



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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

태양열을 활용한
천정형 공조기의 부하운전 특성 평가



냉 동 공 조 공 학 과

임 홍 석

공 학 석 사 학 위 논 문

태양열을 활용한
천정형 공조기의 부하운전 특성 평가

지도교수 금 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2011년 2월

부경대학교 대학원

냉 동 공 조 공 학 과

임 홍 석

임홍석의 공학석사 학위논문을 인준함

2011년 2월



주 심 공학박사 최 광 환 (인)

위 원 공학박사 김 은 필 (인)

위 원 공학박사 금 종 수 (인)

목 차

목 차	i
ABSTRACT	iii
Figure List	v
Table List	vii
Photo List	vii
제 1장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 종래 연구	3
1.3 연구 목적	4
제 2장 태양열 이용 난방 시스템 설계	6
2.1 태양열 이용 난방 시스템 설계 절차	6
2.2 집열기 선정 및 시스템 규모 결정	8
2.2.1 현장 조사 및 부하계산	8
2.2.2 집열기 및 집열면적 산정	13
2.2.3 축열조 용량 산정	16
제 3장 태양열 이용 난방 시스템 실험	17
3.1 실험 장치	17
3.1.1 시스템 개념도	17

3.1.2 실험 장비	19
3.2 측정	24
3.3 실험 방법	27
3.4 실험 결과 및 고찰	29
3.4.1 시스템 특징	29
3.4.2 공조기 입·출구 온도	33
3.4.3 시스템 효율	35
3.4.4 열부하 특성	39
제 4장 결론	44
참고문헌	46
감사의 글	48



Evaluation on Load Operation Characteristics of Ceiling
Air-handling Unit using Solar heat

Hong Seok, Lim

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

In recent years, it is common to satisfy the thermal comfort and productivity of workers because the workers need to improve the work environment in industry.

The air-conditioning system in industry, most equipment involve the factors that make it difficult to heating design because of the thermal load, high heights and the shortage of the installation space.

In existing design, we carried out design by intuition and experience of the designer in large span , But it is necessary to realize the problem in large span and to consider the developing air quality and thermal environment according to requirement of workers about environment improvement.

Also, at the moment, people use the fossil thoughtlessly, so it happened the shortage of energy resource. In order to alternate it, the world has focused the development. of renewal energy. Of them, the solar thermal system is used easily despite of low cost and short study period and is available in a various field.

Nowadays, the solar thermal energy is mostly used for domestic hot water

system to heat floor with water.

But, there needs a lot of hot water when it applied to hot water heating system, and the equipment also becomes huge. So, it needed the alternative system.

In this study, in order to replace the existing system, it considers the characteristics about the large span and it installed the solar thermal system with solar collector and thermal storage in ceiling space and it performs heating through the air-handling unit.

Figure List

Fig. 2-1 The procedure of design about solar thermal system	8
Fig. 2-2 The main about RTS-SAREK program	10
Fig. 2-3 Input the data about outdoor conditions	10
Fig. 2-4 Input the data about thermal resistance	11
Fig. 2-5 Input the data about outdoor conditions	12
Fig. 2-6 The heat load in room during one day(8hour)	13
Fig. 2-7 The comparison on efficiency between plate type collector and vaccum tube type collector	15
Fig. 3-1 Schematic diagram of this solar thermal system	18
Fig. 3-2 The location for measuring the temperature at solar collector	25
Fig. 3-3 The location for measuring the temperature at solar collector	25
Fig. 3-4 The solar irradiance change of the day	30
Fig. 3-5 The temperature change (When the rain came)	31
Fig. 3-6 The temperature change of storage tank when storing thermal energy	32
Fig. 3-7 The temperature change of storage tank when storing thermal energy	33

