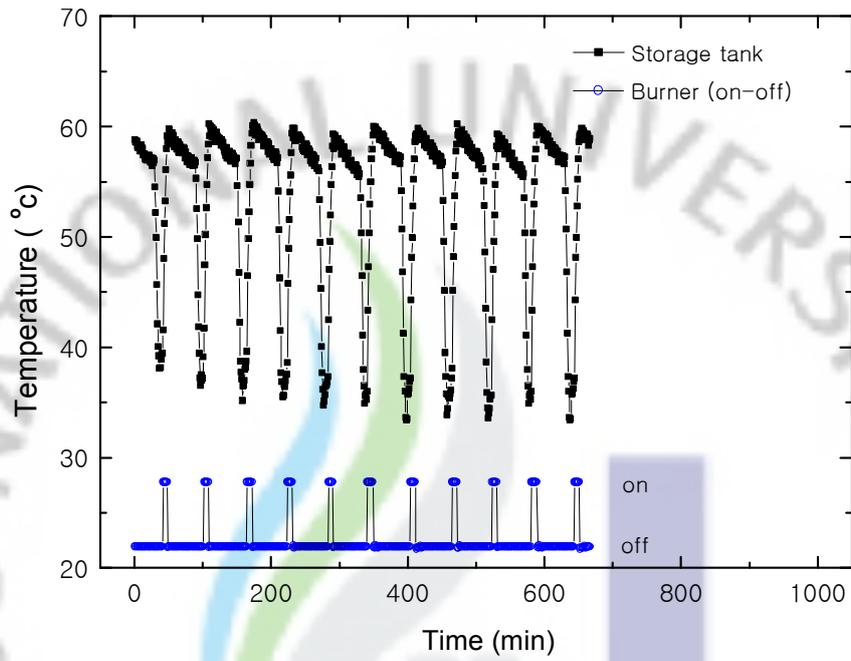
(a) Burner limit setting temperature = 40°C

Fig. 3-4 Thermal storage temperature variation with 30°C return water temperature and 20 lpm flow rate



(b) Burner limit setting temperature = 50°C

Fig. 3-4 Thermal storage temperature variation with 30°C return water temperature and 20 lpm flow rate



(c) Burner limit setting temperature = 60°C

Fig. 3-4 Thermal storage temperature variation with 30°C return water temperature and 20 lpm flow rate

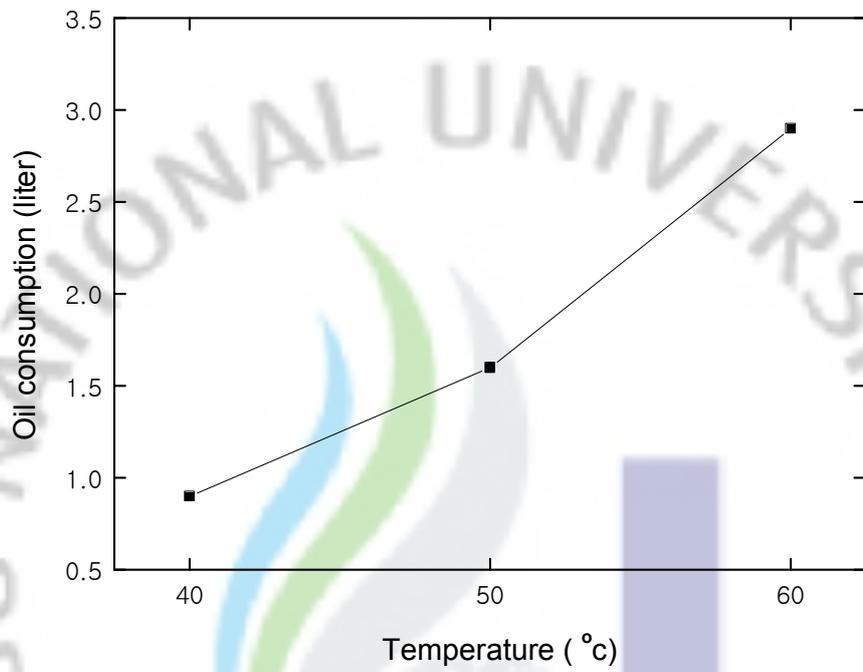


Fig. 3-5 Fuel consumption variation with changing of burner limit setting temperature

### 3.4 난방부하와 보일러의 설정온도의 관계

본 절에서는 하루동안 난방부하를 간헐적으로 부가하였을 때 시스템의 성능을 평가하였다. 실험조건은 앞절 3.3에서의 실험조건과 같은 조건이나 난방부하를 임의의 시간동안 부여하는 것으로 하여 간헐난방에 대한 성능 평가를 하였다.

