



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2014 年 02月  
碩士學位論文

히트파이프식 단일 진공관형 태양열  
시스템 실증 연구

鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

魯 生 洙

히트파이프식 단일 진공관형 태양열  
시스템 실증연구

Demonstration research for heat pipe of simplicity type of  
a vacuum tube solar heat system

2014年 02月

朝鮮大學校 大學院

機械工學科

魯生洙

히트파이프식 단일 진공관형 태양열  
시스템 실증연구

指導教授：尹 聖 雲

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2014 年 02月

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

魯 生 洙

# 魯 生 洙의 碩士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 李圭泰 ㉠

委 員 朝鮮大學校 教授 洪明錫 ㉠

委 員 朝鮮大學校 教授 尹聖雲 ㉠

2014 年 02月

朝鮮大學校 大學院

# Contents

Contents .....	i
List of Figures .....	iii
List of Tables .....	iv
Nomenclature .....	v
ABSTRACT .....	vi
<b>제 1 장 연구개요 및 필요성 .....</b>	<b>1</b>
<b>제 1 절 연구개요 .....</b>	<b>1</b>
1. 평판형 집열기 .....	2
2. 진공관형 집열기 .....	4
3. 편한형 집열기와 진공관형 집열기의 비교 .....	6
<b>제 2 절 연구의 필요성 .....</b>	<b>8</b>
1. 기술적 측면 .....	8
2. 경제적 측면 .....	10
<b>제 2 장 연구 개발 내용 .....</b>	<b>11</b>
<b>제 1 절 히트파이프식 단일진공관형 태양열시스템 .....</b>	<b>11</b>
1. 집열기 시스템 .....	11
2. 실증실험 시스템 .....	16
3. 모니터링 시스템 .....	17
<b>제 2 절 실증실험 및 데이터 분석 .....</b>	<b>23</b>
1. 실증실험 방법 .....	23

2. 태양열 시스템 성능평가 .....	39
3. 태양열 시스템 실증 실험 데이터 분석 .....	51
제 3 장 결 론 .....	79
<b>REFERENCE</b> .....	<b>81</b>

# List of Figures

Fig. 1.1 A flat type solar collector construction. ....	3
Fig. 1.2 Evacuated tubular solar collector. ....	5
Fig. 1.3 Compare the configuration of Flat type solar collector and Evacuated tubular solar collector. ....	7
Fig. 2.1 Evacuated tubular solar collector system block diagram. ....	12
Fig. 2.2 Insulation house build. ....	14
Fig. 2.3 Solar system of evacuated tubular solar collector. ....	15
Fig. 2.4 Wind direction, speed and solar insolation (horizontal, slope). ....	17
Fig. 2.5 Test loop of Verification experiment. ....	19
Fig. 2.6 Inside view of test loop box. ....	20
Fig. 2.7 Block diagram of monitoring measurement system. ....	22
Fig. 2.8 Diagram of solar water heater tester. ....	41
Fig. 2.9 Variation of temperature distribution with displacement. ....	47
Fig. 2.10 Variation of mixed discharge temperature distribution with displacement. ....	48
Fig. 2.11 Variation of average drain temperature with date. ....	76



## List of Tables

Table 2.1 Specifications of Evacuated tubular solar collector .....	13
Table 2.2 Enter the control program for each test .....	23
Table 2.3 Drainage time and discharge rate .....	25
Table 2.4 Accuracy and degree of precision for temperature measurement .....	43
Table 2.5 Type of winter verification experiment .....	52
Table 2.6 Type of summer verification experiment .....	54
Table 2.7 Average temperature of water supply method with days .....	73
Table 2.8 Solar system heat collecting performance by enterprise .....	77

# Nomenclature

$V_s$	: volume of heat storing tank ( l )
$\Delta t$	: time interval (s)
$\Delta t$	: time of heat storing tank opening (hr)
$t_i$	: temperature of initial heat storing tank (°C)
$t_{main}$	: temperature of heat storing tank supplied (°C)
$t_f$	: temperature of final heat storing tank (°C)
$t_{as(av)}$	: temperature of outside (°C)
$U_s$	: heat loss rate (-)
$H$	: insolation ( $W/m^2$ )
$Q$	: calorie (kcal)
$m$	: mass flow rate (l/min)
$Cp_w$	: specific heat under constant pressure of water( $J/(kg \cdot K)$ )

## Greeks

$\rho$	: density ( $kg/m^3$ )
$\rho_w$	: density of water ( $kg/m^3$ )

## Subscripts

w	: water
i	: inlet
f	: final
as	: outlet

# ABSTRACT

Demonstration research for heat pipe of simplicity type  
of a vacuum tube solar heat system

Ro, Saeng-soo

Advisor: Prof. Yoon, Sung-Un, Ph. D.

Department of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

The world is facing environmental problems such as global warming due to the excessive use of fossil energy and energy issues, expanding the use and development of alternative energy is urgent. Energy source that can be used easily in most alternative energy source is the sun exactly. The utilization technology of solar hot water system, is a technique to be used in such hot water supply and heating and cooling of buildings absorption of the sun in the field of thermodynamic use of solar energy to use the nature of the wave of light of the sun, storage, such as through thermal conversion . However, solar hot water system, because the system energy density is very low, using the fierce energy season, changes in hourly, home heat storage technology is great importance. Heat collecting efficiency is low, flat-plate heat collector may be obtained by hot water 80 °C below. However, since not only hot water is used in heating of the building in winter in order to maximize the utilization of solar energy, it is insufficient to

obtain the hot water in a high temperature over 100 °C. The heat pipe is a low thermal element heat transfer capacity superior by using the latent heat of the working fluid and vacuum technology for isolating the heat loss of the external heat energy converted by the solar heat absorption plate to complement this vacuum tube solar heat collector which is applied has been developed.

Integrated building and ensure the optimization technology of vacuum tube solar thermal system through analysis of various materials, evaluation, quantification, the results of the performance test of the product on the results of long-term monitoring and demonstration of Sundakorea Co., Ltd. product that stands through demonstration experiments by grasping the system right front optimum conditions through pilots solar power system to reflect the product, by increasing the reliability of products Sundakorea Co. standing attempts to spread and increase the added value of products it is believed that reduction of the electrical energy used concomitantly in that it can, to promote high performance photovoltaic systems these can, and to reduce the economic burden on consumers conveniently in a / S .

In this study, the system performance of evacuated tubular solar collector was analyzed with a variable condition to compare experiment results. Through this study, the performance data and optimal control method of system performance in solar system can be provided and it will contribute to developing high efficiency solar system in solar collector.

# 제 1 장 연구개요 및 필요성

## 제 1 절 연구개요

세계는 에너지 문제와 화석에너지의 과다 사용으로 인한 지구온난화 등의 환경 문제에 직면하고 있기 때문에 대체에너지 개발과 이용확대가 시급하다. 대체에너지 원 가운데서 가장 쉽게 이용할 수 있는 에너지원이 바로 태양열이라 할 수 있다.

태양열온수시스템의 이용기술은 태양광선의 파동성질을 이용하는 태양에너지 열역학적 이용분야로 태양열의 흡수·저장·열변환등을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕등에 활용하는 기술이다. 그러나 태양열온수시스템은 에너지밀도가 매우 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지를 이용하는 시스템이므로 집열과 축열 기술이 매우 중요시 되고 있다.<sup>1)</sup>

태양열 온수기의 성능에 가장 큰 영향을 주는 집열부는 온수기에서 태양에너지를 열에너지로 변환하여 열전달 매체를 가열하는 부분을 말하며, 종류로는 평판형 집열기, 고정집광형 집열기, 진공관형 집열기로 분류된다.<sup>2)</sup>

이중 가정에서 주로 사용되는 집열기의 종류로는 평판형 집열기와 진공관형 집열기로써 이 둘의 가장 큰 차이점은 집열 효율이라 할 수 있다. 평판형 집열기는 집열기 자체의 단열문제로 에너지의 손실이 크다는 문제를 갖고 있어서 비교적 고온의 온수를 얻기에 어렵다. 이에 비해 진공관형 집열기는 진공층을 이용한 단열로 큰 집열효율을 나타내고 있으나 평판형에 비하여 단가가 비싸서 일반 가정에서 설치가 어렵다는 단점이 있다.

그러나 최근 기술개발을 통한 생산단가가 낮아지고 있고, 태양열 온수시스템 설치시 정부의 보조를 이용할 수 있으므로 공공기관 시설물등을 중심으로 그 수요가 증가되고 있다.

## 1. 평판형 집열기

평판형 집열기는 태양열 난방 및 급탕 시스템에 사용되는 기본적인 태양열 기기이다. 집열기로 입사된 태양 에너지는 흑색으로 도장된 흡수판에 열에너지로 대부분 흡수되며, 흡수된 열에너지는 순환되는 열전달 매체에 전달되고 일부는 주위로 손실된다. 열전달 매체에 옮겨진 열에너지는 가용 집열량으로 저장되거나 열 부하에 직접 공급된다.

평판형 태양열 집열기는 현재 가장 널리 보급되어 있는 태양열 집열기로서 그 모양이 사각 평판 형태로 주로 낮은 온도 범위( $<80^{\circ}\text{C}$ )의 태양열 활용에 적용되고 있으며 태양열 집열효율이 대개 50% 이하이다.<sup>3)</sup> 이 평판형 태양열 집열기는 물을 직접 집열기에서 가열하여 이용하는 경우도 있지만 우리나라와 같이 겨울철 혹한기가 존재하는 지역에서는 물보다는 부동액을 열매체로 집열기를 통과시켜 가열한 후 뜨거운 부동액이 다시 물을 데우는 방식을 취하고 있다. 평판형 집열기는 집열판이 태양열에 의해 가열되면 뜨거운 집열판으로부터 집열대류에 의해 외부로 열 손실이 발생하므로 그 적용에는 한계가 있다. 기술과 태양열의 집열에 그 동안 태양열 이용보급분야의 실용화는 평판형 태양열 집열기를 채용한 가정용 태양열온수기를 중심으로 상당히 보급이 활발하게 진행되어 왔다. 그러나 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은 온도( $80^{\circ}\text{C}$  이하)에서 온수급탕 및 난방 보조 열원으로 높은 효율을 유지하는 집열기로서,  $80^{\circ}\text{C}$  이상 열원을 요구하는 건물의 난방 및 냉방용으로는 부적합한 것으로 평가받고 있다.<sup>4)</sup>

평판형 집열기의 필수적인 구성품은 투명 덮개(transparent cover), 흡열판(absorber plate), 열전달 매체 도관(riser), 단열재(thermal insulation) 및 집열기를(housing)로 이루어진다. 투명 덮개는 태양 에너지가 입사될 수 있으면서 집열기 윗면의 단열 효과를 얻기 위한 것이며, 흡열판은 일반적으로 금속으로 만들어져 태양 에너지를 최대한 흡수할 수 있도록 무광 흑색 도장(non-reflective black coating

finish)한 것이며, 열전달 매체 도관은 흡열판 무밑착되어 물이나 공기 등과 같은 열전달 매체가 순환될 수 있는 파이프나 덕트(duct)로 되어 있다. 집열기 내의 단열재는 아랫면과 가장자리 면에 열 손실을 줄이기 위하여 부착되며, 집열기들은 집열기 자체의 내구성과 내후성을 보장하기 위한 것이다. 평판형 집열기는 열전달 매체의 취득 온도를 외기 온도 이상 100℃이하의 범위로 보며, 이 집열기의 장점은 전일사량, 즉 직달 및 분산 일사 성분 모두를 이용할 수 있다는 점과 태양광을 추적하지 않아도 된다는 점이다.<sup>5)</sup>

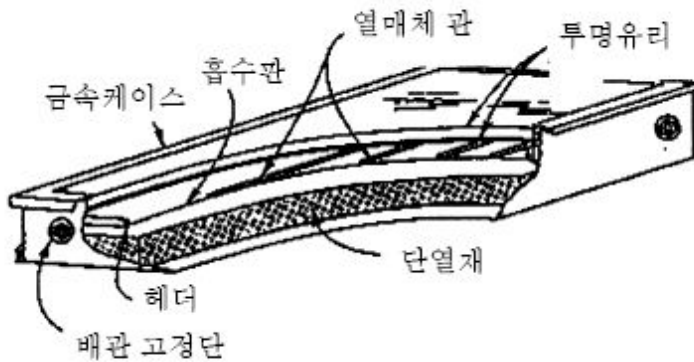


Fig. 1.1 A flat type solar collector construction

## 2. 진공관형 집열기

진공관형 태양열 집열기는 크게 단일진공관 방식과 완전 유리의 이중 진공관 방식이 있다.

단일진공 유리관형 집열기에는 대부분 히트파이프가 집열체로 삽입되어 밀봉 처리된다. 진공으로 밀봉된 유리관 내에 히트파이프로 구성된 단일진공관형 태양열 집열기의 구조 및 작동은 다음과 같다.<sup>6)</sup> 집열체는 작동매체로 채워진 밀봉된 히트파이프(Heat pipe)로 상단에는 선택흡수처리된 집열판이 부착되어 있다. 각 튜브의 상단 끝에 있는 열교환기(Manifold)를 통해 집열체로 집열된 열을 축열조나 이용부로 가져간다.

이중진공 유리관식 태양열 집열기는 내부유리관과 외부유리관 사이를 진공처리하여 열손실을 최소화하는 방식으로 U자형 등의 열매체 순환 튜브를 삽입하여 집열하는 집열기이다. 선택흡수막은 내부유리관 외벽에 코팅하여 사용한다.

진공관형 집열기의 종류에 따른 효율성은 후자에 비해 전자가 더 경제적이고 내구성이 있는 것으로 평가되고 있으면 현재 중국, 유럽 등 여러 나라에서 태양열 보급에 큰 역할을 하고 있다.<sup>7)</sup> 이 집열기의 특징 및 신뢰성에 대하여 살펴보면 다음과 같으며, 그림 2에 단일 진공관 방식의 집열기를 나타내었다.

- 집열기 내부의 보온 효과의 극대화를 위하여 집열기 내부를 진공 처리하여 집열기 내부의 공기제거 및 대류에 의한 외부로의 열전달 차단 그리고 집열기 자체의 열손실감소와 흑한기의 시스템 동파방지 기능이 있다. 그리고 태양열에너지 이용 효율이 제고되는데, 이는 시스템 효율의 향상과 태양에너지의 전천후 활용(낮은 일사량에서도 고온수 획득)이 이루어지며, 태양열의 장기 집열 및 이용이 가능하다.

- 유리 실험관 형상의 긴 집열 튜브를 사용하므로 단순한 태양열 집열 구조와 전방위 태양열 흡수가 가능하고 다양한 형태의 시스템 구성이 가능하며, 외적 미관이 개선된다.



- 태양열 이용의 다양성이 있는데 이는 하나 또는 2개의 유리관을 이용하여 집열 튜브 제작이 가능하고 용도에 따른 집열 튜브 내부의 설치물 제작이 가능하며, Direct Flow 방식의 경우 수평으로 집열 튜브 설치가 가능하다.

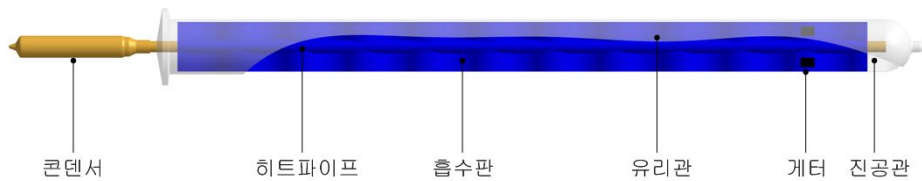


Fig. 1.2 Evacuated tubular solar collector

위에서 언급한바와 같이 태양열을 모으는 장치인 집열기는 지금까지 태양열 주택에 주로 사용된 평판형 집열기가 많이 사용되었다. 하지만 이 평판형 집열기는 집열효율이 높지 못하고, 특히 겨울철에는 열 손실이 크다는 단점이 지적되어 왔다.<sup>8)</sup>

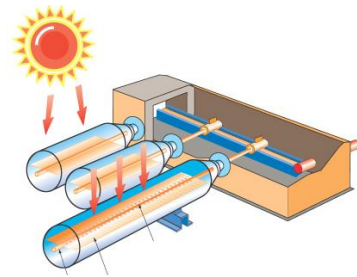
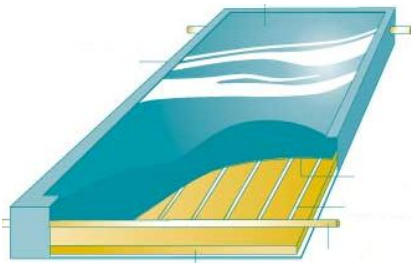
뿐만 아니라 기존의 태양열 시스템은 태양열 집열기가 지붕마감위에 별도로 설치되어 있어 외관상 미려하지 못한 단점을 가지고 있다.

### 3. 평판형 집열와 진공관형 집열기 비교

평판형 집열기는 집열 효율이 낮아 80℃ 이하의 온수만을 얻을 수 있다. 그러나 태양에너지 이용률을 극대화하기 위해서는 온수뿐만 아니라 겨울철 건물의 난방용으로 사용하기 위한 100℃ 이상의 중고온의 온수를 얻기에는 부족하다. 이를 보완하기 위하여 태양열 흡열판에서 변환된 열에너지를 외부 열손실(대류, 전도)로부터 차단하기 위한 진공기술과 작동유체의 잠열을 이용하여 열수송 능력이 탁월한 전열소자인 히트파이프를 적용한 진공관형 태양열 집열기가 개발되었다.<sup>9)</sup>

진공관형 집열기는 관내부가 10atm의 고진공으로 외부와 완전히 단열 되어 열손실이 없으므로 일사량이 좋은 환경에서 온수 및 난방 효과를 극대화 할뿐 아니라 겨울철과 흐린 날과 같은 낮은 밀도의 태양에너지 환경하에서도 좋은 집열효과를 가진다.

또한 진공관형 집열기의 장점으로 집열기의 파손시 관리가 용이하다는 점이다. 평판형 집열기의 경우 집열기에 문제가 발생할 경우 집열기 전체를 교체 및 수리를 해야 하는 점에 비해 진공관식 집열기는 문제가 진공 집열기만을 교체하면 됨으로 설치 후 사후관리가 용이하다는 장점 전체를 교체됨 4.는 평판형 집열기와 진공관형 집열기의 구조를 비교한 그림을 나타내었다.



(a) Flat type solar collector

(b) Evacuated tubular solar collector

Fig. 1.3 Compare the configuration of flat type solar collector and Evacuated tubular solar collector

## 제 2 절 연구의 필요성

신·재생에너지의 기술개발 및 보급을 촉진하기 위해서는 개발된 새로운 시스템을 사용조건에서 장기간 동안 운전, 평가하여 실용화, 제품화하고 소비자 측면에서의 신뢰도를 확립하여야 한다. 이 실증실험은 기초연구, 기술개발, 응용연구의 과정에서 얻어진 개발성과를 상용화 보급과 연계시키는 최종단계이므로 반드시 거쳐야 하며, 대부분의 선진국에서는 오랫동안 대규모의 실증시험을 전개하고 있다.