본 실험에서 부가한 난방부하는 낮시간 동안에는 2시간 간격을 두고 부하를 주었으며, 난방 사용이 많아지는 저녁 9시 이후에는 1시간 간격으로 부하를 부가 하였다. 난방부하는 일정시간 간격에 대하여 비교적 짧은 시간에 동작되었는데, 실질적인 주거용 건물의 난방은 설정온도에 따라 온제어에 따라 작동을 하므로 비교적 짧은 시간동안 부하가 작동하게 되어 실제와 유사한 상황에 대하여 실험을 수행하였다. 여기서 버너는 앞에서와 마찬가지로 설정온도차 이상이 되면 작동하도록 하였다.

Fig. 3-6 (a) 그래프는 실험조건을 버너 작동상한온도를 40℃로 하였을 경우에 대한 결과이고, (b)는 50℃로 하였을 경우이며, 세 번째는 실험조건을 60℃로 하였을 경우이다.

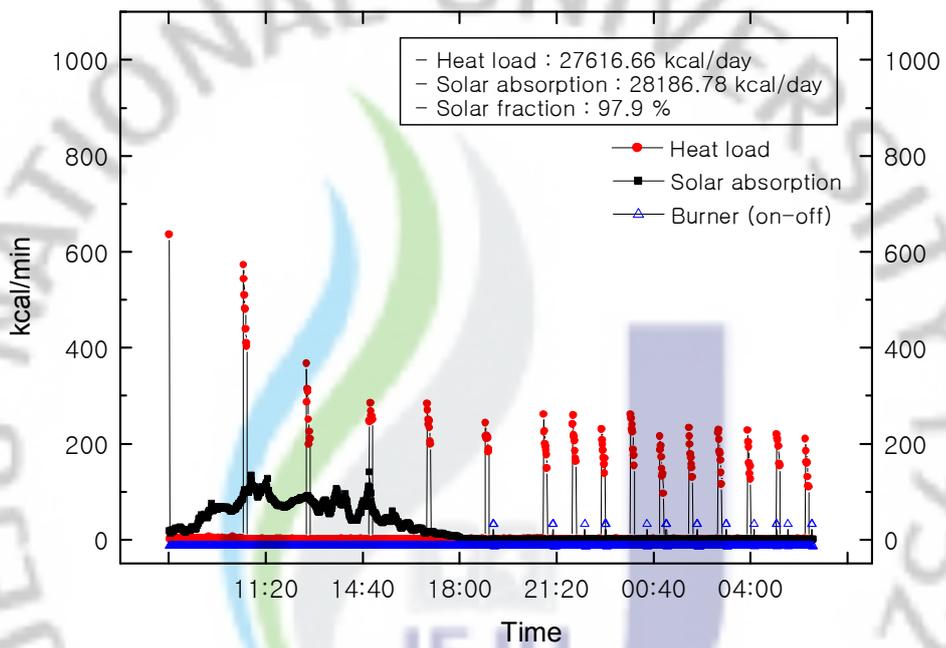
버너는 일사량이 많은 시간대인 낮 시간대에는 거의 작동하지 않지만 부하가 많은 저녁 시간대에는 난방부하를 동작하는 시간과 거의 일치하게 동작을 하는 것을 알 수 있다. 우선 첫 번째 Fig. 3-6 (a)를 살펴보면, 실험이 진행되는 동안 부가된 난방부하는 총 27,616 kcal/min이며, 태양에너지를 통해 얻은 에너지는 28,186 kcal/min으로써 단순한 산술적인 부분에서는 태양열만으로도 충분한 난방열을 공급할 수 있을 것으로 판단되나, 실제적으로는 시스템의 작동시 발생하는 열손실 및 순간적인 과부하 등 여러 가지 부가요인으로 인하여 실제적으로는 보조열원인 버너의 작동을 동반하게 된다.

Fig. 3-6 (a)에서 낮에는 2시간 간격으로 그리고 밤에는 1시간 간격으로 피크치를 나타내는 그래프는 본 시스템이 부하측에 공급한 열량이며,

연결되는 실선으로 표시된 부분은 태양으로부터 획득한 일사에너지량을 나타낸다. 그리고 이정한 높이의 피크를 나타내는 그래프는 실제적인 크기가 없이 단지 버너의 작동유무를 나타내는 시그널이다

Fig. 3-6 (b)는 버너작동상한온도와 난방부하에서 축열조로 환수되는 열매체의 온도와의 차이가 더욱 클 경우의 실험으로서 첫 번째의 실험과 비슷한 결과를 얻을 수 있었는데, 시스템의 산술적인 시스템의 효율이 84.5 %로 많이 떨어진 것을 알 수 있다. 세 번째 Fig. 3-6 (c)의 실험 역시 똑같은 결과를 보여주는데 여기서는 효율이 59.5 %로 더욱 감소하였다.

각 실험에 있어서 일사량은 모두 같지 않기에 보다 정확한 의미를 가질 수 없지만 (b)의 경우와 (c)의 경우는 일사량의 시간에 따른 변화 그래프가 거의 유사하며 총 일사에너지량도 약 19 %정도의 차이를 나타내고 있지만 태양에너지 이용효율은 약 30 %정도의 차이를 나타내어 버너의 작동상한온도가 낮을수록 태양열 이용효율이 높아짐을 상대적으로 평가할 수 있다.



(a) Burner limit setting temperature = 40°C

Fig. 3-6 Heat load and solar energy variation with time



(b) Burner limit setting temperature = 50°C

Fig. 3-6 Heat load and solar energy variation with time



(c) Burner limit setting temperature = 60°C

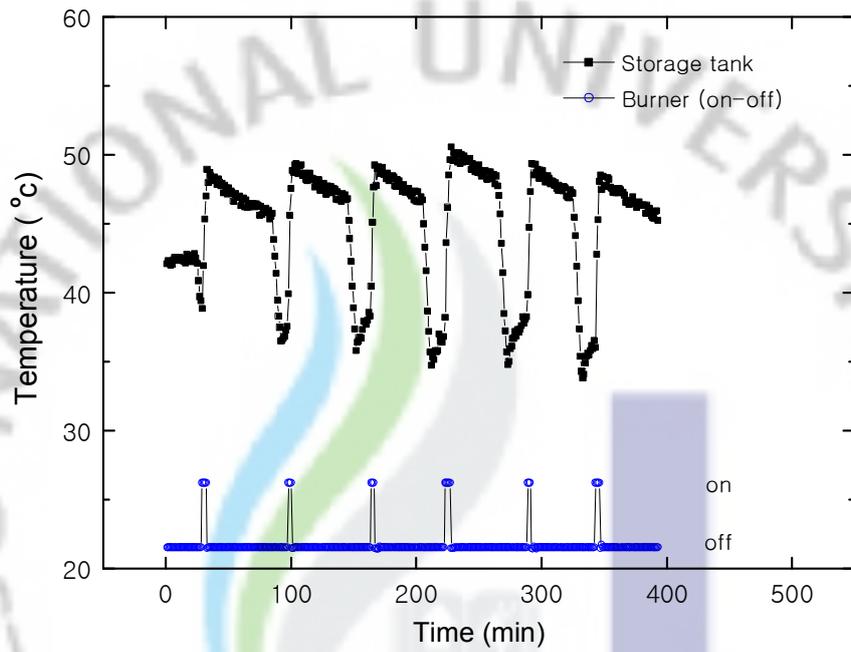
Fig. 3-6 Heat load and solar energy variation with time

### 3.5 축열조 열매체의 유량변화에 따른 성능평가

본 절에서는 난방부하에 공급되는 축열조에서 나오는 열매체의 유량변화가 시스템성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 실험조건으로는 버너의 작동상한온도와 열매체의 환수온도를 각각 50℃ 및 30℃로 고정하고, 열매체의 유량을 7 lpm, 15 lpm 및 20 lpm으로 각각 변화시켰을 경우 버너의 작동 횟수 및 에너지 소비량을 비교해 보았다.