### 1. 기술적 측면

기존 평판형 집열기는 집열효율이 낮아 건물난방에 필요한 온도의 온수를 얻기가 힘들었다. 그러나 앞으로 전 세계적으로 화석연료의 의존율이 낮아지고 있는 추세에서 청정에너지라 할 수 있는 태양열을 이용비율을 높여야 한다. 이를 위하여 열손실을 최소화한 진공관형 집열기를 이용하여 집열효율을 높임으로써 중고온의 온수를 얻을 수 있다. 또한 친환경무공해 건축물의 수가 늘어남으로써 태양열 시스템을 적용한 건물도 자연 그 수가 증가하게 될 것으로 보인다.<sup>10)</sup>

진공관형 집열기는 최근 개발되어 현재 그 성능의 실증연구 및 기반 기술의 연구가 진행되고 있다. 그러나 기술의 표준화가 부족하여 실증연구를 통하여 각 진공관형 집열기의 성능 분석 및 표준화 작업을 통하여 집열기 성능의 향상과 집열기의 규격화로 제품의 경쟁력을 향상시켜야 한다.

최근 화석연료의 고갈과 환경오염물질의 감소를 위해 진행되고 있는 분야중 하나가 제로하우스의 연구 및 보급이다. 제로하우스란 외부의 자원과 유용한 연결이 없이 생활에 필요한 에너지를 스스로 얻는 하우스<sup>11)</sup>를 말한다. 이러한 제로하우스를 연구 보급하기 위한 연구는 다음의 두가지 연구에 초점을 맞추어 진행되고 있다.

첫째, 건물의 단열성능을 향상시켜 에너지 소모를 줄이는 연구

둘째, 태양에너지를 이용한 에너지 독립

단열성능을 향상시키는 연구는 최근 한국스티로폼에서 단열인슈블럭을 개발하여 단열재 자체를 건물용 블록으로 사용하여 단열성능을 획기적으로 끌어올리는 등 여러 방면으로 진행중에 있다.

태양에너지를 이용한 에너지 독립은 솔라셀을 이용한 전기의 획득, 태양열을 이용한 난방 및 온수 획득이다.

이러한 두가지 연구결과를 접목하여 제로하우스를 서서히 보급하고 있으나 완벽하게 외부의 에너지를 사용하지 않는 제로하우스는 아직까지 개발되지 않은 실정이다.

## 2. 경제적 측면

경제적 측면에서 볼 때 기존의 평판형 집열기는 설치시 건물의 외부에 추가로 설치하므로 초기투자비용이 많이 들어가지 않는다. 그러나 건물일체형 집열기 설치시 건축물을 올릴 때 같이 설치해야 하므로 초기 투자비가 많이 들어간다. 또한 추후에는 설치가 어렵다.

그러나 집열효율이 좋은 진공관형 집열기를 설치하고 지붕의 전 부분을 집열면적으로 사용하므로 사용자가 사용하는 온수 및 건물의 난방에 필요한 비용이 전혀 들어가지 않는 점과 유지 관리비용이 적게 들어가는 점을 비교할 때 장기 사용시 경제적 이익을 얻을 수 있다.<sup>12)</sup>

또한, 기존의 평판형 집열기는 옥상위에 장치된 탱크의 동파방지를 위하여 전열선을 사용하게 됨으로 전기에너지 추가 사용비용이 들어가나 건물일체형 집열기는 탱크를 건물 내부에 설치하여 동파에 대한 위험이 적다.

## 제 2 장 연구 개발 내용

### 제 1 절 히트파이프식 단일진공관형 태양열시스템

#### 1. 집열기 시스템

본 실증연구에 적용한 태양열 집열기는 선다코리아 주식회사에서 가장 널리 생산되고 보급되고 있는 제품명 SEIDI1-16로 선정하였다. 표 1은 시스템의 제원을 나타냈으며 그림 4는 태양열 시스템의 주요 구성도를 나타내었고, 그림 6에 실제 건물에 설치된 진공관형 태양열 시스템을 나타내었다.

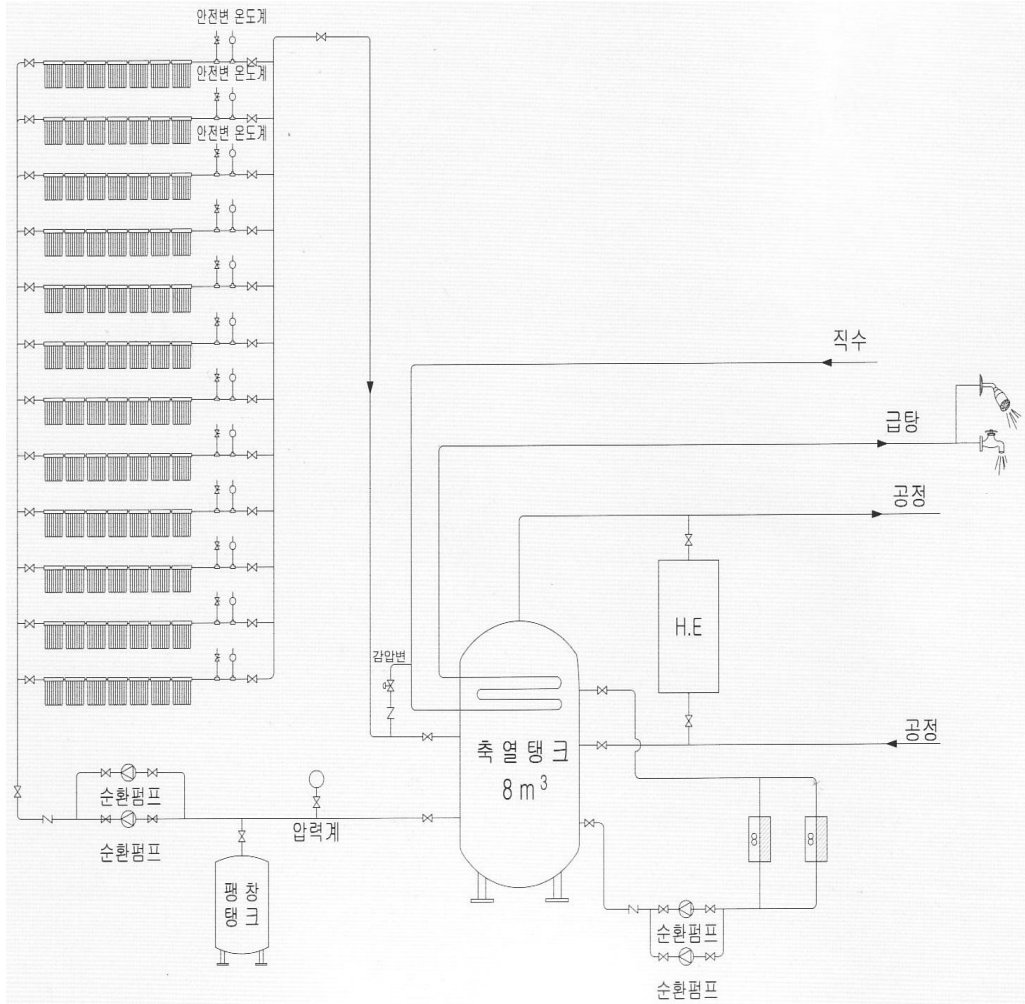


Fig. 2.1 Evacuated tubular solar collector system block diagram



Table 2.1 Specifications of Evacuated tubular solar collector

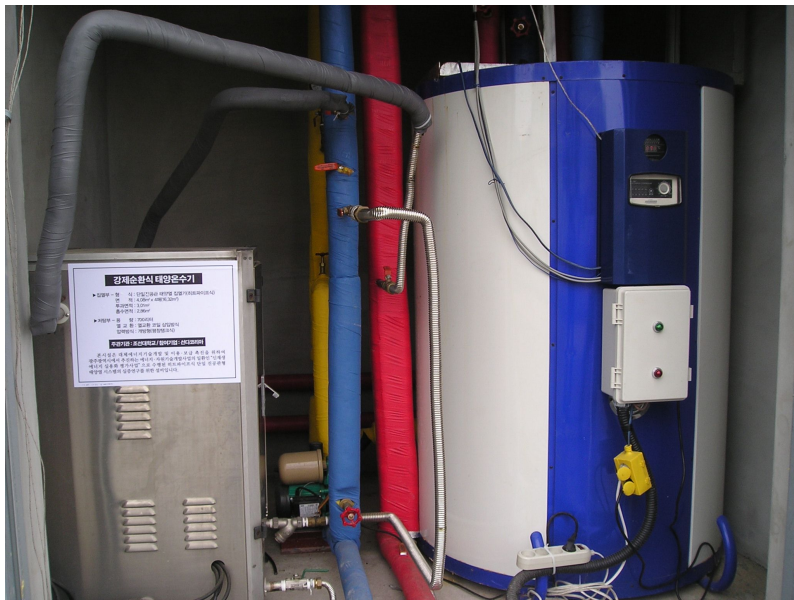
종류	단일진공관 태양열 집열기	사용 압력	6 bar(6Kg/cm <sup>2</sup> )
집열관 형식	히트파이프식	배관 구경(입/출구)	20A / 20A
집열관 수	16 tubes	집열기 최대 온도	190℃
총 면적	4.08m <sup>2</sup>	정체 온도	247℃
투과 면적	3.01m <sup>2</sup>	집열관	알루미늄 (알루미늄 질화산소 선택코딩)
흡수 면적	2.86m <sup>2</sup>	유리관	붕규산염 유리 (두께 2.5mm, 투과율 91%)
외형 치수	2126(L)×1920(W)×175(H) mm	히트파이프	무산소 동관
중 량	100Kg	헤더 매니폴드	동관
설치 경사각	15° - 90° (지면과의 각도)	집열부 단열	진공 단열
유체 용적	0.96 리터	메니폴드부 단열재	내열 우레탄 발포
압력 손실	25 mbar(300 ℓ /min 시)	외장케이스	알루미늄
수압 시험	10 bar(10Kg/cm <sup>2</sup> )	급수, 출탕구	동관



Fig. 2.2 Insulation house build



(a) Evacuated tubular solar collector installed insulation house



(b) Solar system heat storing tank and control box installed boiling room

Fig. 2.3 Solar system of evacuated tubular solar collector

## 2. 실증실험 시스템

본 연구를 통해 개발된 가정용 태양열 온수기의 실증 실험을 위해 조선대학교 태양에너지 실증연구단지에서 약 4개월에 걸쳐 실증실험을 수행 하였다.

### (1) 실증연구 시스템 구성

- Solar Domestic Hot Water : 1set
- Flow Circuit Housing : 순환/배수 제어용 펌프 및 전동변, 유량계
- Control Panel : 자동/수동/OFF 전환스위치, SSR, 인터페이스 카드, 전원 공급부, 전원 차단기
- Sensors : 온도, 일사량(수평/경사), 풍향, 풍속, 유량, 전력계
- Data Logger : NetDAQ(80 channels)
- Control & Monitoring Computer : Engineering Workstation
- Control & Monitoring Program



Fig. 2.4 Wind direction, speed and solar insolation (horizontal, slope)

(2) 온수기 측정데이터

- 시수온도
- 배수온도
- 집열기 입·출구 온도
- 축열조 내부온도(교반 및 내부장착 센서값)
- 유량(시수 및 배수 동일값)

(3) 온수기 설치기준

- 보조열원은 장착하나, 가동은 중지.
- 배관의 보온은 25mm. 강제순환식의 경우 집열기에서 저탕조까지의 배관 길이는 5m 이상 보상.
- 집열기 설치방위각은 정남, 설치경사각은 45.
- 저탕조 중앙부에 탱크내부온도를 관측기 위한 센서설치유닛 장착.
- 각종 부착물 장착(팽창탱크 및 안전변, 부압변 등)
- 동절기 동파방지 배관 열선 부착.

(4) 태양열 온수기 실증 실험 테스트 루프

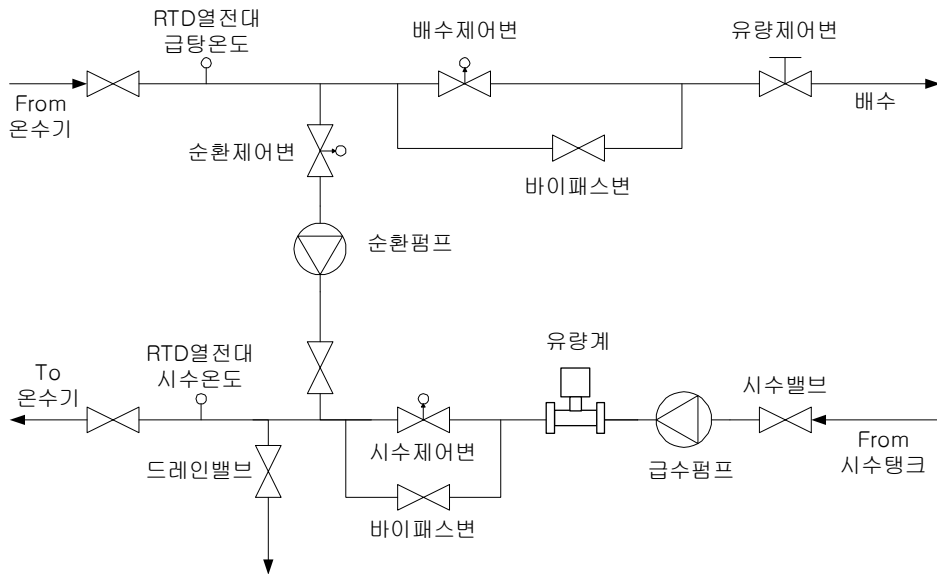


Fig. 2.5 Test roop of Verification experiment



Fig. 2.6 Inside view of test loop box



### 3. 모니터링 시스템

태양열 시스템의 실증연구를 원활하게 진행하기 위해서는 설치한 온수기 제어와 모니터링의 자동화가 필요하게 된다. 따라서 한국에너지기술연구원에서 제공해준 시험방법과 제어방법 및 검출할 데이터를 파악하기 위해 비주얼베이직(Visual basic) 툴을 이용하여 제어 프로그램과 모니터링 프로그램을 설계 및 구성하였다.

태양열 시스템 실증연구의 원활한 진행을 위하여 랜 기반의 모니터링 시스템과 계측장비를 구축하였고 제어 및 모니터링을 자동으로 수행하는 컴퓨터 프로그램 설계 및 개발하였으며 컴퓨터에 의한 완전 자동제어를 위하여 인터페이스 회로 및 제어 판넬을 적용하였고, 인터넷을 이용한 원격 모니터링과 원격실험을 가능하게 하기 위하여 TCP/IP 기반의 Symantec pcAnywhere를 탑재하였다.<sup>13)</sup>

제어함을 운영할 수 있는 컨트롤 판넬은 자동·수동·Off 전환 스위치, SSR(Solid State Relay), 인터페이스 카드, 전원공급부, 전원차단기로 구성하였으며, 온도, 일사량, 풍향, 풍속, 유량을 측정할 수 있는 센서를 설치하여 NetDAQ을 통해 데이터가 취득된다.

실증실험 수행을 위한 엔지니어링 워크스테이션급의 제어컴퓨터에는 비주얼베이직으로 프로그래밍한 모니터링 프로그램을 탑재하였다.

그림 10에서와 같이 태양열온수기 모니터링 시스템은 크게 기상관측 시스템과 태양열온수시스템 환경측정, 제어부로 구성된다. 기상관측 시스템에서는 경사면일사량과, 수평면일사량, 외기온도를 측정할 수 있고, 태양열온수시스템 환경측정에서는 시수온도, 배수온도, 축열외기온도, 집열기 입·출구기온도가 계측되며 측정된 데이터를 데이터로거를 통해 변환하여 컨트롤 판넬과 제어컴퓨터에 저장되게 된다. 제어컴퓨터와 컨트롤 판넬 서는 태양열온수 시스템의 전동변을 각각 제어하여 배수와 순환을 조절하게 된다. 또한 제어컴퓨터는 pcAnywhere를 통해 외부 컴퓨터에서도 네트워크상으로 제어와 모니터링이 가능하도록 하였다.

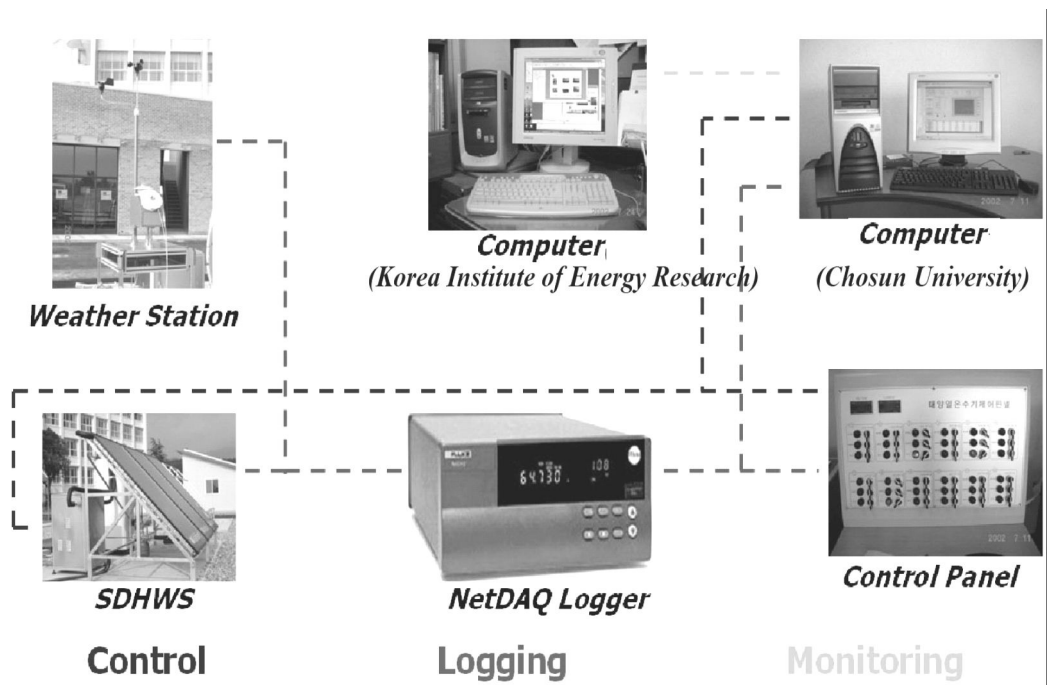


Fig. 2.7 Block diagram of monitoring measurement system

## 제 2 절 실증실험 및 데이터 분석

### 1. 실증실험 방법

태양열 온수기 실증실험을 위해 일일교반식, 일일배수식, 단기간시험, 연속배수시험 등 총 4가지의 실험 루틴을 실행하였다. 표 2에서는 각 실험별 시수제어, 배수제어, 순환펌프의 제어 프로그램을 나타내었다.

Table 2.2 Enter the control program for each test

구분	시수제어변, 배수제어변	순환제어변, 순환펌프
연속배수실험	각 시간별 배수개시시각 입력(on 작동) 각 배수별 배수량 입력(off 작동)	작동 시간 입력(오전 6:30, 오후 6:30) off입력(시간또는 $T_{in}=T_{out}$ )
일일시험	효율(교반식) 시수(저탕조 충전) 후 수동 off	작동 시간 입력(오전 8:30, 오후 4:30) off입력(시간또는 $T_{in}=T_{out}$ )
	효율(배수식) 작동 시간 입력(오후 4:30) off 입력( $T_{out}-T_{in} \leq 2^{\circ}\text{C}$ )	수동 off
	보온성능 시수(저탕조 충전) 후 수동 off	작동시간입력(21:00~06:00까지 3시간 간격으로 입력) off입력(시간또는 $T_{in}=T_{out}$ )
	급탕사용 작동 시간 입력(anytime) off 입력( $T_{out}-T_{in} \leq 0^{\circ}\text{C}$ )	수동 off

## (1) 실증 실험 루틴

### ■ 연속 배수 실험

#### ① 연속배수 실험 개괄

- 온수기의 설계에너지부하는 60리터/인.일을 기준으로 급탕온도 45℃~50℃로 적용함. 여기서는 급탕온도부하가 미지수이므로 용량부하만을 취한다. 용량부하는 저탕조의 유효용량을 취함.