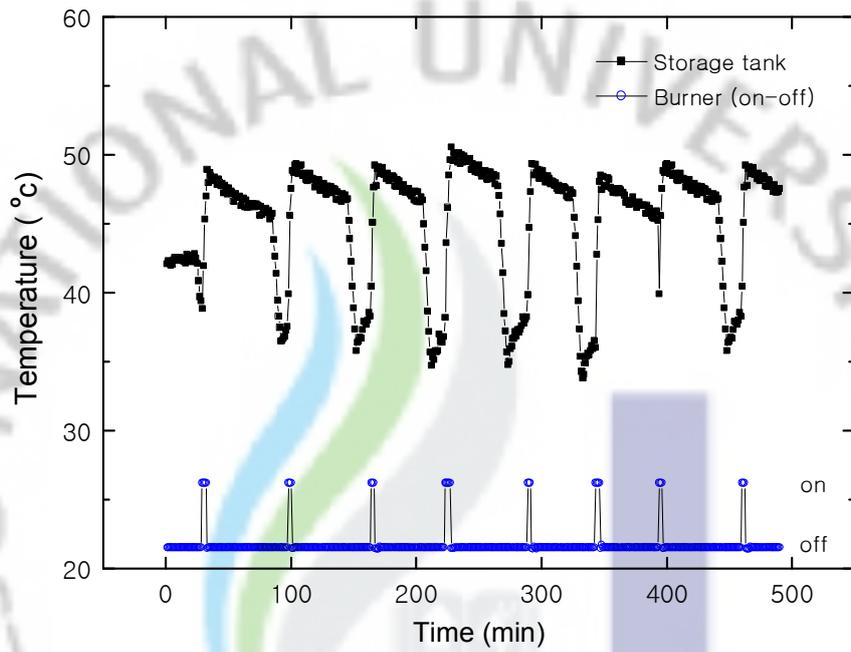
Fig. 3-7에 나타난 바와 같이 열매체의 유량변화에 따라 버너의 작동 횟수가 확연한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. Fig. 3-7 (a)의 유량이 7 lpm일 경우와 (c)의 20 lpm의 경우보다 확연하게 버너의 작동이 줄어들었음을 알 수 있다. 이것은 Fig. 3-8의 연료소모량을 통해서도 확인할 수 있다.

본 실험에서 유량에 따른 연료소모량은 7 lpm, 15 lpm 및 20 lpm일 때 각각 0.7L, 1.0L 및 1.6L로써 본 실험에서 사용된 보일러에서 난방용 등유의 순발열량 8,200 kcal/ℓ 이고, 보일러 효율이 약 87 % 정도 이므로 연료소모량에 대해 살펴보면 5,033 kcal/day, 7,191 kcal/day 및 11,506 kcal/day의 에너지가 사용되었음을 알 수 있었다. 에너지사용을 비교해보면 15 lpm일 때는 7 lpm일 때 보다 약 42.9 %정도 증가하였으나 20 lpm일 때는 7 lpm일 때보다 128 % 가 증가하였음을 알 수 있었다.



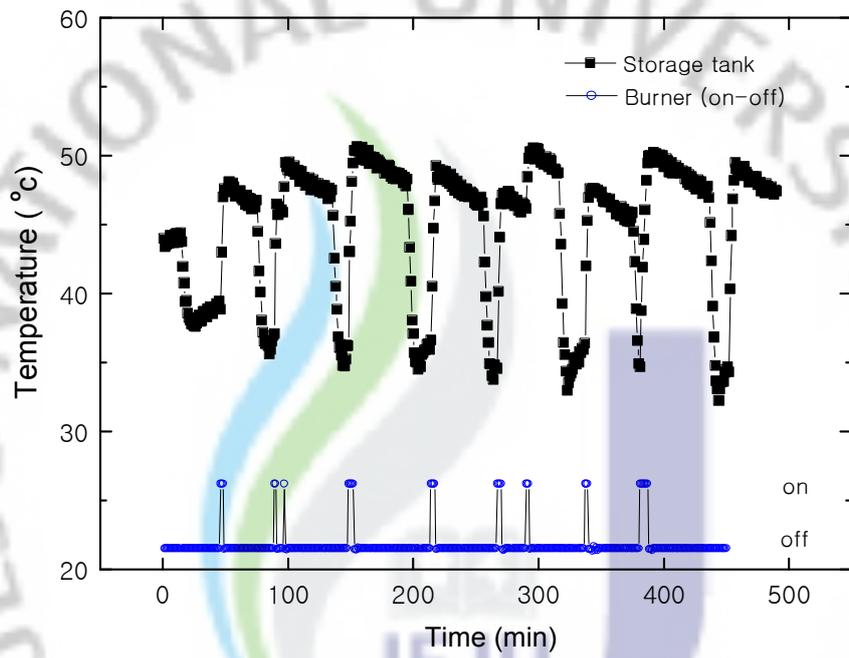
(a) Flow rate of the working fluid = 7 lpm

Fig. 3-6 Solar energy variation and burner operation rate with time



(b) Flow rate of the working fluid = 15 lpm

Fig. 3-6 Solar energy variation and burner operation rate with time



(c) Flow rate of the working fluid = 20 lpm

Fig. 3-6 Solar energy variation and burner operation rate with time

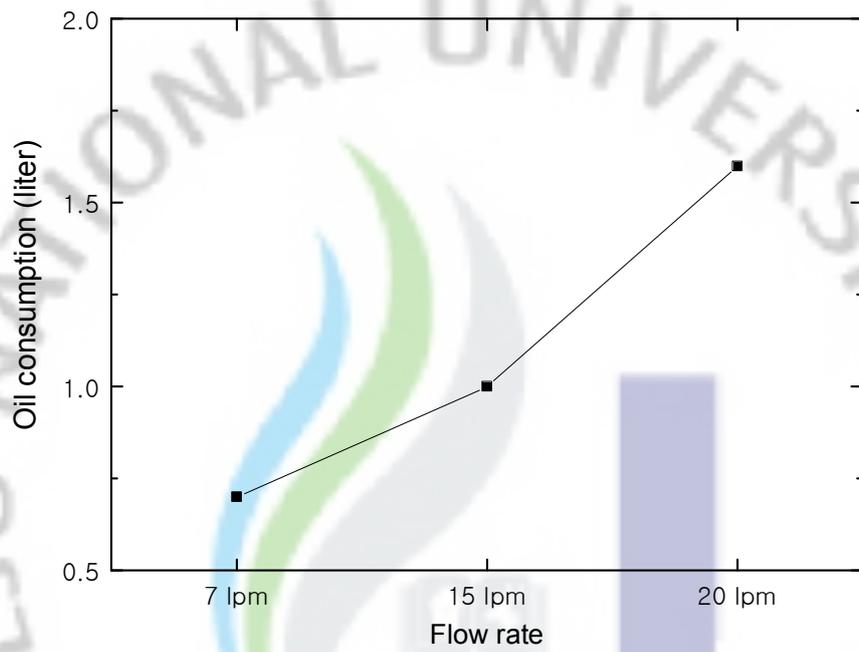


Fig. 3-7 Fuel consumption variation with changing of working fluid flow rate

### 3.6 온수를 사용시의 시스템 성능

본 절에서는 태양열을 이용한 난방은 물론 온수를 사용하였을 경우에 시스템의 효율 및 안정성 등에 대하여 평가하였다. 본 실험에서는 집열기를 통하여 축열조에 축열된 에너지가 온수를 사용함에 따라 어느 정도의 에너지를 이용하게 되며, 또한 온수부하에 의해 보일러는 어느 정도 가동되어 연료소비량의 변화를 가져오는 지를 측정하였다.

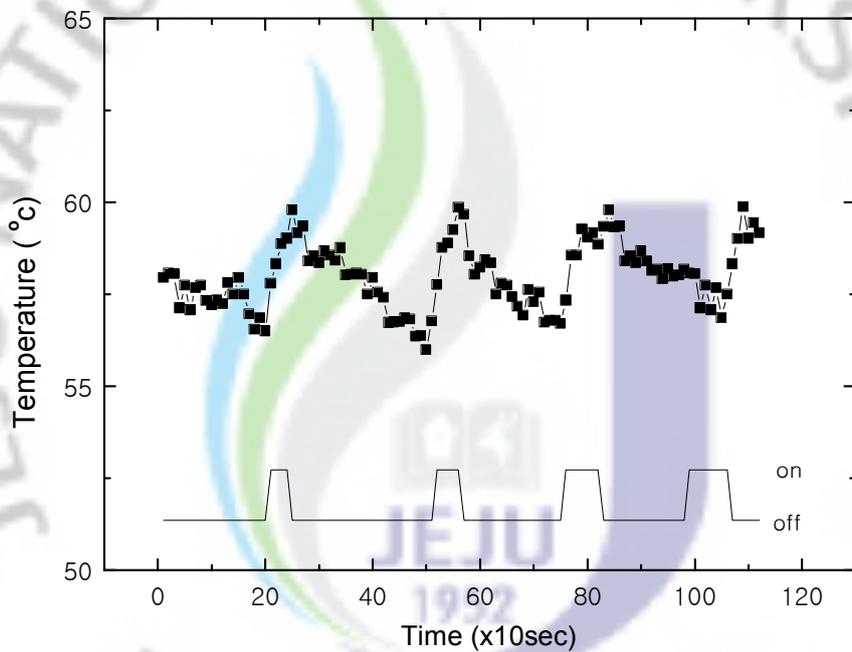
본 실험에서는 난방부하를 고려하지 않았으며, 버너의 작동상한온도를 60℃로 고정하여 온수공급 희망온도를 60℃로 설정하고 그 이하의 온도에서는 버너가 작동을 하도록 하였다. 이때 온수유량은 대부분의 가정용 샤워시설 혹은 세면대 등에서 수도꼭지 등으로 배출되는 물의 유량이 약 10 - 13 lpm이고, 일상생활에서 온수를 사용할 경우에 온수와 냉수의 혼합 비율이 약 5 대 5, 6 대 4 및 7 대 3 정도로 판단하여 냉수를 제외한 온수의 유량을 3 lpm, 5 lpm 및 7 lpm의 세 가지 조건으로 실험을 하였다.