- 시수온도는 (시수온도-외기온도)가 5~15도 이내일 것을 추천한다. 단 이 경우 완전배수일 경우를 가정하여 저탕조내부에 채워지는 시수온도일 경우를 뜻함.

- 따라서 아침 8시 30분경(해뜨기 전 시각) 교반하여 저탕조 내부온도를 측정하고, 일일 배수 완료 후 교반하여 저탕조 내부온도를 측정하여 잔여열량을 산출한다.

- 이 실험을 7일 간격으로 계속하고, 7일 이후 저탕조의 물을 완전배수한 후, 새로 채운다.

- 스캔 인터벌은 10초로 한다.

- 배수유량은 10리터/분으로 유지한다.

\*\*\* 연속배수실험의 데이터는 월별, 계절별 온수기 성능평가에 사용할 수 있다.

Table 2.3 Drainage time and discharge rate

배수 시간	배수율(%)	비고
오전 7시	15	아침 30%
오전 8시	15	
오전 11시	10	점심 20%
오후 1시	10	
오후 3시	12.5	저녁 50%
오후 4시	12.5	
오후 5시	12.5	
오후 6시	12.5	

\*\* 배수율은 호주기준 참조.

② 연속배수 실험 방법

- 제 1일 : 저탕조에 시수를 시수기준(시수온도-대기온도 $<5\sim 15^{\circ}\text{C}$ )에 맞추어 채우고, 1일간 그대로 방치한다.

- 제 2일~제 6일 :

i -매일 오전 6시 30분 경, 교반한다.

ii-정해진 배수패턴에 따라 배수한다.(시수순간유량은 매분 10리터 $\pm$ 2리터로 맞춘다)

iii-오후 6시 30분 경, 교반한다.

- 제 7일 : 2의 i, ii와 동일하게 측정하고,

iii-오후 6시부터 배수를 개시하여 배수온도가 시수온도보다 약  $2^{\circ}\text{C}$ 가 된 시점까지 배수한다.

- 측정값 및 측정간격 : 10

## ■ 일일시험

### ① 일일시험 개괄

- 효율성능 시험은 교반식과, 배수식(급탕온도-시수온도 $<2^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 배수)을 1회씩 수행하여 비교한다.

- 보온성능 시험
- 급탕사용성능시험

### ② 일일시험 실험 개괄

- 오전 8시(태양시 기준)까지 저탕조의 용수를 완전배수한 후, 시수온도기준에 따라 시수하여 저탕조를 채운 후, 교반한다.

- 배수없이 오후 4시(태양시 기준)까지 노출한다.

- 교반식의 경우 오후 4시(태양시 기준)를 기하여 집열면을 차폐하거나, 열매체의 이송을 차단한 후, 교반한다.

- 배수식의 경우 오후 4시(태양시 기준)를 기하여 집열면을 차폐하거나, 열매체의 이송을 차단한 후, 순간유량 10리터/분 $\pm 2$ 으로 시수하면서 배수를 개시하여, 배수온도-시수온도 $<2^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 배수한다.(급탕사용성능에 대한 데이터는 이때 얻어진다.)

- 보온성능 시험의 경우, 교반식으로 시험을 완료한 후, 저녁 9시 이후 익일 아침 6시까지 3시간 간격으로 교반한다.

#### ■ 단기간 시험

- 흑서기 흑한기를 택하여, 3일~5일 용수 및 열매체를 충전한 상태로 배수없이 노출시킨 후, 열충격 및, 장기 열적성능 변화를 살펴본다.

- 3일~5일 노출한 후, 완전배수실험과 동일한 방법으로 실험한다.

#### ■ 공동 체크 포인트

- 저장조 유량 및 열매체 충전 유량 등은 시험체 반입 시에 저울로 무게를 달아 그 값을 구한다.

- 시험체의 사양(사용설명서 및 사양서, 상세 도면)을 첨부한다.

- 배수개시 시(시수 시)의 전동변 작동은 시간으로 제어하며, 재수 종료 시의 전동변 작동은 적산유량으로 제어한다.

- 시수온도 변화는 매일 배수 시 가능한 한 일정하도록 제어한다.

#### (2) 태양열 온수기 성능시험 알고리즘



■ 일일시험 - 교반식

1일차 : 실험을 수행하기 위하여 시작버튼을 클릭한 후 측정개시

2일차 : 06시 30분 ~ 50분까지 배수(용량 2배 배수 후 배수-시수 $\leq$ 20C 온도제어)

08시 30분 ~ 50분까지 교반

15시 40분 ~ 16시까지 집열면 차폐 경고메세지/경고음

16시 00분 ~ 20분까지 교반

21시 00분 ~ 20분까지 교반

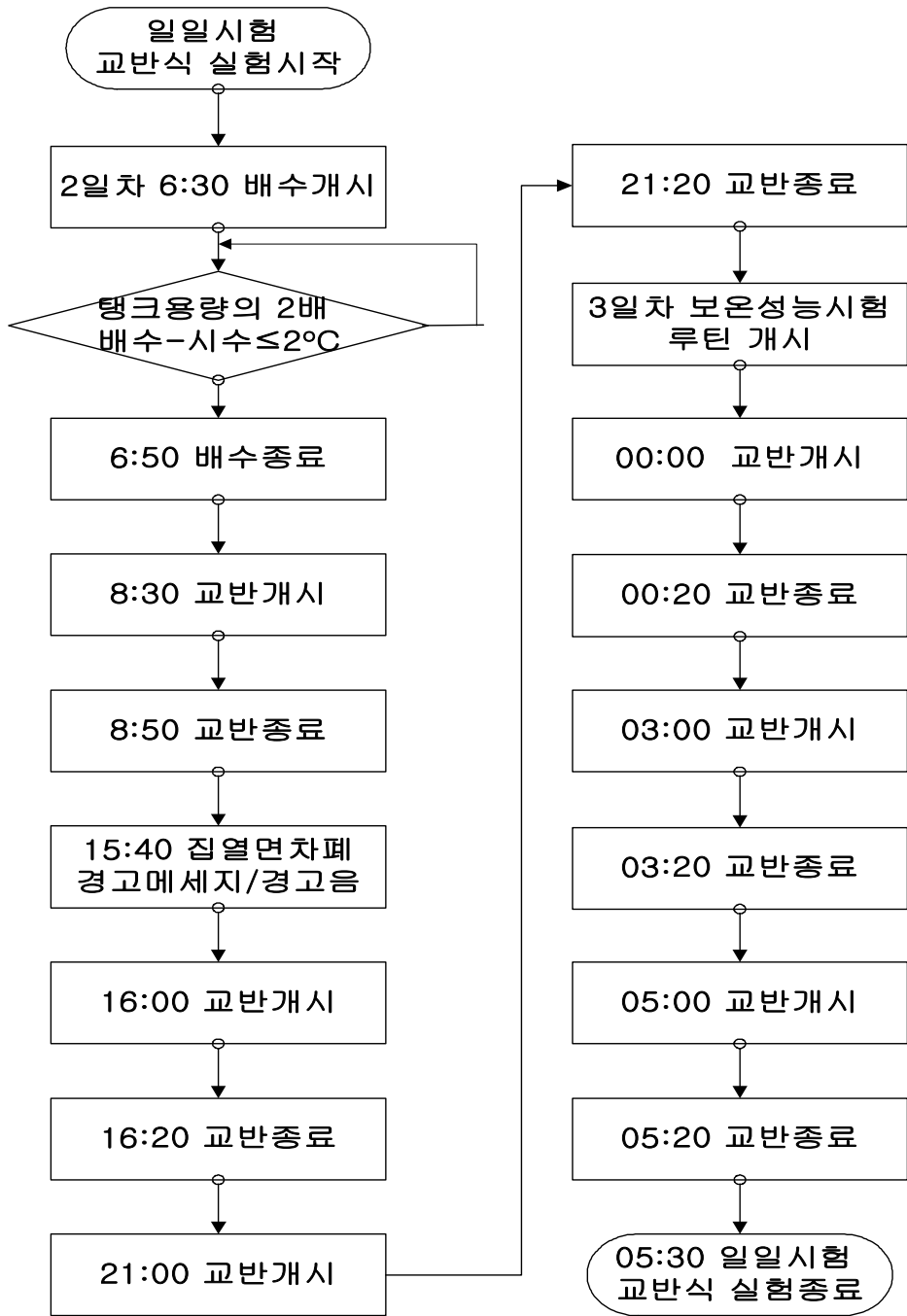
3일차 : 보온성능시험 루틴 수행

00시 00분 ~ 20분까지 교반

03시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 30분 실험종료



■ 일일시험 - 배수식

1일차 : 실험을 수행하기 위하여 시작버튼을 클릭한 후 측정개시

2일차 : 06시 20분 ~ 50분까지 배수

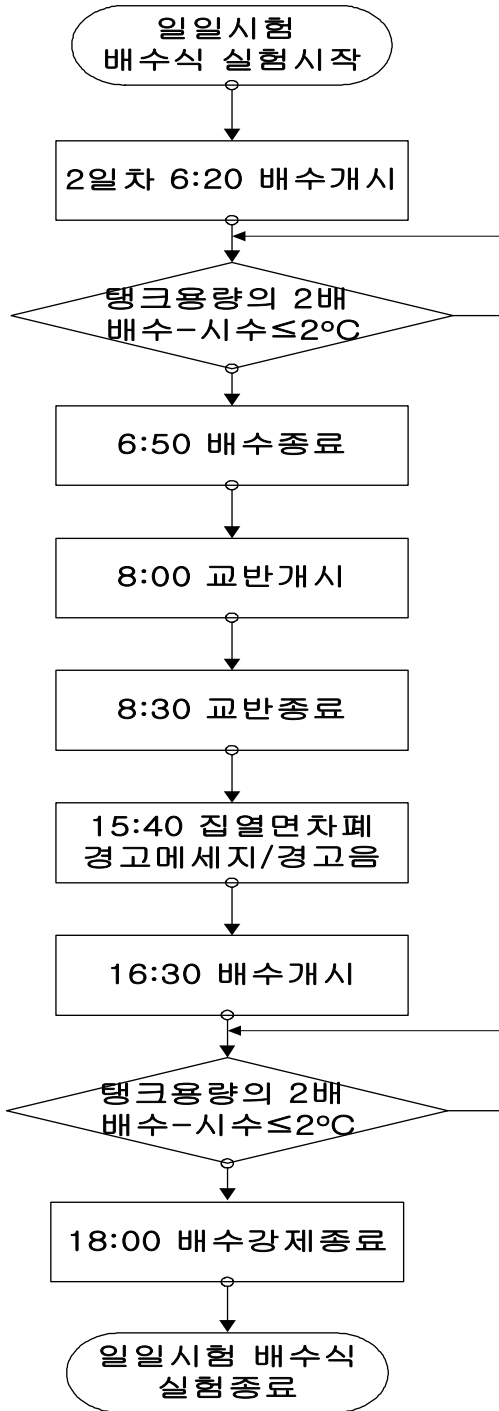
(용량의 2배만큼 배수 한 후 배수-시수 $\leq$ 20C 온도 제어에 의해서 정지)

08시 00분 ~ 30분까지 교반

15시 40분 ~ 16시까지 집열면 차폐 경고메세지/경고음

16시 30분부터 용량의 2배만큼 배수 한 후 배수-시수 $\leq$ 20C 온도제어에 의하여 배수정지 (1시간안에 배수가 종료되면 실험종료)

18시에 배수가 완전종료가 되었는지 확인 후 배수가 종료되지 않으면 강제종료



■ 단기간시험

1일차 - 4일차 계속 노출 및 측정

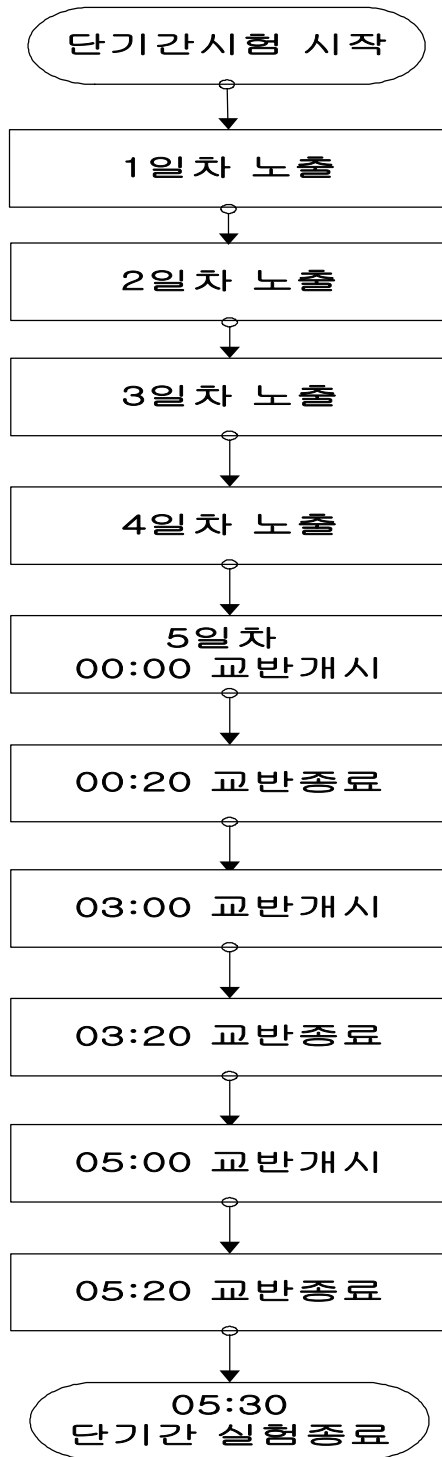
5일차 :

00시 00분 ~ 20분까지 교반

03시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 30분에 실험종료



## ■ 연속배수시험

1일차 : 시수 후 노출

2,3,4,5,6일차

06시 30분 ~ 50분까지 교반

07시부터 15% 배수

08시부터 15% 배수

11시부터 10% 배수

13시부터 10% 배수

15시부터 12.5% 배수

16시부터 12.5% 배수

17시부터 12.5% 배수

18시부터 12.5% 배수

7일차

17시까지의 용량의 2배, 배수-시수 $\leq 20^{\circ}\text{C}$  온도제어에 의하여 배수

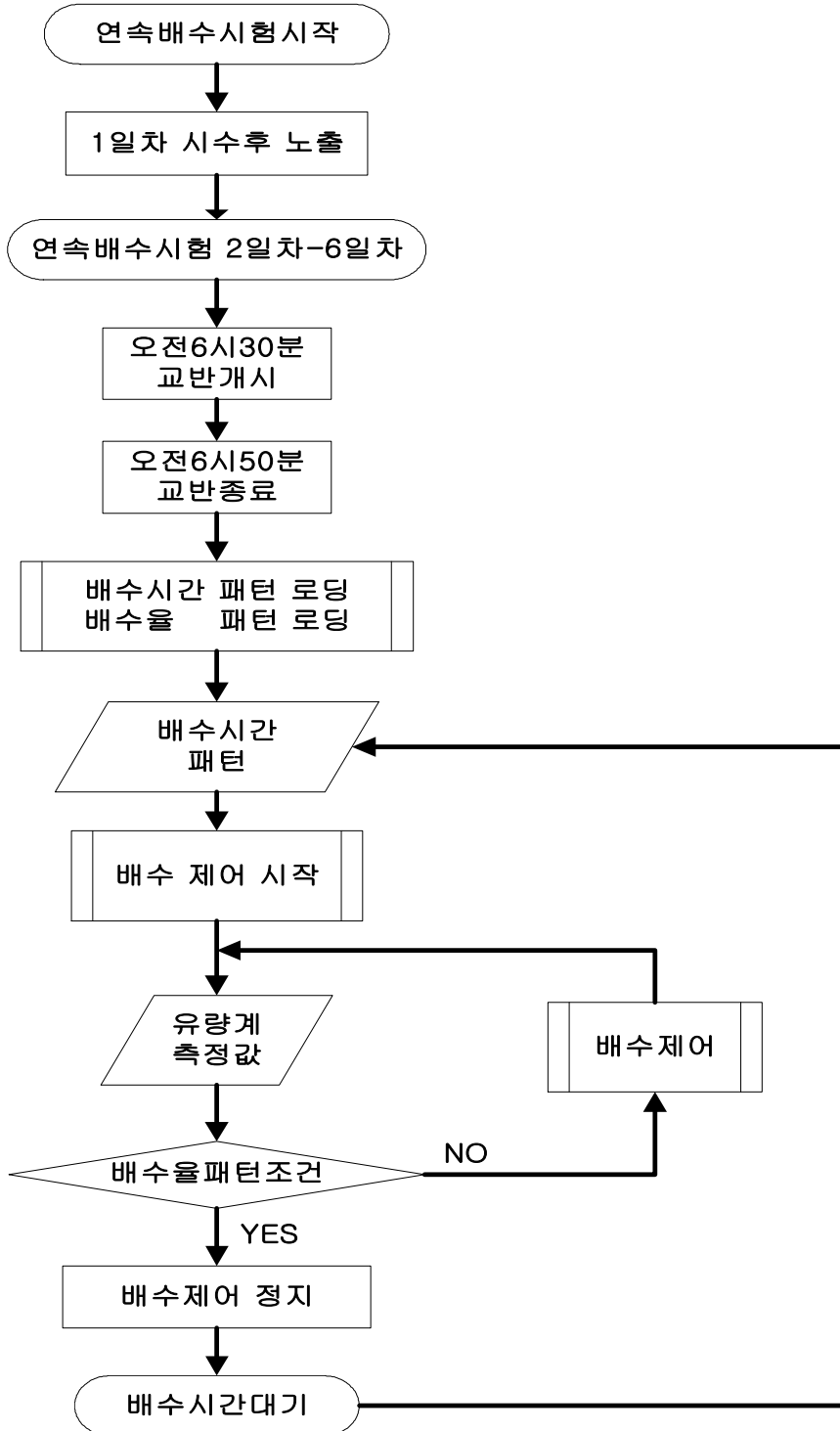
18시 00분부터 배수 (1시간안에 배수가 종료되면 실험종료)