온수를 사용한 시간은 대략 20분정도를 사용한다고 가정하였다.

실험결과 Fig. 3-8 (a)의 3 lpm의 유량일 경우를 살펴보면 실험기간 동안 버너가 약 4회 정도 가동되었으며, 가동시간도 다른 경우와 비교하여 비교적 짧은 시간동안 가동이되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3-8의 (b) 5 lpm의 유량으로 사용했을 경우는 3 lpm의 경우와 비슷하게 가동횟수는 5회이나 가동시간이 약간 오랫동안 지속되는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3-8 (c)의 7 lpm의 유량으로 사용했을 경우는 비교적 가동횟수와 가동시간이 가장 오래 지속되는 것을 알 수 있다.

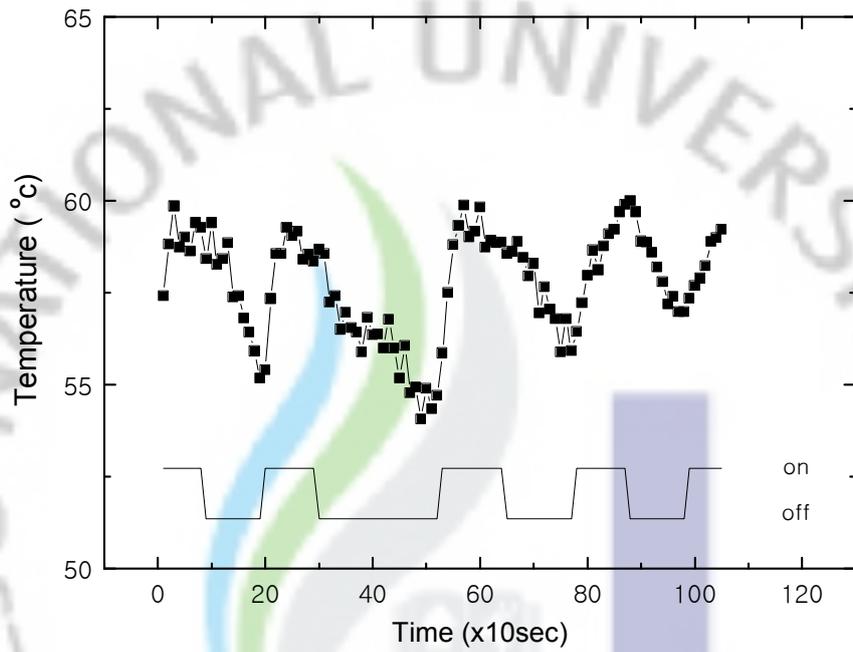
이때 연료소비량은 3 lpm, 5 lpm 및 7 lpm 각각의 경우에 대하여 연료소비량을 측정한 결과는 Fig. 3-9와 같다. Fig. 3-8에서 살펴본 바와 같이 버너의 가동시간에 비례하여 연료소비량이 증가하며, 이때 연료소비율은 0.12 ℓ, 0.16 ℓ 및 0.22 ℓ로 나타났다. 본 실험에서 사용된 보일러에서 난방용 등유의 순발열량 8,200 kcal/ℓ 이고, 보일러 효율이 약 87 % 정도

이므로 연료소모량에 대해 살펴보면 3 lpm, 5 lpm 및 7 lpm일 때 에너지는 각각 862 kcal, 1,150 kcal 및 1,582 kcal의 에너지가 사용되어 3 lpm을 기준으로 생각해 보았을 때 5 lpm일 때는 33.3 %정도의 에너지 사용이 증가하였고, 7 lpm일 때는 83.3 %정도의 에너지 사용이 증가하는 것을 알 수 있었다.