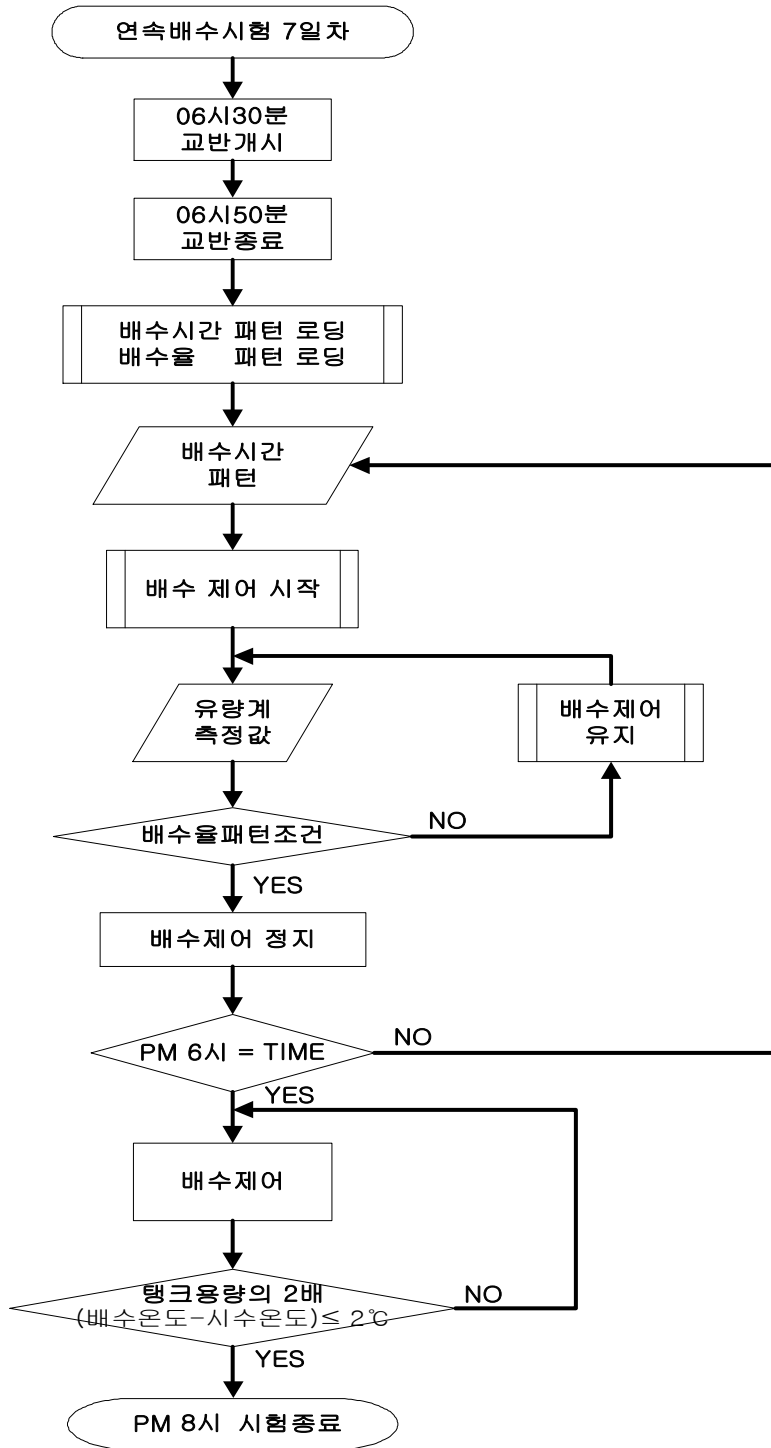
20시에 배수가 완전종료가 되었는지 확인후 배수가 종료되지 않은  
게 있으면 강제종료

Drainage time and discharge rate

배수 시간 패턴	배수율(%) 패턴	비고
오전 7시	15	아침 30%
오전 8시	15	
오전 11시	10	점심 20%
오후 1시	10	
오후 3시	12.5	저녁 50%
오후 4시	12.5	
오후 5시	12.5	
오후 6시	12.5	







## 2. 태양열 시스템 성능 평가

태양열온수시스템의 성능평가를 위해 한국에너지기술연구원과 한국표준협회에서는 일정한 기준을 마련해 두고 있다. 따라서 이러한 기준을 바탕으로 태양열온수시스템의 성능평가 함수에 필요한 계측인자들의 데이터를 보다 정확하게 측정하기 위한 실험 알고리즘 구성이 매우 필요하다.

### (1) 열성능 시험 환경

#### ① 시험 온수기

온수기는 시험 전에 다음사항을 고려해야 한다.

##### i) 보조열원

보조열원이 있는 온수기는 스위치를 끈 상태로 시험한다.

##### ii) 시험 온수기 설치

제작자의 지시에 따라 온수기를 설치한다. 온수기에 포함되어 있는 제어장치는 제작자의 지시대로 설치 및 설정하고, 제작자로부터 별도의 지시가 없을 때에는 시험기관의 규칙에 따른다. 온수기는 시험자의 안전을 유지할 수 있도록 설치되어야 한다. 유리의 파손이나 뜨거운 유체 누출의 가능성을 염두에 두며, 돌풍 등에 대비해야 한다.

강제순환식의 경우, 집열부와 축열조의 연결배관의 총 길이는 15m 정도(공급관 7.5m, 회수관 7.5m)로 한다. 관의 직경과 단열은 제작자의 지시에 따른다. 집열기는 정남향을 기준으로  $\pm 10^\circ$  이내(가능한 한 정남)에 설치하고, 전체 시험 기간동안 집열기 표면에 그림자가 생기지 않는 곳에 설치되어야 한다.

집열기는 시험 기간 동안 지표면이나 주변 건물로부터 반사된 태양 복사에 영향을 받지 않아야 하며, 시야 범위 내에서 장애물의 영향이 무시될 수 있는 곳에 설치되어야 한다. 일부 집열기 중에는, 작동 중 집열기 표면의 0-3m/s 범위의 풍속에

영향을 받는다. 따라서 풍속에 민감한 집열기는 집열기의 전후면 및 양 측면에 대해서 3 ~ 5m/s의 공기가 통풍되도록 설치해야 한다. 상승기류와 같은 따뜻한 공기의 흐름이 온수기 위로 지나가게 해서는 안된다. 빌딩의 옥상에서 시험시 온수기는 옥상의 모서리로부터 적어도 2m 떨어진 곳에 위치해야 한다. 집열기의 설치 경사각은 제작자의 지시를 따르되, 별도의 지시가 없을 경우, 30°로 한다. 지붕과 통합되도록 설계된 집열기(예 : 지붕일체형)는 바람으로부터 집열기의 뒷면을 보호해야 한다.

### iii) 시험회로

그림. 11 에서 예시된 시험회로를 사용한다. 회로에서 사용되어진 배관의 재료는 유체의 온도에 대해 95°C까지 견딜 수 있는 재료를 선택한다. 특히, 급수온도 조절기와 축열조 입구측 배관은 수온이 주위의 영향을 받지 않도록 유의해야 한다. 배관의 단열은 열손실율이 0.2W/K 보다 낮아야 한다. 온도센서 설치 지점과 축열조 사이의 배관은 단열, 반사, 비바람에 견디는 덮개를 확장 설치하여 보호되어야 한다.

유량 제어기와 유량계는 냉수입구 배관에 설치되어서 온도 변화에 의한 영향을 받지 않도록 한다. 또한, 배수관은 축열조 입구 바로 앞의 냉수관에 설치되어야 한다. 경사각은 시험 결과와 함께 기록된다. 시험기간 동안 사용할 열매체는 제작자에 의해 추천된다. 강제 순환 시스템을 시험할 경우 제작자가 추가하는 제어기에 의해 제어되는 유량이 사용되어야 한다.

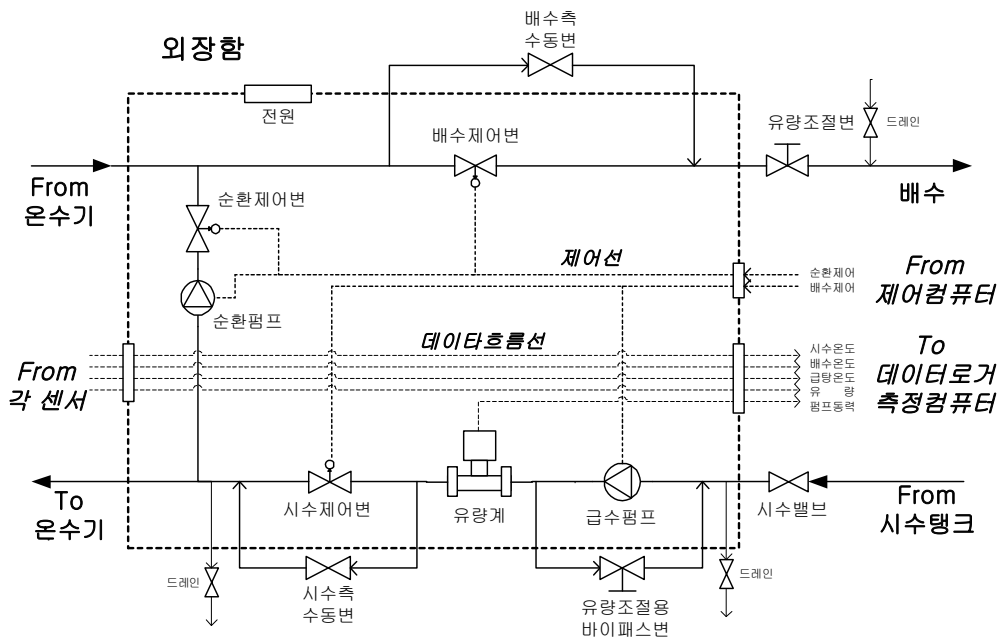


Fig. 2.8 Diagram of solar water heater tester

## ② 측정장치

### i) 일사량

집열면에 입사되는 전일사량을 측정하여야 한다. 수감부의 신호를 처리하는 계측기의 시간응답성의 변화에 대한 오차범위는 1% 미만이어야 한다.  $0.3 \sim 2.5 \mu\text{m}$  파장영역의 측정이 가능하고, 파장영역 내에서 측정오차는 2% 이내이어야 한다. 수감부의 복사에너지에 대한 시간정수는 1초 이내이어야 한다.<sup>14)</sup>

### ii) 온도

온도 측정을 위한 기기의 정확도와 정밀도는 표4을 만족해야 한다. 또한, 응답시간은 5초 이내이어야 한다.

#### - 외기온도

외기온도는 대략 지상 위 1m 이상, 집열기로부터 1.5m 이상 떨어져야 하고 온수기 설치장소로부터 10m 이내의 그늘진 곳에서 측정되어야 한다. 장치는 영향을 미칠 수 있는 높은 굴뚝, 냉각탑 또는 고온소각로의 등이 주위에 없어야 한다.

#### - 시수온도

시수온도( $t_{main}$ )는 “5.7.2 시험조건”에 제시된 값들로 조절되어야 한다. 시수온도를 균일하게 제어하기 위한 장치는, 온도제어장치가 포함된 축열조 또는 온수탱크와 냉수탱크의 물을 혼합하는 장치로 구성할 수 있다.

시수온도는 순간유량이  $10 \text{ l/min}$  일 때, 배수의 시작과 끝 사이 기간에  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  이내로 제어할 수 있도록 한다.

Table 2.4 Accuracy and degree of precision for temperature measurement

측정대상	측정기기 정확도	측정기기 정밀도
외기 온도	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
냉수 및 온수온도와 기타 유체의 온도	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

iii) 유량

측정의 정확도는  $\pm 1\%$  이내이어야 한다. 펌프에 의한 가압 순환으로 시험할 때,  $\pm 5\%$ 의 정확도를 지닌 유량계를 집열회로에 설치해야 한다.

iv) 질량

질량 측정은  $\pm 1\%$ 의 정확도로 측정되어야 한다.

v) 경과 시간

경과 시간 측정은  $\pm 0.20\%$ 의 정확도로 측정되어야 한다.

vi) 풍속

풍속은  $\pm 0.5\text{m/s}$ 의 정확도를 유지하여야 하고, 측정기간 중 일정시간 누적치의 평균을 산정한다.

## (2) 열성능 시험

### ① 시험종류 및 절차

- 집열성능시험 : 온수기의 열성능 인자를 구하기 위한 시험으로 최소 6일 이상 독립적으로 수행한다.

- 온수 사용성능시험 : 온수 사용 시 유입되는 냉수의 혼합에 의한 출탕온도의 변화성향을 알아보기 위한 시험으로 축열조의 온도성층화 성능과 직접적인 관련이 있다.

- 보온성능시험 : 축열조의 열손실율을 산출하기 위한 시험으로 일사가 없는 밤에 수행하거나, 일사를 차단한 상태에서 수행한다.

- 일일동안 온수기에 입력된 에너지(일사량)와 출력된 에너지(온수 배출량)는 각 시험일에 측정된 데이터를 이용하여 온수기 입출력 열성능 도표로 작성한다. 이것으로부터 온수기 열성능은  $(t_{a(day)} - t_{main})$ 와 일사량을 변수로 갖는 식으로 도출한다.

### ② 시험일수 충분조건

시험은 최소한 다음의 조건을 갖는 4일 이상의 상이한 날에 대해서 합당한 결과를 얻어야 한다.  $[t_{a(day)} - t_{main}]$ 값은  $-5 \sim 20^{\circ}\text{C}$  범위로 한다. 일사량은  $8\text{MJ}/\text{m}^2 \sim 25\text{MJ}/\text{m}^2$  범위로 한다.  $[t_{a(day)} - t_{main}]$ 값이  $9^{\circ}\text{C}$  이상 또는 이하의 조건을 갖는 시험일이 추가로 2일 이상 되도록 한다.

### ③ 시험준비

온수기를 면밀히 살펴서 이상이 없는지 확인하고, 집열기 투과체는 깨끗하게 한다. 각 시험일의 시험 시작 전에 축열조에 물을 채운 후,  $10\text{ l}/\text{min}$ 의 유량으로 교환하여 온도구배가 없도록 조치한다.



온수기는 시험 개시 전에 집열회로 내의 열매체를 순환시켜 안정시킨다. 또한 출탕을 위한 배수 중, 시수는 온도제어장치에 의해  $t_{main}$  이 일정하게 유지되어야 한다.

#### ④ 시험 온수기 주위의 풍속

풍속은 집열기 표면 위 50mm인 지점에서 3 ~ 5m/s 사이에 있도록 한다. 집열기 전 면적에 걸쳐 어느 한 지점에서든 평균 풍속의  $\pm 25\%$  를 넘지 않도록 한다. 송풍기를 사용할 경우, 송풍기의 바람의 온도는 집열기 전 면적에 걸쳐 대기 온도의  $\pm 1^\circ\text{C}$  를 넘지 않도록 한다.

#### ⑤ 시험기간 중 측정데이터 기록

시험기간 중, 시험 온수기는 열성능시험 환경에서 주어진 필요조건을 충족시키고, 시험이 종료된 후, 각 시험일마다 태양 정오를 기준으로 전 후 6시간의 노출 중, 다음 각 요소에 대하여 시간당 평균값을 기록한다.

- a) 집열면 전 일사량
- b) 집열면 산란 일사량
- c) 외기 온도
- d) 풍속(송풍기를 사용할 경우, 일회 측정치를 일일평균풍속으로 규정한다)

#### ⑥ 집열성능 시험

노출 전에 축열조에 물을 채우고, 교반하여 축열조 내부수온( $t_{main}$ )을 측정 기록한다. 남중시 6시간 전부터 6시간 후까지 12시간동안 노출시킨다. 남중시 6시간 후에 집열기를 차폐하고, 10 l/min의 일정한 유량으로 시수하여 출탕한다. 출탕 개시 직전에 축열조 시수구(시수 공급관)를 막고, 인접한 배출구를 열어 시수온도가 일정하게 되도록 약 10분 정도 시수를 배출한다. 이는 시수온도 제어장치와 축열조

시수구 사이의 배관 내에 고인 물을 빼어내어 시수온도를 일정하게 하기 위한 조치이다.

출탕되는 배수온도의 측정간격은 최소한 15초 이내로 한다. 출탕량이 축열조 용량의 1/10이 될 때마다 그 출탕간격 중의 배수온도 평균을 기록한다. 배수는  $[t_d - t_{main}] \leq 2^\circ\text{C}$  의 조건을 만족할 때까지 계속한다. 총 출탕량은 축열조 용량의 약 3 배 정도가 될 것이다. 배수온도의 변화는 배수온도 분포도로 작성한다. 배수가 완료되면 축열조 내부의 물을 교반하여 축열조 내부수온을 측정 기록한다. 만일,  $t_{main}$  을 노출 전의 축열조 내부수온과 일치시키는 제어가 어려울 경우, 유량, 시수온도, 배수온도는 10초 이내의 간격으로 동시에 측정 기록하여 열효율 산정을 위한 식에 적용시킬 수 있어야 한다.<sup>15)</sup>

a) 출탕 중의 시수온도  $t_{main}$  은 노출 전 기록된 축열조온도를 기준으로  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  이내로 하고,

변동폭은  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  이내로 한다.

b) 출탕을 위한 시수의 순간유량은  $10 \pm 1 \text{ l/min}$  이내로 한다.

c) 축열조 온도 측정은 분(min.)당 축열조 용량의 1/10이상의 유량으로 20분 이상 교반한 후,

축열조 입출구 온도를 측정하기 시작하여 온도변화율이  $\pm 1^\circ\text{C}$  미만일 때의 온수 온도를 기록한다.

성능시험 결과 및 분석의 절차에 따라 배수 온도 분포 계산의  $Q^*$ 값과  $T_{wh}$  값을 계산한다.

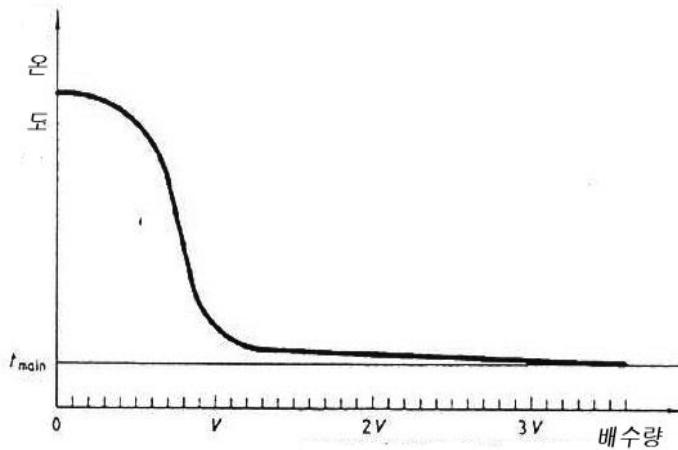


Fig. 2.9 Variation of temperature distribution with displacement

⑦ 온수 사용성능 시험

i) 개요

이 시험은 집열성능 시험으로 작성되는 배수온도 분포도와는 별도로 추가되는 혼합 배수온도 분포도를 작성하여, 온수가 배출되는 동안 탱크 안의 온수와 탱크로 들어가는 냉수 사이의 혼합되는 성향을 알아보기 위해 수행한다.

ii) 시험 방법

이 시험은 실내 또는 실외에서 수행할 수 있다. 실외시험일 경우는, 집열기는 일사광선에 대하여 차폐되거나, 일조가 없는 야간에 수행되어야 한다. 부득이한 경우, 집열부와 축열조 사이에 열교환이 이루어지지 않도록 조치한 상태에서 시험하여야 한다. 축열조 온도가 60°C 이상이 되도록 한다.<sup>16)</sup> 참고로 축열조에 채우는 물은 외부에서 가열해서 채우거나, 미리 물을 채운 후 가열하여도 무방하다.

축열조 내부의 물을 교반한 후 내부수온을 측정 기록한다. 온도 30±2°C 이내의 물(시수)을 10±1 l/min의 유량으로 축열조에 공급하여 출탕을 개시한다. 출탕 중, 시수온도의 변동 폭은 ±0.25°C 이내이어야 한다. 출탕량이 축열조 용량의 1/10이

될 때마다 그 출탕간격 중의 배수온도 평균을 기록한다.