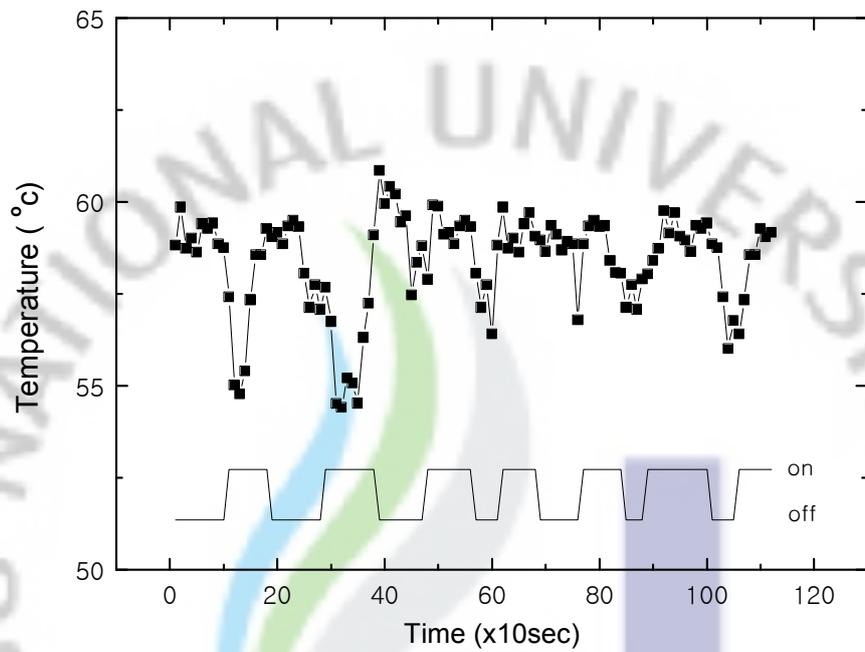
(a) Flow rate of hot water = 3 lpm

Fig. 3-6 Thermal storage tank temperature variation and burner operation rate with time



(b) Flow rate of hot water = 5 lpm

Fig. 3-6 Thermal storage tank temperature variation and burner operation rate with time



(c) Flow rate of hot water = 7 lpm

Fig. 3-6 Thermal storage tank temperature variation and burner operation rate with time

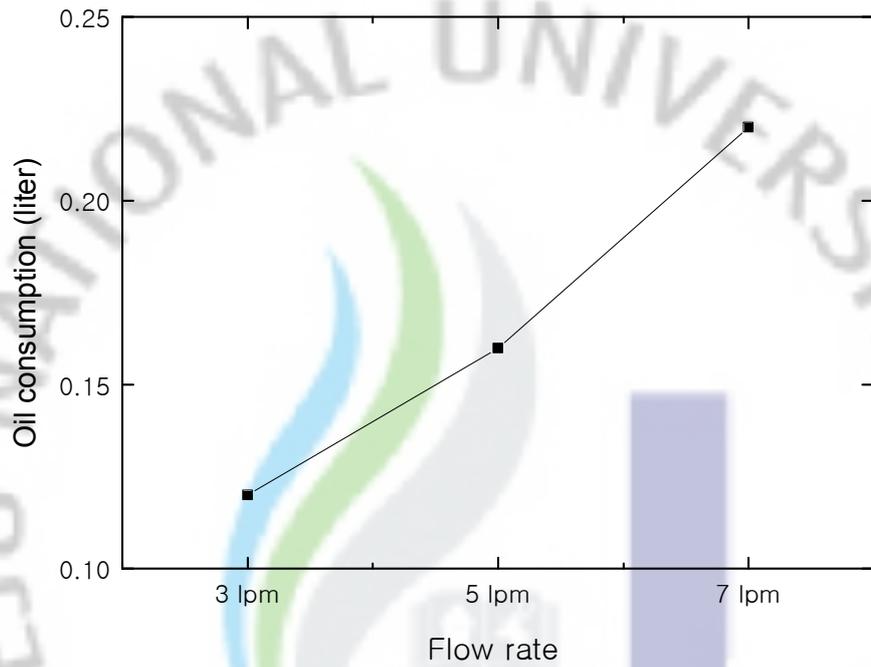


Fig. 3-9 Fuel consumption variation with changing of hot water flow rate

## 제4장 결 론

본 연구는 열에너지 분야에 있어서 저비용, 고효율의 대체에너지로서 각광받고 있는 태양열을 이용하는 온수난방 복합시스템에 관한 연구로써, 기존에 많은 개발·보급이 이루어 졌던 태양열을 이용한 온수급탕기에 난방기능을 결합시켜 시스템을 구성한 후, 시스템의 성능평가를 통하여 시스템 제어인자를 개발하고, 에너지효율과 에너지 절약적인 측면의 효과를 분석하였다.

본 연구의 온수난방시스템은 다양한 열원과 여러 가지 기능이 복합된 시스템을 하나의 축열조에 결합하여 시스템의 크기를 줄이며, 집중제어 장치를 사용하여 사용편의성을 높이고, 외견이 수려한 장치개발을 목표로 하였다. 본 연구를 통하여 얻을 수 있는 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 축열조의 성능을 분석 하였을 때, 비가 내리지 않는 비교적 쾌청한 날을 기준으로 하였을 경우에 일출 이후를 시작하여 축열되기 시작하여 일사량이 있는 일몰까지 축열이 이루어지게 되며, 부하가 없을 경우에 축열된 열에너지는 외기온도에만 영향을 받게 되어 시간에 따라 일정하게 온도가 떨어지게 된다. 강제대류의 경우에는 열매체의 유량이 커질수록 에너지 손실이 증가하는 것을 알 수 있다.
- (2) 설정된 버너의 작동상한온도에 따라서 축열조의 성능을 비교하였을 때, 버너의 설정온도가 높을수록 시스템의 효율은 감소한다. 이것은 부하측에 공급되는 열매체의 유량이 일정하고 축열조로 환수되는 온도가 축열 온도 보다 낮아지면 축열된 에너지는 감소하게 되는데 버너의 작동상한 설정온도가 높을수록 설정온도까지 높이기 위하여 버너의 작동횟수가 많아지게 되고 또한 작동시간도 길어지게 되어 석유

의 사용이 증가하기 때문이다. 버너의 설정온도를 40℃, 50℃ 및 60℃로 하였을 때 에너지 사용량은 40℃를 기준으로 50℃일 때 약 77 %정도 증가하였으며 60℃일 때는 약 222 %정도 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 작동횟수와 작동시간의 증가는 시스템의 성능을 안정시키지 못하게 되어 시스템의 전체적인 효율을 떨어뜨리는 결과를 갖는다는 것을 알 수 있다.

- (3) 난방부하의 공급을 위하여 순환되는 열매체의 유량변화에 따른 축열조의 성능을 평가하면, 유량이 많을수록 시스템의 성능은 감소한다. 유량을 7 lpm을 기준으로 15 lpm일 때는 약 42.9 %정도의 에너지 사용이 증가하였으며, 20 lpm일 때는 약 128 %정도의 에너지가 더 사용되었다. 이것은 축열된 에너지가 유량이 많을수록 에너지 손실이 증가하고 버너의 설정온도를 유지하기 위해 보일러의 작동이 잦아지게 되어 연료의 소비가 증가하기 때문이다.
- (4) 온수부하에 따른 성능특성에 있어서 사용되는 온수의 양에 따라 시스템의 성능은 난방부하에서와 마찬가지로 온수의 사용량이 증가할수록 시스템의 성능은 감소한다. 온수의 유량을 3 lpm 5 lpm 및 7 lpm으로 하였을 때 에너지는 3 lpm을 기준으로 5 lpm일 때는 약 33.3 %가 증가하였으며, 7 lpm일 때는 83.3 %의 에너지가 증가하였다.
- (5) 본 연구에서는 실제 가정에서 사용하는 난방부하 및 온수부하를 추종하려고 하였으나 온수 혹은 난방의 사용패턴과 부하를 구현하지 못하고 칠러를 사용하여 시스템에 난방부하를 주었으며, 향후 대표적인 주거용 주택에 본 연구를 통하여 개발된 태양열 및 보일러이용 온수급탕시스템을 설치하여 실증실험을 통하여 보다 현실성 있는 제어인자

와 성능평가를 수행하여야 할 것이다.



## 참고 문헌

1. Ryu, Nam-Jin, Han, Yury, Park, Youn Cheol, 2007, The Study on Efficiency Improvement of a Thermal Storage Tank for Solar Combined Heating System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 4, 2007 pp.43-49
2. D. E. Kim, G. D. Peak, K. H. Choi, N. J. Ryu, 2005, Comparison of performance of heating systems with a solar collector, Korea Solar Energy Society, 2005 Autumn conference. pp.31-36
3. G. D. Peak, J. W. Kim, Eflita Yohana, N. J. Ryu, K. H. Choi, 2006, Research on heating of all-terrain system with solar collector and liquid desiccant, Korea Solar Energy Society, 2005 spring conference, pp.176-181
4. Kim Jiyoun, Ko, Gwang-soo, Park, Youn Cheol, 2005, A study on the solar assisted heating system with refrigerant as working fluid, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 4, 2005 pp.37-44
5. Kim Jiyoun, Ko, Gwang-soo, Park, Youn Cheol 2005, A study on the operating strategic for solar assisted heating system, Korea Solar Energy Society, 2005 Autumn conference, 2006 pp.25-30
6. Park, Youn Cheol, Ko, Gwang-soo, Han, Yury, 2007, A Study on Hybrid Heating System with Anti-Superheating Devices, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 2, 2007 pp.19-27

7. Park, Youn Cheol, Kim Jiyong, Ko, Gwang-soo, 2007, A Study of Performance Characteristics on Hybrid Heat Pump System with Solar Energy, as Heat Source, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 1, 2007 pp.47-54
8. Yuri Han, 2008, A study on a hot water supply and panel heating system with a solar collector and burner combined thermal storage tank, master thesis, Cheju National University,