배수는  $[t_d - t_{main}] \leq 1^\circ\text{C}$  또는 출탕량이 축열조 용량의 약 3배 정도가 될 때까지 계속한다. 배수온도의 변화는 혼합 배수온도 분포도로 작성한다.

이 시험과정 중 온수사용성능  $\eta_i$ 는 다음과 같이 구한다.

$$\eta_i = \frac{t_m - t_{main}}{t_i - t_{main}} * 100(\%)$$

여기서

$t_{main}$  : 시수온도

$t_i$  : 축열조 내의 초기온도

$t_m$  : 축열조 저탕량의 1/2 출탕시점에서 2/3까지 출탕했을 때의 평균온도

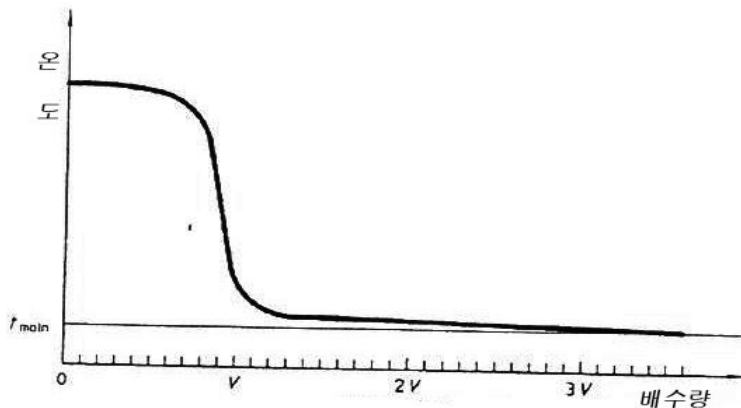


Fig. 2.10 Variation of mixed discharge temperature distribution with displacement

### ⑧ 보온성능 시험

#### i) 개요

이 시험은 열효율 인자와 더불어 태양열온수기 장기성능 예측에 필수적으로 포함되는 축열조의 열손실계수를 산출하기 위해서 수행된다. 실내시험 경우, 온수기

주변의 벽체 및 기타 물체에서 방사되는 20℃ 이상의 복사열을 차단하기 위한 복사막을 집열기 전면에 설치하거나, 축열조 만 별도로 떼어내어 수행한다. 실외시험 일 경우, 일몰 후로부터 일출 전 사이의 야간에 수행한다.

ii) 시험 방법

축열조의 온수가 60℃ 이상 또는 대기온도보다 35℃ 이상이 되도록 한다. 축열조에 채우는 물은 외부에서 가열하여 채우거나, 미리 물을 채운 후 가열하여도 무방하다. 축열조의 물을 교반하여 온도를 측정 기록한다.

집열기가 일사나 외부의 복사열에 영향을 받지 않은 상태로 축열조를 최소한 6시간 이상 방치한다. 방치 중, 1시간 간격으로 외기온도를 측정 기록한다. 6시간이 경과되면 축열조의 물을 교반하여, 온도를 측정 기록한다.

(식 1)에 따라 축열조 열손실을  $U_s$  를 구한다.

$$U_s = \frac{\rho_w C_{pw} V_s}{\Delta t} \ln \left[ \frac{t_i - t_{as(av)}}{t_f - t_{as(av)}} \right] \quad (1)$$

여기서

$\rho_w$  : 물의 밀도,  $\text{kg/m}^3$

$V_s$  : 축열조 용량,  $l$

$t_i$  : 초기 축열조 온도,  $^{\circ}\text{C}$

$t_f$  : 최종 축열조 온도,  $^{\circ}\text{C}$

기 온도,  $^{\circ}\text{C}$

$\Delta t$  : 축열조 방치시간(hr)

$C_{pw}$  : 물의 정압비열,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$\Delta t$  : 시간 간격,  $s$

$t_{main}$  : 시수 공급 온도,  $^{\circ}\text{C}$

$t_{as(av)}$  : 축열조 주위에 인접한 공기 온도,  $^{\circ}\text{C}$

(3) 성능시험 결과 및 분석

시험 결과는 시험데이터를 이용하여 ( $t_{a(day)} - t_{main}$ )의 여러 가지 값에 대해  $H$  (일사량)값을 x축으로 하고,  $Q$ (일일 에너지 집열량)를 y축으로 한 시스템 열성능도표로 나타낼 수 있으며, 이는 다음 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = a_1 H + a_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + a_3 \quad (2)$$

여기서  $H$ 는 온수기 집열면에 떨어진 일일 총 일사량( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )이며,  $Q$ 는 집열성능시험에서 정의된 시험절차에 따라 출탕되는 온수의 온도로부터 산출되는 열량(즉, 집열량)이다. 열성능 인자인 계수  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ 은 측정데이터인  $H$ 와  $Q$ 로부터 최소자승법(least-squares fitting method)을 사용하여 구하였다. 또한, 시험 결과는 다음 식에 의해 나타내어진  $H$ 와  $t_{a(day)} - t_{main}$ 의 다양한 값에 대한 온수 온도증가 ( $t_{a(day)} - t_{main}$ )에 대한 도표로 표현할 수 있다.<sup>17)</sup>

$$t_{d(max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + b_3 \quad (3)$$

시험 결과로 시스템 열성능 도표를 ( $t_{a(day)} - t_{main}$ ) =  $-10^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ 에 대한 4가지 조건에 대해 도시했다. 위와 같은 성능을 파악하기 위해 태양열온수 모니터링 프로그램으로 일일 배수식 시험을 수행한다.

### 3. 태양열 시스템 실증실험 데이터 분석

- 2012년 11월 19일부터 실증 연구일자와 실증실험 타입

2012년 8월 1일부터 2012년 11월 18일까지는 실증실험 테스트를 진행하였다. 아래의 표는 난방 및 온수가 특히 필요한 11월부터 2월까지의 동절기 실증실험 타입과 날짜를 나타내었다.

Table 2.5 Type of winter verification experiment

No	실증날짜	실증실험 타입	No.	실증날짜	실증실험 타입
1	2012.11.19	연속배수식	34	2013.01.10	단기간시험
2	2012.11.21	일일배수식	35	2013.01.11	단기간시험
3	2012.11.22	일일배수식	36	2013.01.12	일일배수식
4	2012.11.24	일일교반식	37	2013.01.13	일일배수식
5	2012.11.25	일일교반식	38	2013.01.16	일일교반식
6	2012.11.26	일일교반식	39	2013.01.17	일일교반식
7	2012.11.27	연속배수식	40	2013.01.18	일일교반식
8	2012.11.28	연속배수식	41	2013.02.02	연속배수식
9	2012.11.29	연속배수식	42	2013.02.03	연속배수식
10	2012.11.30	연속배수식	43	2013.02.04	연속배수식
11	2012.12.01	연속배수식	44	2013.02.05	연속배수식
12	2012.12.02	연속배수식	45	2013.02.06	연속배수식
13	2012.12.08	연속배수식	46	2013.02.07	연속배수식
14	2012.12.09	연속배수식	47	2013.02.08	연속배수식
15	2012.12.10	연속배수식	48	2013.02.09	연속배수식
16	2012.12.11	연속배수식	49	2013.02.10	일일교반식
17	2012.12.12	연속배수식	50	2013.02.11	일일교반식
18	2012.12.13	연속배수식	51	2013.02.12	일일교반식
19	2012.12.14	연속배수식	52	2013.02.13	일일배수식



20	2012.12.15	연속배수식	53	2013.02.14	일일배수식
21	2012.12.16	연속배수식	54	2013.02.16	단기간시험
22	2012.12.17	연속배수식	55	2013.02.17	단기간시험
23	2012.12.18	연속배수식	56	2013.02.18	단기간시험
24	2012.12.19	연속배수식	57	2013.02.19	단기간시험
25	2012.12.20	연속배수식	58	2013.02.20	단기간시험
26	2012.12.21	연속배수식	59	2013.02.21	연속배수식
27	2012.12.26	일일교반식	60	2013.02.23	연속배수식
28	2012.12.27	일일교반식	61	2013.02.24	연속배수식
29	2012.12.28	일일교반식	62	2013.02.25	연속배수식
30	2012.12.29	일일배수식	63	2013.02.26	연속배수식
31	2012.12.30	일일배수식	64	2013.02.27	연속배수식
32	2013.01.08	단기간시험	65	2013.02.28	연속배수식
33	2013.01.09	단기간시험	66	2013.02.28	연속배수식

1월 19일부터 31까지 또 다시 실증실험 테스트 및 시스템 정비를 진행하였으며, 아래의 표는 하절기 실증실험 타입과 날짜를 나타내었다.

Table 2.6 Type of summer verification experiment

No.	실증날짜	실증실험 타입	No.	실증날짜	실증실험 타입
1	2013.03.02	연속배수식	56	2013.04.29	단기간시험
2	2013.03.03	연속배수식	57	2013.04.30	단기간시험
3	2013.03.04	연속배수식	58	2013.05.04	연속배수식
4	2013.03.05	연속배수식	59	2013.05.05	연속배수식
5	2013.03.06	연속배수식	60	2013.05.06	연속배수식
6	2013.03.07	연속배수식	61	2013.05.07	연속배수식
7	2013.03.08	연속배수식	62	2013.05.08	연속배수식
8	2013.03.09	단기간시험	63	2013.05.09	연속배수식
9	2013.03.10	단기간시험	64	2013.05.10	연속배수식
10	2013.03.11	단기간시험	65	2013.05.11	단기간시험
11	2013.03.12	단기간시험	66	2013.05.12	단기간시험
12	2013.03.13	단기간시험	67	2013.05.13	단기간시험
13	2013.03.14	일일배수식	68	2013.05.14	단기간시험
14	2013.03.15	일일배수식	69	2013.05.15	단기간시험
15	2013.03.16	일일교반식	70	2013.05.18	일일교반식

16	2013.03.17	일일교반식	71	2013.05.19	일일교반식
17	2013.03.18	일일교반식	72	2013.05.20	일일교반식
18	2013.03.19	연속배수식	73	2013.05.22	일일배수식
19	2013.03.20	연속배수식	74	2013.05.23	일일배수식
20	2013.03.21	연속배수식	75	2013.05.25	연속배수식
21	2013.03.22	연속배수식	76	2013.05.26	연속배수식
22	2013.03.23	연속배수식	77	2013.05.27	연속배수식
23	2013.03.24	연속배수식	78	2013.05.28	연속배수식
24	2013.03.25	연속배수식	79	2013.05.29	연속배수식
25	2013.03.26	단기간시험	80	2013.05.30	연속배수식
26	2013.03.27	단기간시험	81	2013.05.31	연속배수식
27	2013.03.28	단기간시험	82	2013.06.01	연속배수식
28	2013.03.29	단기간시험	83	2013.06.02	연속배수식
29	2013.03.30	단기간시험	84	2013.06.03	연속배수식
30	2013.03.31	일일교반식	85	2013.06.04	연속배수식
31	2013.04.01	일일교반식	86	2013.06.05	연속배수식
32	2013.04.02	일일교반식	87	2013.06.06	연속배수식
33	2013.04.03	일일배수식	88	2013.06.07	연속배수식
34	2013.04.04	일일배수식	89	2013.06.08	단기간시험
35	2013.04.06	연속배수식	90	2013.06.09	단기간시험
36	2013.04.07	연속배수식	91	2013.06.10	단기간시험
37	2013.04.08	연속배수식	92	2013.06.11	단기간시험

38	2013.04.09	연속배수식	93	2013.06.12	단기간시험
39	2013.04.10	연속배수식	94	2013.06.15	일일배수식
40	2013.04.11	연속배수식	95	2013.06.16	일일배수식
41	2013.04.12	연속배수식	96	2013.06.18	일일교반식
42	2013.04.13	연속배수식	97	2013.06.19	일일교반식
43	2013.04.14	연속배수식	98	2013.06.20	일일교반식
44	2013.04.15	연속배수식	99	2013.06.22	연속배수식
45	2013.04.16	연속배수식	100	2013.06.22	연속배수식
46	2013.04.17	연속배수식	101	2013.06.23	연속배수식
47	2013.04.18	연속배수식	102	2013.06.24	연속배수식
48	2013.04.19	연속배수식	103	2013.06.25	연속배수식
49	2013.04.20	일일교반식	104	2013.06.26	연속배수식
50	2013.04.21	일일교반식	105	2013.06.27	연속배수식
51	2013.04.22	일일교반식	106	2013.06.28	연속배수식
52	2013.04.23	일일배수식	107	2013.06.29	일일배수식
53	2013.04.24	일일배수식	108	2013.06.30	일일배수식
54	2013.04.27	단기간시험	109	2013.07.01	일일교반식
55	2013.04.28	단기간시험	110	2013.07.02	일일교반식
			111	2013.07.03	일일교반식

2012년 11월 1일부터 2013년 7월 3일까지 동절기 실증실험 66번, 하절기 실증실험 111번 총 177개의 데이터를 획득하였으며 연속배수식, 일일교반식, 일일배수식, 단기간시험을 수행하였다. 본 실증실험은 태양열 시스템의 보조열원을 작동하지 않았으며 난방과 온수를 동시에 사용하는 상태에서 진행 되었다.

(1) 2012년 11월 21일 “일일배수식” 실증 실험

## 태양열온수기 배수시험 결과

**진열부**

진열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 진열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 투과 진열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 총진온도  
 21.4 ℃

축열조 시험 후 총진온도  
 52.3 ℃

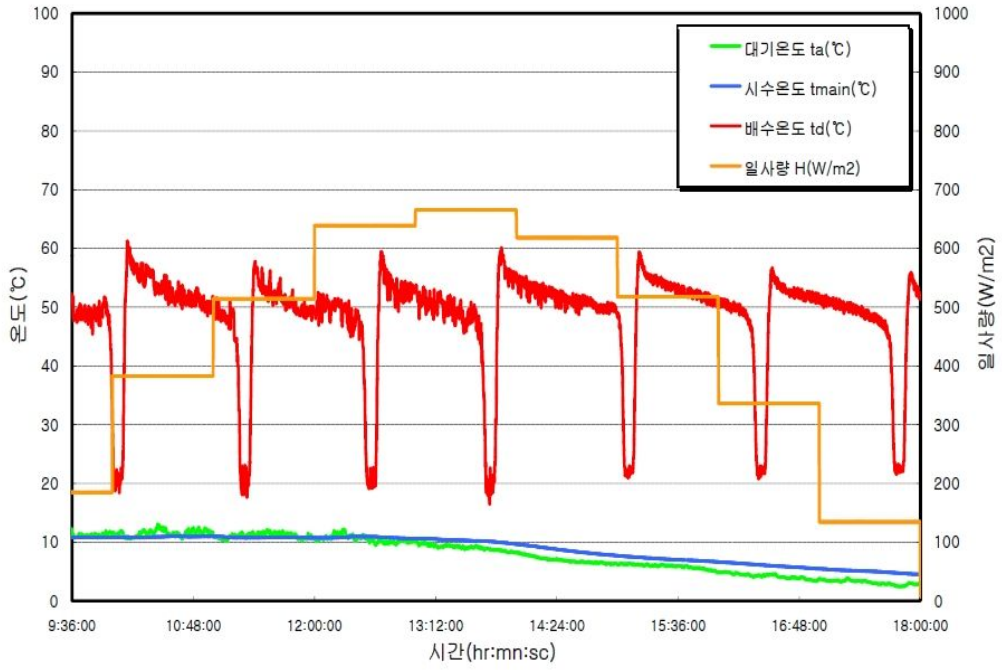
### 온수기 일일 노출

시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 koal	대기온도 t <sub>a</sub> (℃)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	184.86	15.90	11.32	-10.06
09:00	10:00	383.16	32.95	11.54	-9.84
10:00	11:00	514.25	44.22	11.11	-10.27
11:00	12:00	638.61	54.91	10.54	-10.84
12:00	13:00	665.50	57.22	9.09	-12.29
13:00	14:00	618.44	53.18	6.96	-14.42
14:00	15:00	517.61	43.64	5.87	-15.51
15:00	16:00	336.11	28.90	4.23	-17.15
16:00	17:00	134.44	11.56	3.14	-18.24
17:00	18:00	6.72	0.00	3.10	-18.28
		<b>443.66</b>	<b>344.20</b>	<b>8.20</b>	<b>-13.18</b>

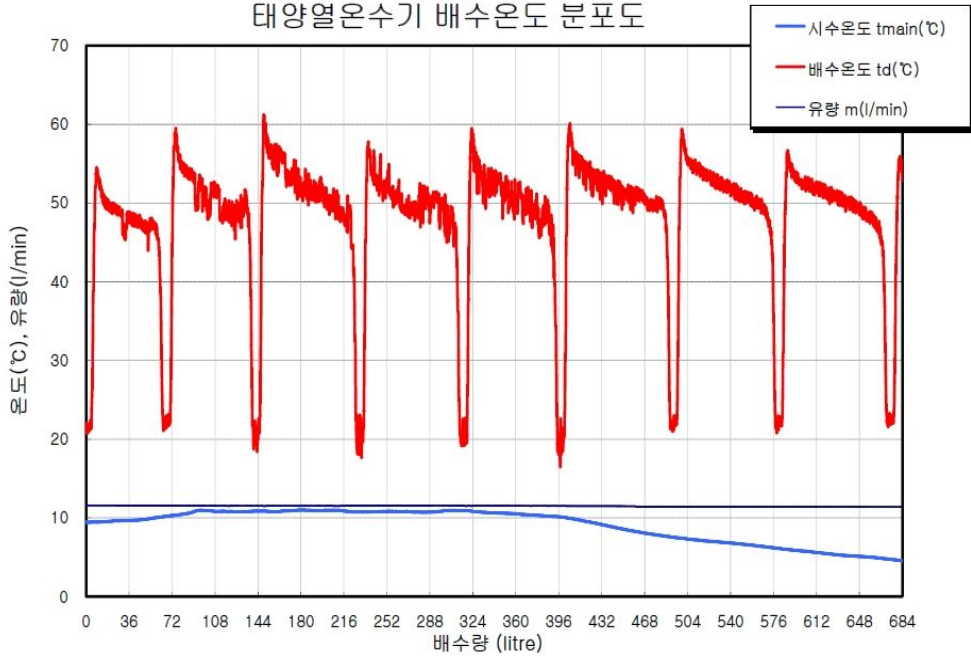
### 온수기 온수 배출

배수비 %	배수량 V <sub>d</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>min</sub> (℃)	배수온도 t <sub>d</sub> (℃)	배출열량 Q(koal)
10%	70	11.59	9.55	45.05	1281.93
20%	140	11.56	9.94	41.09	1122.73
30%	210	11.54	10.69	53.00	1522.18
40%	280	11.53	10.82	44.63	1215.02
50%	350	11.53	10.87	52.56	1505.63
60%	420	11.52	10.96	50.69	1426.95
70%	490	11.57	10.79	44.14	1202.56
80%	560	11.58	10.78	50.31	1418.64
90%	630	11.56	10.88	42.66	1145.64
100%	700	11.54	10.65	52.39	1500.89
110%	770	11.52	10.32	46.66	1312.10
120%	840	11.50	9.69	48.99	1416.19
130%	910	11.47	8.58	51.43	1539.75
140%	980	11.40	7.68	44.47	1321.13
150%	1050	11.40	7.05	53.46	1675.20
160%	1120	11.40	6.52	49.70	1550.05
170%	1190	11.40	5.90	45.88	1443.24
180%	1260	11.40	5.33	50.66	1627.28
190%	1330	11.39	4.86	42.33	1351.85
<b>진열 효율</b>	<b>7.30 %</b>		<b>총 에너지 출력</b>		<b>30239.44</b>
<b>진열 성능</b>	<b>36483.89 kcal/m<sup>2</sup></b>				
<b>예상급탕온도</b>	<b>642.52 ℃</b>				

### 태양열온수기 시험 노출



### 태양열온수기 배수온도 분포도



(2) 2012년 11월 22일 “일일배수식” 실증 실험

## 태양열온수기 배수시험 결과

**집열부**

집열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 집열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 투과 집열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 충전온도  
 22.1 ℃

축열조 시험 후 충전온도  
 32.1 ℃

### 온수기 일일 노출

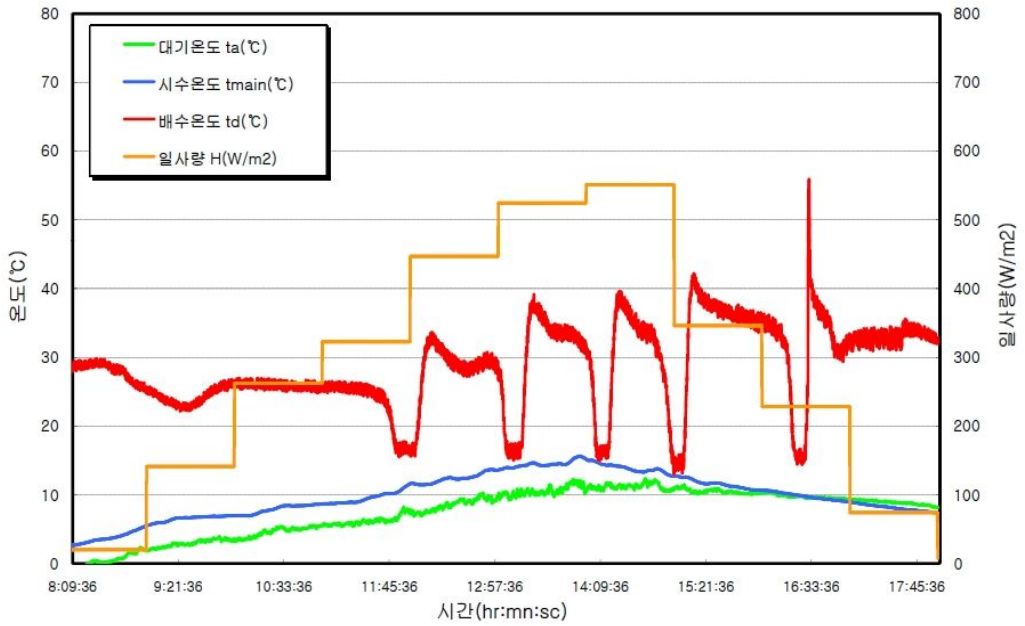
시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 koal	대기온도 t <sub>a</sub> (℃)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	141.16	12.14	2.90	-19.15
09:00	10:00	262.16	22.54	5.00	-17.05
10:00	11:00	322.66	27.74	6.57	-15.48
11:00	12:00	447.02	38.44	8.26	-13.79
12:00	13:00	524.33	45.08	10.13	-11.92
13:00	14:00	551.22	47.40	10.72	-11.33
14:00	15:00	346.19	29.19	10.26	-11.79
15:00	16:00	228.55	19.65	9.74	-12.31
16:00	17:00	73.90	6.35	9.00	-13.05
17:00	18:00	6.72	0.00	8.46	-13.59
		<b>321.91</b>	<b>250.27</b>	<b>8.06</b>	<b>-13.99</b>

### 온수기 온수 배출

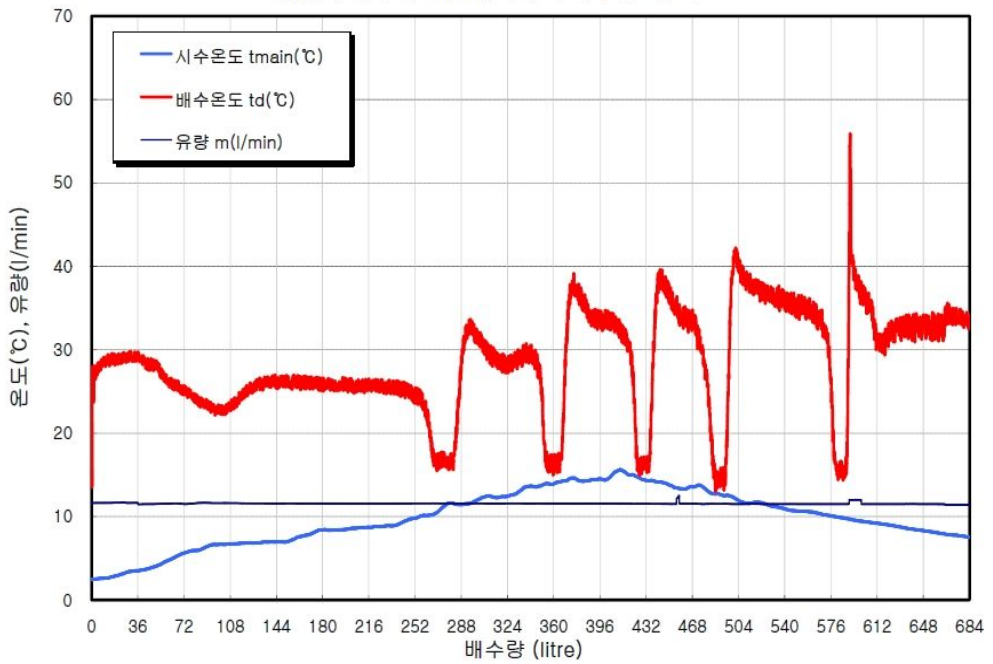
배수비 %	배수량 V <sub>g</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>min</sub> (℃)	배수온도 t <sub>d</sub> (℃)	배출열량 Q(koal)
10%	70	11.39	2.13	47.02	1618.76
20%	140	11.38	1.88	40.18	1380.70
30%	210	11.38	1.66	47.87	1666.12
40%	280	11.39	1.45	44.84	1556.05
50%	350	11.38	1.28	40.52	1414.64
60%	420	11.38	1.13	45.87	1612.24
70%	490	11.38	1.02	37.43	1312.04
80%	560	11.38	0.87	45.21	1597.78
90%	630	11.38	0.74	42.65	1502.39
100%	700	11.38	0.62	38.01	1347.88
110%	770	11.38	0.51	43.83	1561.92
120%	840	11.38	0.71	39.87	1412.01
130%	910	11.84	0.82	42.33	1491.19
140%	980	11.85	0.80	29.23	1021.21
150%	1050	11.85	0.79	23.18	809.40
160%	1120	11.59	0.87	26.11	907.69
170%	1190	11.55	1.11	28.21	976.05
180%	1260	11.59	1.77	24.40	813.02
190%	1330	11.61	2.90	24.24	767.60
<b>집열 효율</b>	<b>8.25 %</b>	<b>총 에너지 출력</b>			<b>24873.67</b>
<b>집열 성능</b>	<b>41273.85 kcal/m<sup>2</sup></b>				
<b>예상급탕온도</b>	<b>724.91 ℃</b>				



### 태양열온수기 시험 노출



### 태양열온수기 배수온도 분포도



(3) 2012년 12월 16일 “연속배수식” 실증 실험

## 태양열온수기 배수시험 결과

**집열부**

집열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 집열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 투과 집열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 충전온도  
 28.0 °C

축열조 시험 후 충전온도  
 52.6 °C

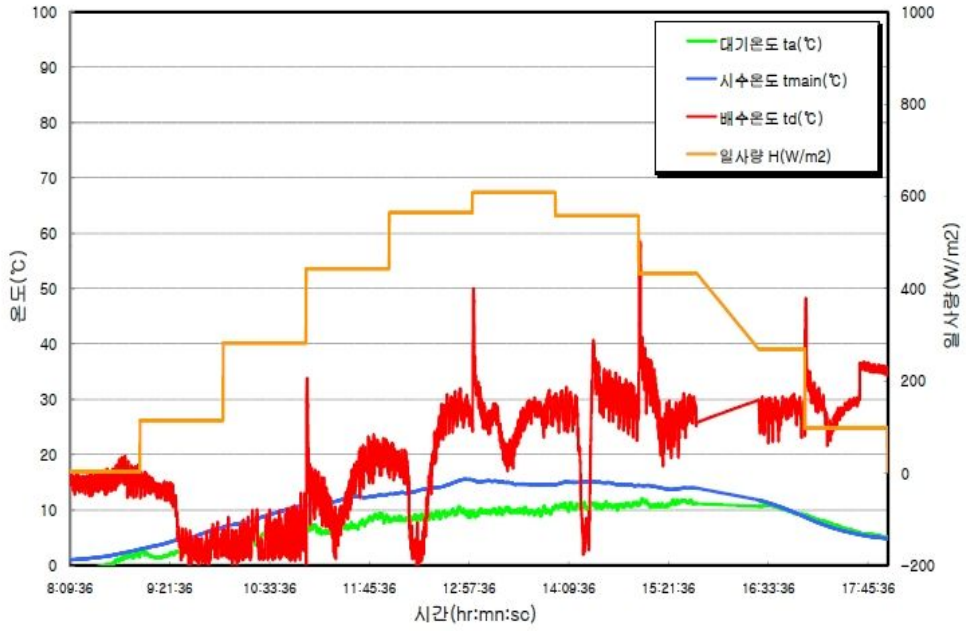
### 온수기 일일 노출

시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 kcal	대기온도 t <sub>a</sub> (°C)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	114.27	9.83	2.77	-25.27
09:00	10:00	282.30	24.27	5.15	-22.89
10:00	11:00	443.66	38.15	7.30	-20.74
11:00	12:00	564.66	48.55	8.97	-19.07
12:00	13:00	608.36	52.31	9.76	-18.28
13:00	14:00	557.94	47.97	10.76	-17.28
14:00	15:00	433.58	25.37	11.19	-16.85
15:00	16:00	268.88	12.84	10.15	-17.89
16:00	17:00	97.47	8.38	6.79	-21.25
17:00	18:00	3.45	0.00	5.03	-23.01
		<b>374.57</b>	<b>267.97</b>	<b>8.09</b>	<b>-19.95</b>

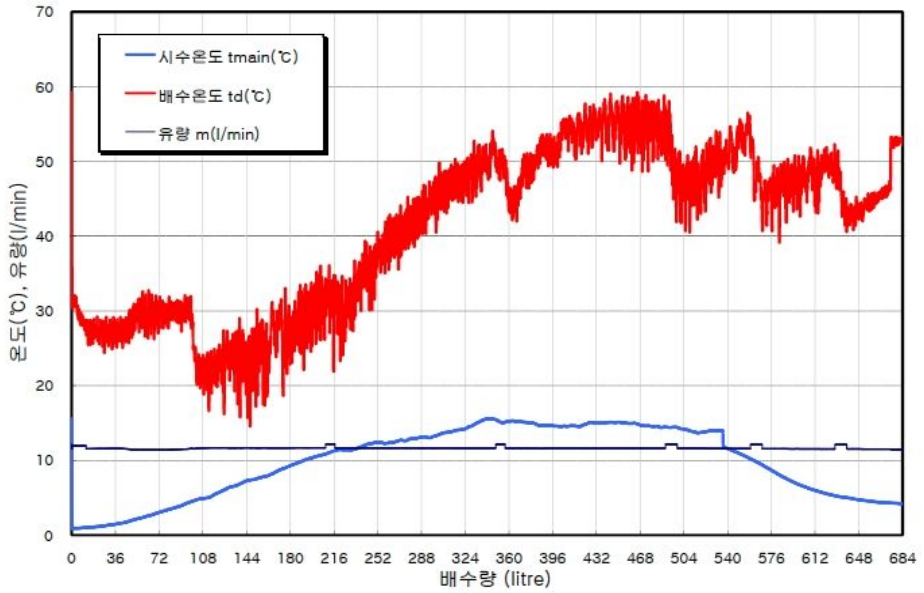
### 온수기 온수 배출

배수비 %	배수량 V <sub>d</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>main</sub> (°C)	배수온도 t <sub>d</sub> (°C)	배출열량 Q(kcal)
10%	70	11.69	1.11	27.86	964.87
20%	140	11.45	2.17	28.74	958.46
30%	210	11.49	3.97	28.36	877.27
40%	280	11.66	6.02	23.16	615.85
50%	350	11.65	8.12	25.35	622.29
60%	420	11.75	10.31	29.63	692.89
70%	490	11.66	11.73	32.96	767.32
80%	560	11.63	12.62	40.60	1003.68
90%	630	11.63	13.59	46.07	1170.76
100%	700	11.73	15.12	49.41	1233.33
집열 효율	7.19%			총 에너지 출력	23183.08
집열 성능	35927.71kcal/m <sup>2</sup>				
예상급탕온도	632.96°C				

### 태양열온수기 시험 노출



### 태양열온수기 배수온도 분포도



(4) 2012년 12월 17일 “연속배수식” 실증 실험

### 태양열온수기 배수시험 결과

**집열부**

집열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 집열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 투과 집열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 충전온도  
 26.7 ℃

축열조 시험 후 충전온도  
 26.2 ℃

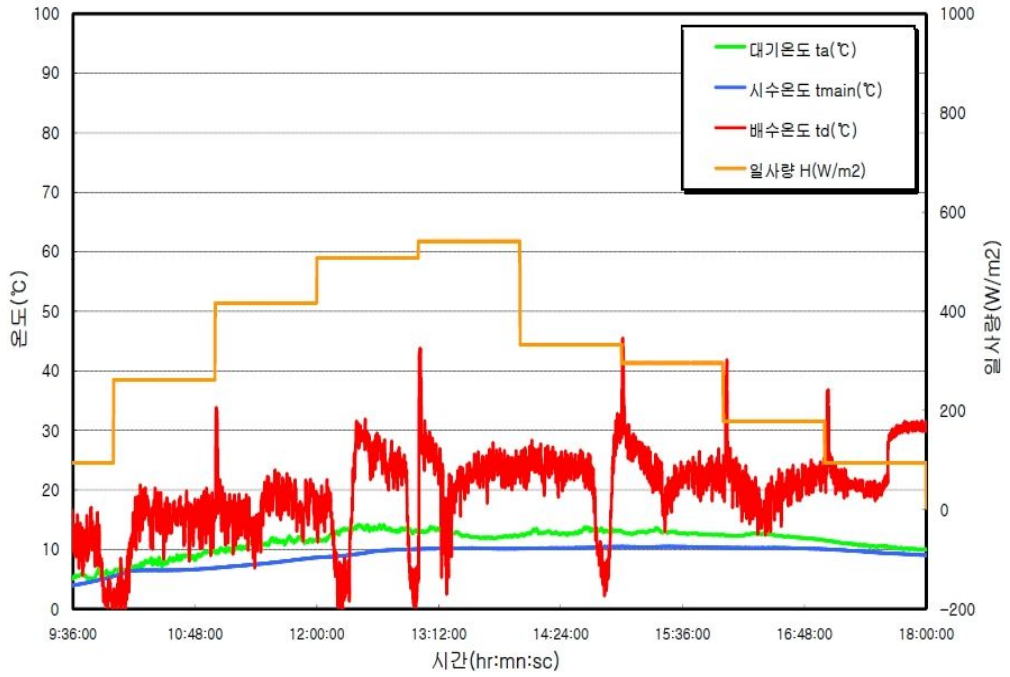
**온수기 일일 노출**

시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 kcal	대기온도 t <sub>a</sub> (℃)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	94.11	8.09	4.76	-21.94
09:00	10:00	262.16	22.54	8.04	-18.66
10:00	11:00	416.77	35.84	10.92	-15.78
11:00	12:00	507.52	43.64	13.12	-13.58
12:00	13:00	541.13	46.53	12.52	-14.18
13:00	14:00	332.75	28.61	12.95	-13.75
14:00	15:00	295.77	24.94	12.78	-13.92
15:00	16:00	178.13	15.32	12.23	-14.47
16:00	17:00	94.47	8.12	10.60	-16.10
17:00	18:00	3.36	0.00	9.96	-16.74
		<b>302.53</b>	<b>233.91</b>	<b>10.88</b>	<b>-15.82</b>

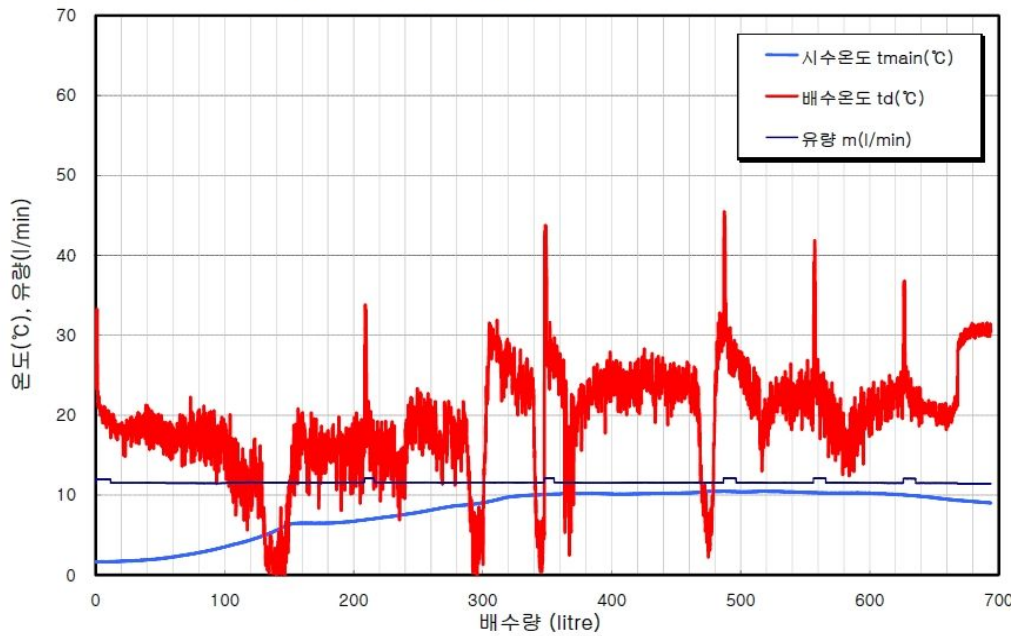
**온수기 온수 배출**

배수비 %	배수량 V <sub>d</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>max</sub> (℃)	배수온도 t <sub>d</sub> (℃)	배출열량 Q(kcal)
10%	70	11.40	2.80	32.04	1055.48
20%	140	11.40	2.89	30.24	982.17
30%	210	11.40	3.13	23.99	753.07
40%	280	11.40	3.45	31.07	991.77
50%	350	11.40	3.40	29.55	943.89
60%	420	11.40	3.16	22.96	711.20
70%	490	11.40	2.99	30.96	1009.42
80%	560	11.40	2.85	29.28	948.70
90%	630	11.40	2.69	23.58	754.39
100%	700	11.40	2.48	28.87	947.70
110%	770	11.40	2.41	28.90	956.43
120%	840	11.40	2.19	26.83	884.75
130%	910	11.60	2.08	30.58	1029.89
140%	980	11.57	1.91	29.72	1002.05
150%	1050	11.44	1.72	21.26	703.93
160%	1120	11.66	1.70	20.06	660.85
170%	1190	11.52	2.01	18.02	578.07
180%	1260	11.49	2.88	17.42	523.23
190%	1330	11.58	4.31	10.95	238.26
집열 효율	10.42 %	총 에너지 출력			29342.77
집열 성능	52093.92 kcal/m <sup>2</sup>				
예상급탕온도	911.02 ℃				

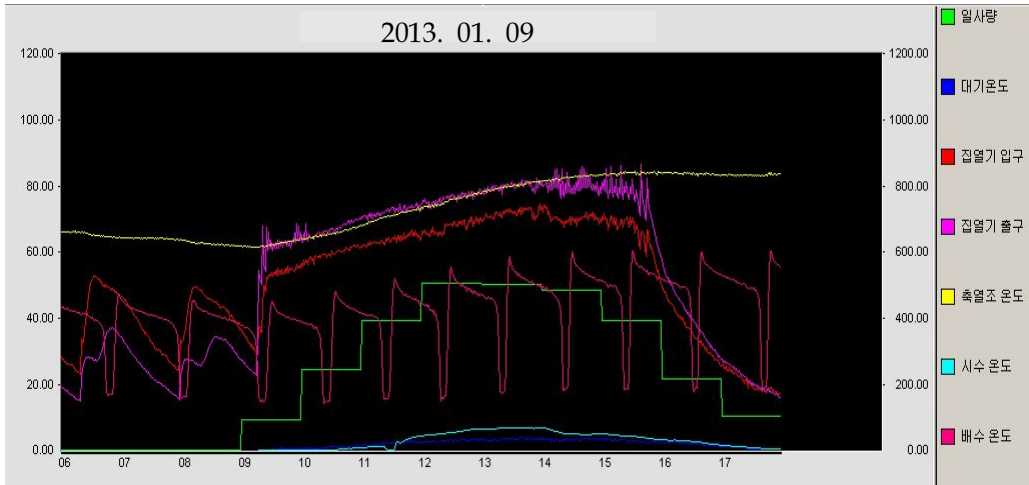
### 태양열온수기 시험 노출



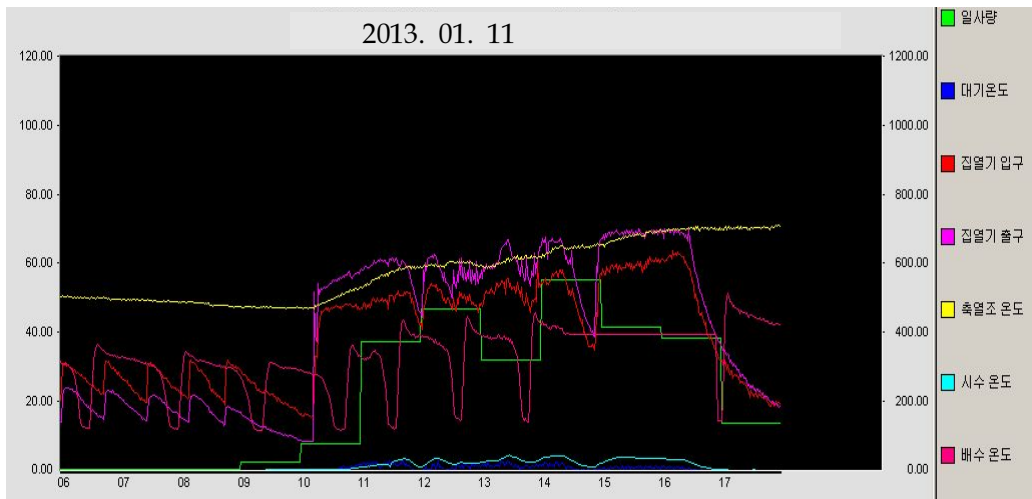
### 태양열온수기 배수온도 분포도



(5) 2013년 1월 9일 “단기간시험 “ 실증 실험



(6) 2013년 1월 11일 “단기간시험 “ 실증 실험



(7) 2013년 1월 16 ~ 1월 18일 “일일교반식 “ 실증 실험

집열성능 시험						
시간(부터)	시간(까지)	일사량 H(w/m²)	적산일사량 Kcal	대기온도 ta(°C)	대기 - 시수 (K)	
08:00	10:00	178.13	0.425	0.12	0.05	
10:00	11:00	178.13	115.239	0.512	0.368	
11:00	12:00	292.41	251.427	1.93	1.796	
12:00	13:00	517.61	445.064	3.643	3.519	
13:00	14:00	554.58	476.853	4.721	4.599	
14:00	15:00	510.88	439.278	4.47	4.31	
15:00	16:00	386.52	332.347	4.867	1.539	
16:00	17:00	278.97	239.871	4.375	-0.022	
17:00	18:00	107.55	92.476	3.724	0.282	
18:00	19:00	16.8	14.445	2.133	-0.263	
19:00	20:00	0.	0.0	0.909	-0.336	
20:00	21:00	0.	0.0	0.248	-0.241	
21:00	22:00	0.	0.0	-0.137	-0.239	
22:00	23:00	0.	0.0	-0.57	-0.561	
23:00	00:00	0.	0.0	-0.849	-1.054	
00:00	01:00	0.	0.0	-1.221	-1.428	
01:00	02:00	0.	0.0	-1.773	-1.98	
02:00	03:00	0.	0.0	-1.607	-1.824	
03:00	04:00	0.	0.0	-2.113	-2.321	
04:00	05:00	0.	0.0	-2.673	-2.894	
05:00	06:00	0.	0.0	-3.066	-3.286	
초기 총진온도 : 56.13		°C	집열효율 : 18.74		%	
노출 후 총진온도 : 74.11		°C				
보온성능 시험						
축열조 초기 수온 : 65.58			평균 외기 온도 : 0.786		평균 열손실 계수	
축열조 최종 수온 : 60.4			시 험 시 간 : 5시간		6.666 kcal/K	



(8) 2013년 2월 3일 “일일배수식 “ 실증 실험

## 태양열온수기 배수시험 결과

**집열부**

집열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 집열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 두과 집열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 충전온도  
 22.3 ℃

축열조 시험 후 충전온도  
 25.5 ℃

### 온수기 일일 노출

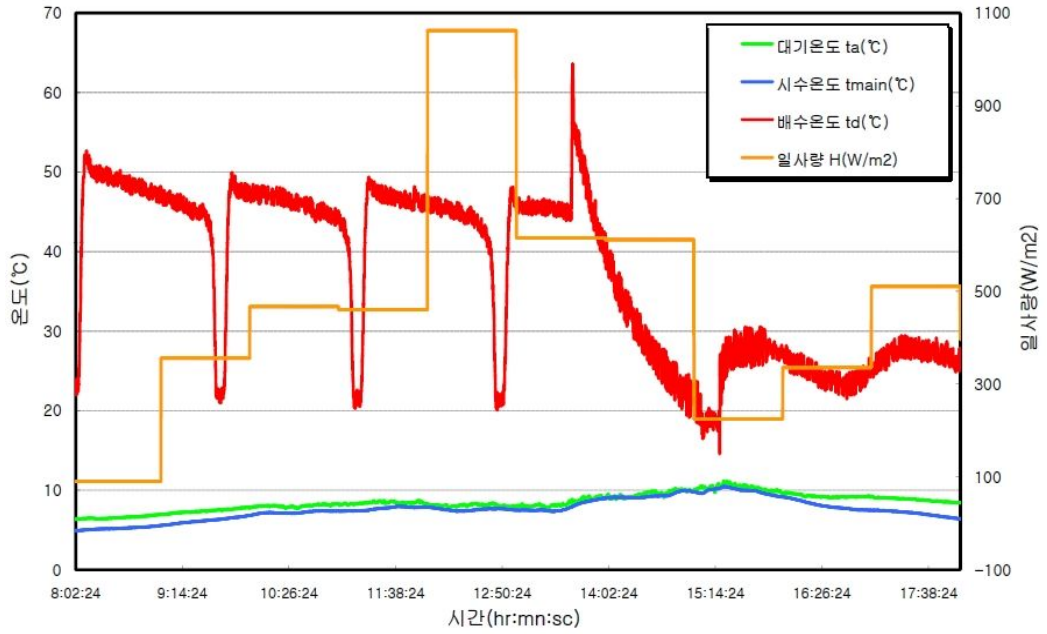
시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 koal	대기온도 t <sub>a</sub> (℃)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	356.27	30.63	7.40	-14.85
09:00	10:00	467.19	40.17	8.03	-14.22
10:00	11:00	460.47	39.59	8.41	-13.84
11:00	12:00	1062.11	91.33	8.09	-14.16
12:00	13:00	615.08	52.89	8.39	-13.86
13:00	14:00	611.72	52.60	9.54	-12.71
14:00	15:00	225.19	18.99	10.31	-11.94
15:00	16:00	336.11	28.90	9.27	-12.98
16:00	17:00	510.88	43.93	8.81	-13.44
17:00	18:00	396.61	0.09	8.42	-13.83
		<b>516.11</b>	<b>406.92</b>	<b>8.70</b>	<b>-13.55</b>

### 온수기 온수 배출

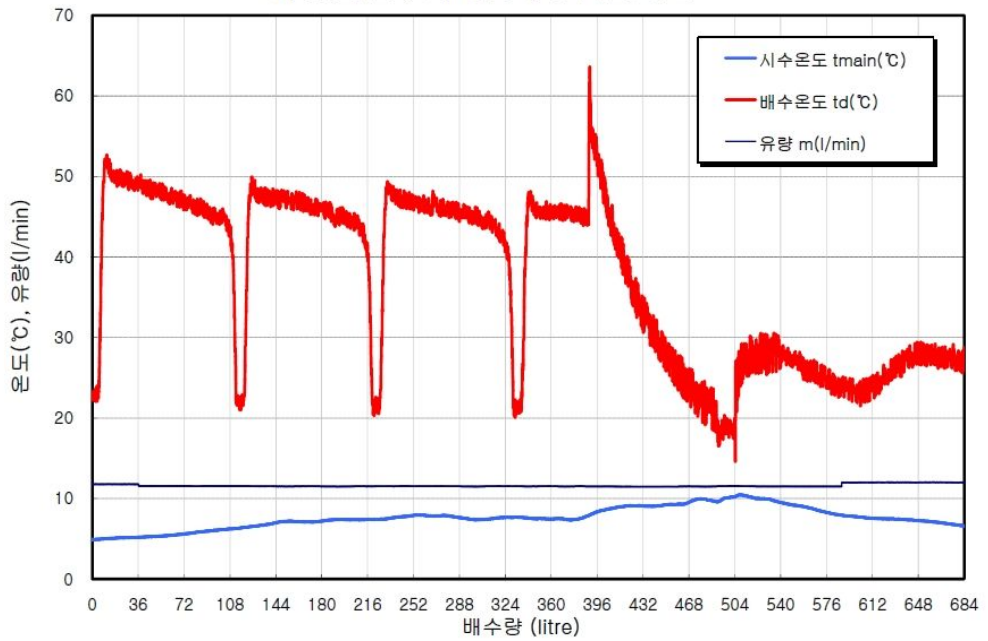
배수비 %	배수량 V <sub>d</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>min</sub> (℃)	배수온도 t <sub>d</sub> (℃)	배출열량 Q(koal)
10%	70	11.77	5.07	44.74	1432.07
20%	140	11.55	5.37	47.98	1534.32
30%	210	11.54	5.94	45.54	1424.16
40%	280	11.53	6.56	40.45	1224.09
50%	350	11.51	7.13	46.77	1422.29
60%	420	11.50	7.37	44.58	1341.48
70%	490	11.53	7.60	40.18	1170.66
80%	560	11.53	7.86	46.27	1387.32
90%	630	11.51	7.50	44.41	1324.09
100%	700	11.52	7.58	38.48	1115.16
110%	770	11.51	7.62	47.24	1421.27
120%	840	11.48	8.89	41.42	1177.07
130%	910	11.48	9.20	28.19	683.15
140%	980	11.51	9.88	20.86	394.00
150%	1050	11.52	10.05	27.37	624.70
160%	1120	11.50	8.94	26.46	631.10
170%	1190	11.83	7.86	23.71	568.96
180%	1260	12.02	7.44	26.15	674.71
190%	1330	12.02	6.97	27.52	740.95
집열 효율	4.19 %			총 에너지 출력	20535.34
집열 성능	20957.29 kcal/m <sup>2</sup>				
예상급탕온도	375.47 ℃				



### 태양열온수기 시험 노출



### 태양열온수기 배수온도 분포도



(9) 2013년 6월 30일 “일일배수식 “ 실증 실험

## 태양열온수기 배수시험 결과

**집열부**

집열기 규격 : 1920\*2126  
 전체 집열면적 : 16.32 m<sup>2</sup>  
 투과 집열면적 : 12.04 m<sup>2</sup>

**저장부**

온수기 형식 : 일체식, 세로형, 강제순환  
 열교환 형식 : 이중탱크, 강제순환  
 축열조 저장량 : 700 litre

축열조 초기 총진온도  
 28.9 ℃

축열조 시험 후 총진온도  
 27.6 ℃

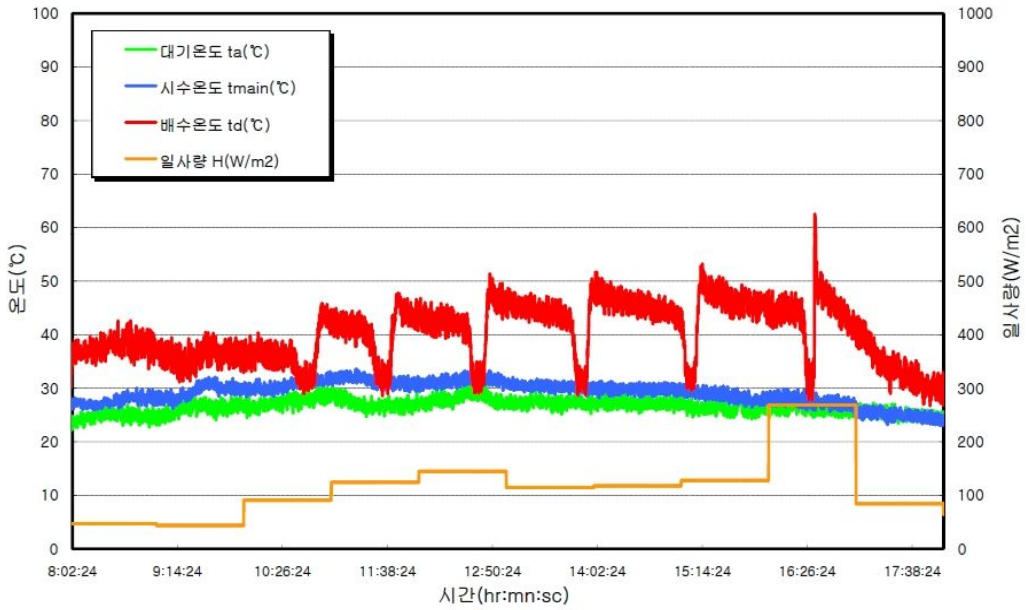
### 온수기 일일 노출

시험시간(Hr)		일사량 H(W/m <sup>2</sup> )	적산일사 koal	대기온도 t <sub>a</sub> (℃)	대기-시수 Δt(K)
부터	까지				
08:00	09:00	43.69	3.76	26.21	-2.69
09:00	10:00	90.75	7.80	27.51	-1.39
10:00	11:00	124.36	10.69	27.13	-1.77
11:00	12:00	144.52	12.43	28.11	-0.79
12:00	13:00	114.27	9.83	27.27	-1.63
13:00	14:00	117.63	10.11	27.16	-1.74
14:00	15:00	127.72	10.77	26.26	-2.64
15:00	16:00	268.88	23.12	26.31	-2.59
16:00	17:00	84.02	7.22	25.17	-3.73
17:00	18:00	63.86	0.02	25.52	-3.38
		<b>123.98</b>	<b>99.79</b>	<b>26.79</b>	<b>-2.11</b>

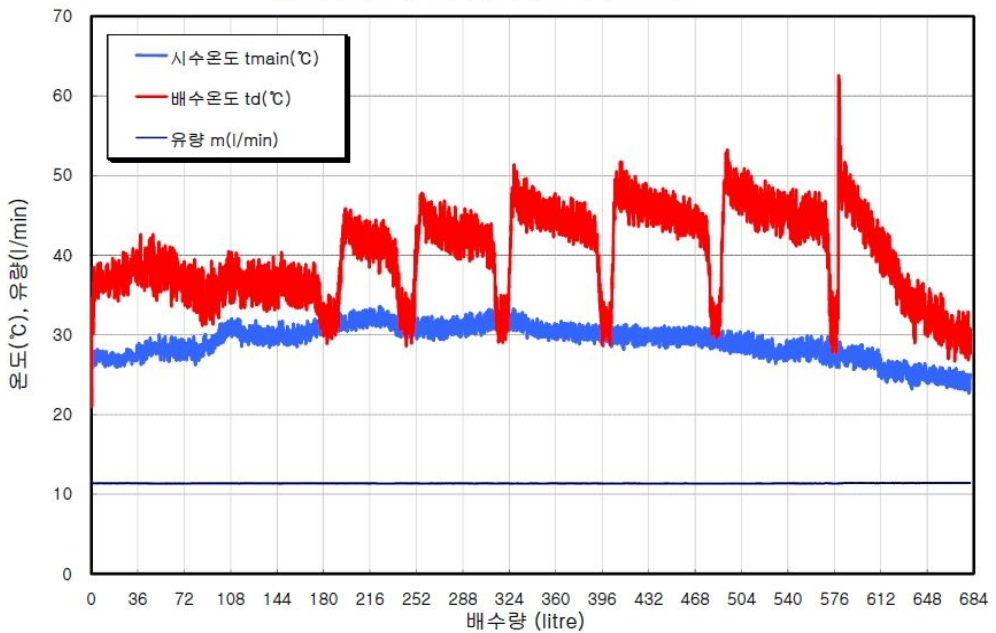
### 온수기 온수 배출

배수비 %	배수량 V <sub>g</sub> (litre)	유량 m(l/min)	시수온도 t <sub>min</sub> (℃)	배수온도 t <sub>g</sub> (℃)	배출열량 Q(koal)
10%	70	11.37	27.08	37.03	359.89
20%	140	11.34	28.19	38.04	354.02
30%	210	11.35	28.91	35.78	246.78
40%	280	11.35	30.13	36.49	228.75
50%	350	11.35	30.25	35.80	200.35
60%	420	11.35	31.52	38.72	258.84
70%	490	11.35	31.54	37.70	221.10
80%	560	11.35	30.89	43.59	458.96
90%	630	11.35	31.60	39.05	267.47
100%	700	11.34	30.94	45.84	535.09
110%	770	11.35	30.30	42.95	456.88
120%	840	11.34	29.81	43.49	491.42
130%	910	11.34	29.77	45.12	554.48
140%	980	11.34	29.36	42.47	470.48
150%	1050	11.34	28.24	46.23	649.54
160%	1120	11.35	28.09	42.84	529.88
170%	1190	11.38	27.09	44.70	634.62
180%	1260	11.40	25.22	35.94	384.96
190%	1330	11.42	24.50	31.03	218.55
집열 효율	6.26 %		총 에너지 출력		7522.07
집열 성능	31302.86 kcal/m <sup>2</sup>				
예상급탕온도	553.41 ℃				

### 태양열온수기 시험 노출



### 태양열온수기 배수온도 분포도



(10) 2013년 7월 1일 7월 3일 “일일교반식 “ 실증 실험

집열성능 시험						
시간(부터)	시간(까지)	일사량 H(w/m <sup>2</sup> )	적산일사량 Kcal	대기온도 ta(°C)	대기 - 시수 (K)	
03:00	04:00	0	0.0	17.815	-3.005	
04:00	05:00	0	0.0	17.545	-2.971	
05:00	06:00	0	0.0	17.72	-2.712	
06:00	07:00	5	5.159	18.582	-2.053	
07:00	08:00	84	72.227	19.758	-1.397	
08:00	09:00	164	141.015	22.381	0.384	
09:00	10:00	487	418.745	25.8	2.334	
10:00	11:00	789	678.418	26.746	1.933	
11:00	12:00	863	744.108	26.75	1.073	
12:00	13:00	816	701.634	27.593	1.611	
13:00	14:00	1119	962.167	28.099	2.092	
14:00	15:00	658	565.778	27.779	1.732	
15:00	16:00	480	412.726	27.339	1.42	
16:00	17:00	591	508.169	28.287	2.009	
17:00	18:00	447	384.351	27.641	1.48	
18:00	19:00	410	352.537	26.987	0.994	
19:00	20:00	174	149.613	24.947	-0.556	
20:00	21:00	23	19.776	24.16	-0.501	
21:00	22:00	0	0.0	23.083	-0.969	
22:00	23:00	0	0.0	22.393	-1.028	
23:00	00:00	0	0.0	22.013	-1.077	
초기 충전온도 : 70.57		°C	집열효율 : 9.39		%	
노출 후 충전온도 : 81.88		°C				
보온성능 시험						
축열조 초기 수온 : 72.58			평균 외기 온도 : 19.326		평균 열손실 계수	
축열조 최종 수온 : 70.96			시 험 시 간 : 5시간		2.471 kcal/K	

(11) 한국에너지기술연구원 열효율 시험 결과 (연구시스템 동일 기준)

집열기 전면적 : 4.08 m<sup>2</sup>    집열기 투과면적 : 3.01 m<sup>2</sup>    기준 열매체 유량 : 0.062 kg/sec

일사량 W/m <sup>2</sup>	유량 kg/sec	대기온도 °C	입구온도 °C	출구온도 °C	변수값 °C·W/m <sup>2</sup>	효 율 η	
						전면적 η <sub>A<sub>t</sub></sub>	투과면적 η <sub>A<sub>0</sub></sub>
952.19	0.0622	15.84	18.49	26.28	0.0028	52.18%	70.76%
975.66	0.0623	16.05	18.52	26.41	0.0025	51.67%	70.07%
968.23	0.0621	16.69	43.99	51.38	0.0282	48.47%	65.74%
968.52	0.0622	17.00	44.06	51.46	0.0279	48.72%	66.07%
950.90	0.0620	16.54	62.84	69.63	0.0487	45.33%	61.47%
952.41	0.0620	17.83	62.97	69.84	0.0474	45.83%	62.15%
918.89	0.0616	17.44	82.73	88.80	0.0711	41.89%	56.81%
907.87	0.0620	17.63	82.87	88.90	0.0719	42.36%	57.45%
853.01	0.0621	16.37	19.68	26.59	0.0039	51.57%	69.93%
859.02	0.0622	16.75	19.73	26.71	0.0035	51.77%	70.21%
866.38	0.0622	17.92	40.16	46.75	0.0257	48.49%	65.76%
885.86	0.0622	18.64	40.17	46.94	0.0243	48.74%	66.10%
874.43	0.0621	19.93	60.98	67.18	0.0469	45.12%	61.18%
877.26	0.0621	20.05	61.00	67.32	0.0467	45.84%	62.17%
780.94	0.0620	24.32	80.40	85.57	0.0718	42.14%	57.14%
769.53	0.0619	24.10	80.44	85.43	0.0732	41.31%	56.01%

히트파이프식 단일 진공관형 태양열 시스템의 온수만 사용 할 때 열효율

(12) 날짜별 배수식 평균온도

Table 2.7 Average temperature of water supply method with days

실증날짜	실증실험 타입	평균 온도(°C)	실증날짜	실증실험 타입	평균 온도(°C)
2012.11.19	연속배수식	57.32	2013.03.23	연속배수식	59.24
2012.11.21	일일배수식	52.29	2013.03.24	연속배수식	61.82
2012.11.22	일일배수식	54.84	2013.03.25	연속배수식	57.29
2012.11.27	연속배수식	49.24	2013.04.03	일일배수식	60.81
2012.11.28	연속배수식	54.29	2013.04.04	일일배수식	63.25
2012.11.29	연속배수식	51.89	2013.04.06	연속배수식	53.84
2012.11.30	연속배수식	52.45	2013.04.07	연속배수식	59.29
2012.12.01	연속배수식	56.89	2013.04.08	연속배수식	53.54
2012.12.02	연속배수식	55.22	2013.04.09	연속배수식	54.94
2012.12.08	연속배수식	58.54	2013.04.10	연속배수식	53.29
2012.12.09	연속배수식	57.69	2013.04.11	연속배수식	55.95
2012.12.10	연속배수식	55.75	2013.04.12	연속배수식	54.25
2012.12.11	연속배수식	56.14	2013.04.13	연속배수식	59.53
2012.12.12	연속배수식	56.89	2013.04.14	연속배수식	54.47
2012.12.13	연속배수식	52.47	2013.04.15	연속배수식	57.89
2012.12.14	연속배수식	54.89	2013.04.16	연속배수식	55.25
2012.12.15	연속배수식	52.26	2013.04.17	연속배수식	60.22

2012.12.16	연속배수식	49.89	2013.04.18	연속배수식	62.62
2012.12.17	연속배수식	42.24	2013.04.19	연속배수식	60.02
2012.12.18	연속배수식	48.67	2013.04.23	일일배수식	58.47
2012.12.19	연속배수식	50.54	2013.04.24	일일배수식	57.86
2012.12.20	연속배수식	47.26	2013.05.04	연속배수식	53.75
2012.12.21	연속배수식	52.65	2013.05.05	연속배수식	56.57
2012.12.29	일일배수식	54.71	2013.05.06	연속배수식	59.26
2012.12.30	일일배수식	53.53	2013.05.07	연속배수식	55.38
2013.01.12	일일배수식	54.78	2013.05.08	연속배수식	60.24
2013.01.13	일일배수식	54.24	2013.05.09	연속배수식	57.89
2013.02.02	연속배수식	55.21	2013.05.10	연속배수식	58.26
2013.02.03	연속배수식	46.38	2013.05.22	일일배수식	56.23
2013.02.04	연속배수식	54.27	2013.05.23	일일배수식	54.96
2013.02.05	연속배수식	59.24	2013.05.25	연속배수식	56.48
2013.02.06	연속배수식	49.21	2013.05.26	연속배수식	59.28
2013.02.07	연속배수식	57.24	2013.05.27	연속배수식	56.46
2013.02.08	연속배수식	55.96	2013.05.28	연속배수식	61.67
2013.02.09	연속배수식	59.32	2013.05.29	연속배수식	58.59
2013.02.13	일일배수식	53.29	2013.05.30	연속배수식	59.61
2013.02.14	일일배수식	59.86	2013.05.31	연속배수식	65.09
2013.02.21	연속배수식	54.32	2013.06.01	연속배수식	57.27
2013.02.23	연속배수식	53.89	2013.06.02	연속배수식	58.85

2013.02.24	연속배수식	50.52	2013.06.03	연속배수식	57.68
2013.02.25	연속배수식	52.59	2013.06.04	연속배수식	62.72
2013.02.26	연속배수식	50.89	2013.06.05	연속배수식	60.15
2013.02.27	연속배수식	52.75	2013.06.06	연속배수식	58.45
2013.02.28	연속배수식	54.23	2013.06.07	연속배수식	63.28
2013.03.02	연속배수식	58.24	2013.06.15	일일배수식	58.51
2013.03.03	연속배수식	60.95	2013.06.16	일일배수식	56.36
2013.03.04	연속배수식	57.21	2013.06.22	연속배수식	59.75
2013.03.05	연속배수식	59.24	2013.06.22	연속배수식	58.23
2013.03.06	연속배수식	60.54	2013.06.23	연속배수식	63.96
2013.03.07	연속배수식	55.27	2013.06.24	연속배수식	64.64
2013.03.08	연속배수식	56.36	2013.06.25	연속배수식	60.25
2013.03.14	일일배수식	58.54	2013.06.26	연속배수식	56.72
2013.03.15	일일배수식	61.84	2013.06.27	연속배수식	55.39
2013.03.19	연속배수식	52.95	2013.06.28	연속배수식	52.65
2013.03.20	연속배수식	56.24	2013.06.29	일일배수식	54.58
2013.03.21	연속배수식	58.56	2013.06.30	일일배수식	48.84
2013.03.22	연속배수식	57.28		평 균	56.33

위의 표 7은 날짜별 08시부터 18시까지 온수와 난방을 같이 사용한 연속배수식과 일일배수식의 평균온도를 나타낸 표이며, 그림14는 날짜별 평균 배수온도 분포도를 나타내었다.

날짜별 평균 배수온도 분포도

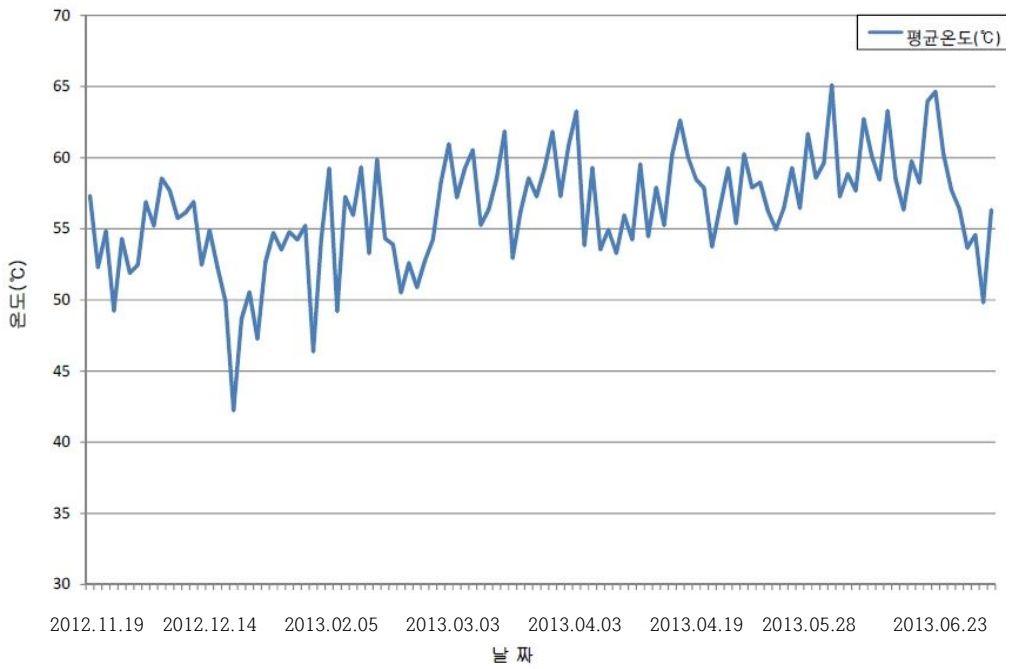


Fig. 2.11 Variation of average drain temperature with date



(13) 평판형 집열기와 단일진공관형 집열기 효율 비교

Table 2.8 Solar system heat collecting performance by enterprise

업 체	Heat collect performance ( $kcal/m^2$ )	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp ( $^{\circ}C$ )
A	2821.61	56	67.01
B	2419.99	48.40	48.02
C	1722.65	34.45	47.99
D	799.22	15.98	29.71
E	153	3.01	17.88
F	1866.69	37.33	44.94
G	2509.03	50.18	67.12
H	2128.34	42.57	54.37
J	1804.01	36.08	48.94
평 균	1802.73	36.00	47.33
선다코리아	36339.92	8.97	56.33

위 표 8은 2004년 산업자원부 “태양에너지 실증연구단지 후속모니터링 사업” 결과 얻어진 업체별 평판형 집열기의 온수 집열성능 비교 표이다.

평판형 집열기는 온수만 사용 하였을 시 평균 47 $^{\circ}C$  인 반면 위의 히트파이프식 단일 진공관형 집열기의 실증실험 데이터를 보듯이 보조열원을 사용하지 않은 상

태에서 온수뿐만 아니라 난방을 같이 사용하여도 평균 56℃의 온도를 가진 것을 알 수 있다. 이는 난방과 온수를 동시에 사용한 히트파이프식 단일 진공관형 집열기가 온수만 사용한 평판형 집열기 보다 효율이 높다는 것을 알 수 있다.

## 제 3 장 결론

- 히트파이프식 단일 진공관형 태양열 시스템의 실증실험은 한국에너지기술연구원과 한국표준협회의 기준을 바탕으로 집열성능시험, 온수사용성능시험, 보온성능시험 이렇게 3가지로 진행하였으며 실험 결과 평판형집열기(40℃ 이하)의 효율보다 높은 에너지(80℃ 이상)를 얻을 수 있었다. 이는 온수 뿐만 아니라 겨울철 건물의 난방용으로 사용하기에 부족함이 없다고 사료된다.

- 본 실증연구에서 사용된 태양열 집열시스템은 기존 온수전용 시스템이 아닌 난방과 온수를 동시에 사용하는 태양열 시스템으로 난방면적  $66.11m^2$ 과 4인가족 기준 온수사용 패턴으로 집열성능을 분석한 결과 집열효율이 평균 9%의 성능을 보였다. 이는 온수사용과 난방을 동시에 함으로 생기는 결과로써 온수전용으로 시스템을 사용하였을 경우 50%의 집열효율을 가지는 것으로 분석되었다.

- 현재 히트파이프식 단일 진공관형 태양열 시스템은 단열하우스에 설치되어 있으며 이는 보온성능을 향상 시켜 보다 적은 에너지로도 난방이 가능하다.

- 기존의 평판형 집열기의 경우 집열기에 문제가 발생할 경우 집열기 전체를 교체 및 수리해야 하는 단점이 있지만 진공관형 집열기는 문제가 되는 집열기만을 교체하면 됨으로써 경제적이고 사후관리가 용이하다.

- 본 실증연구를 통하여 얻어진 데이터를 이용하여 DB를 구축하고 히트파이프식 단일 진공관형 집열기의 성능분석 및 기존 제품 대비 성능비교를 통하여 집열기 성능의 향상과 집열기의 규격화로 제품의 경쟁력을 향상 시킬 수 있다.

- 최근 태양열 집열기의 동향은 평관형 집열시스템에서 효율이 좋은 진공관형 집열시스템으로 대체되고 있는 추세이다. 진공관형 집열기는 중고온용으로 난방과 온수 목적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 태양열 집열 시스템의 성능 검증은 단순히 집열기의 효율 검증에서 그치고 있다. 따라서 진공관형 집열기를 고단열 건물에 적용하여 난방 및 온수 사용시 집열기 성능 검증이 필요하다고 본다.

## REFERENCE

- 1) M.N.A. Hawlader, S.M.A. Rahman, K.A. Jahangeer, Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer. *Energy Convers Manage* 49 (2008) 1612-1619.
- 2) E. Kjellsson, G. Hellstrom, B. Perers, Optimization of systems with the combination of ground-source heat pump and solar collectors in dwellings. *Energy* 35(6) (2010) 2667-2673.
- 3) R. Yumrutas, M. Kunduz, T. Ayhan, Investigation of thermal performance of a ground coupled heat pump system with a cylindrical energy storage tank, *International Journal of Energy Research* 27(11) (2003) 1051-1066.
- 4) C. Xi, Y. Hongxing, L. Lin, W. Jिंगgang, L. Wei, Experimental studies on a ground coupled heat pump with solar thermal collectors for space heating. *Energy* 36(8) (2011) 5292-5300.
- 5) X. Wang, M. Zheng, W. Zhang, S. Zhang, T. Yang, Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas. *Energy and Buildings* 42(11) (2010) 2104-2110.
- 6) S.K. Chaturvedi, T.O. Mohieldin, D.T. Chen, Second-law analysis of solar-assisted heat pump. *Energy* 16(6) (1999) 941-949.

- 7) W. Aziz, S.K. Chaturvedi, A. Kheireddine, Thermodynamic analysis of two-component, two-phase flow in solar collectors with application to a direct-expansion solar-assisted heat pump. *Energy* 24(3) (1999) 247-259.
- 8) E. Wang, A.S. Fung, C. Qi, W.H. Leong, Performance prediction of a hybrid solar-ground heat pump system. *Energy and Buildings* 47(68) (2012)600-611.
- 9) A. Moreno-Rodriguez, A. Gonzalez-Gil, M. Izquiedo, N. Garcai-Hernando, Theoretical model and experimental validation of a direct-expansion solar assisted heat pump for domestic hot water applications. *Energy* 45(1) ( 2012) 704-715.
- 10) V.D.M.R. Roberts, O.N. Raphael, M. Luiz, N.N.K. Ricardo, Using a heat pump as an alternative to support solar collector for water heating in Brazil. *International Journal of Air-Conditioning Refrigeration* 40(3) (2012)1250013
- 11) W.S. Kim, J.M. Choi, H.H. Cho. Performance analysis of hybrid solar-geothermal CO<sub>2</sub>heatpumpsystemforresidentialheating.*RenewableEnergy*50(2013)596-604.
- 12) R. Yumrutas, M. Unsal, Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. *Solar Energy* 86(3) (2012) 983-993.
- 13) S.A. Klein, D.T. Reinld, The relationship of optimum heat exchanger allocation and minimum entropy generation for refrigeration cycle. *Proceedings of the ASNE Advanced* 37, 2000, pp.87-94.

14) D. Sanchez, E. Torrella, R. Cabello, R. Llopic, Influence of the superheat associated to a semihermetic compressor of a transcritical region. International Journal of Refrigeration 26(8) (2003) 857-864.

15) V. Gnielinski, New equation for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. Nasa-STI/Recon Technical Report A, 41(1), 1975, pp.8-16.

S.W. Churchill, Friction-factor equation spans all fluid flow regimes. Chemical Engineering 7 (1977) 91-92.

16) L.S. Tong, Boiling, heat transfer and two-phase flow. John Wiley & Sons, New York, CPT 5. Taken from Hiller 372, 1965.

17) C. Hiller, Improve heat pump performance via compressor capacity control: Analysis and Test. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology 1976, pp. 381-387.

## 감사의 글

학문의 길과 삶의 자세를 일깨워 주시고 본 논문이 완성되기까지 오랜기간 열과 성의로 지도해주신 윤성운 교수님께 진심으로 감사드립니다.

본 논문의 심사를 맡아주시고 면밀하게 검토해 주신 이규태 교수님, 홍명석 교수님께 감사드립니다.

과정 이수 중 많은 격려와 도움을 주신 조선대학교 기계공학부 모든 교수님께도 깊은 감사의 말씀을 드리며, 이 결실이 새로운 학문의 장을 여는 계기가 되도록 열심히 노력할 것을 약속드리겠습니다.

오늘이 있기까지 염려해 주신 친·인척분들과 친구들에게 보람을 드리게 되어 기쁘게 생각합니다.

오랜 기간 동안 무한한 인내로서 뒷바라지해 주고 가장 가까이서 격려와 용기를 주고 위로해 주었던 사랑하는 아내와 열심히 살아가고 있는 딸, 사위와 아들과 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

끝으로 이 날이 있기까지 배려해 주신 저를 아시는 모든 분들과 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.

2013. 12

노생수