Fig. 3-8 The temperature change of	
the entrance and exit in AHU	34
Fig. 3-9 The temperature change of each device during one week ..	35
Fig. 3-10 The efficiency per solar irradiation	
during one hour (10LPM)	36
Fig. 3-11 The efficiency per solar irradiation	
during one hour (15LPM)	36
Fig. 3-12 The efficiency per solar irradiation	
during one hour (20LPM)	37
Fig. 3-13 The efficiency of the each flow rate	38
Fig. 3-14 The comparison on solar irradiation	
and heat load into room (10LPM)	40
Fig. 3-15 The comparison on solar irradiation	
and heat load into room (15LPM)	40
Fig. 3-16 The comparison on solar irradiation	
and heat load into room (15LPM)	41
Fig. 3-17 The heat load deficit when the solar irradiation is low ...	42

Table List

Table 3-1 The specifications of solar collector	21
Table 3-2 The location for measuring temperature	26
Table 3-3 The supply heat and solar irradiance during one day	43

Photo List

Photo. 3-1 View of solar collector	21
Photo. 3-2 View of a Storage tank	22
Photo. 3-3 View of Air-handling unit for ceiling	23



제 1장 서 론

1.1 연구 배경

현재 난방 및 환기시스템은 사람이 실제 거주하는 공간(주택, 사무실 등)에 많은 적용이 이루어져왔다. 하지만 최근에는 산업용 공기조화 시스템의 경우에도 작업자의 작업환경 개선에 대한 요구가 증대되어 작업자의 쾌적감과 생산성의 향상을 동시에 만족시켜야 하는 것이 일반적이다. 산업현장의 공기조화 시스템은 다양한 기기들의 열 부하 특성과 높은 층고, 시스템 설치 공간 확보의 어려움 등 난방설계를 어렵게 만드는 요소를 상당수 포함하고 있다. 특히 대공간 산업현장의 난방 및 환기설비는 기계설비 공사에 있어서도 상당히 어려운 영역으로 분류되었으며, 기존의 설계에서는 설계자의 직감과 경험에 의존하여 대공간에서 발생하는 문제점들을 파악하여 설계를 하였다. 이러한 문제들을 고려하고 작업자들의 환경개선 요구에 따라 열환경 개선과 함께 공기 환경 개선을 고려해야 하는 상황이 지속적으로 필요하다.

또한 산업화로 인한 화석에너지의 무분별한 사용으로 에너지 자원 부족 현상이 발생하게 되었으며, 이를 대체하기 위해 신재생에너지 개발에 몰두하게 되었다. 시대의 흐름에 부응하여 국내에서도 신재생 에너지 사용에 대한 개발이 시작되었으며, 그 사용량 또한 늘어나고 있다. 그중에서 태양열은 비교적 적은 연구 개발 비용과 짧은 연구기간에 비해 손쉽게

이용할 수 있고, 다양한 분야에 이용 가능한 신재생 에너지로 사용되고 있다.

현재, 태양열을 이용한 방법에는 온수를 만들어 급탕이나 바닥을 이용한 온수난방에 이용하는 시스템이 많이 이용되고 있다. 하지만 대규모 공간에 바닥 온수난방을 적용하기에는 많은 온수가 필요하게 되고, 그 설비 또한 거대해지게 되므로 이를 대체 할 수 있는 시스템이 필요하게 된다.



1.2 기존 연구

지구에 도달하는 태양에너지는 막대한 양이지만, 지구 표면에서 환산해보면 약 $1.0\text{kw}/\text{m}^2$ 으로 비교적 저밀도 에너지이며, 동시에 기상 조건에 따라 변화하는 불안정한 에너지이기 때문에 이제까지 널리 활용되지 못했던 커다란 원인이 되었다. 그러나 최근 이런 결점들을 보완하고, 태양에너지의 유효이용을 가능하게 하는 기술들이 나타나고 있다. 곽희열[1]은 산업용에 태양열 에너지를 사용할 때 고효율로 작동되는 태양열 집열기의 개발이 필요하다고 하였으며, 산업용에 에너지를 절약하기 위한 방법으로 증기를 이용한 난방이 수행되고 있다고 말하고 있다.

김용술[3] 등은 대형경기장에 신재생에너지 시스템 도입에 관한 연구에서 태양광 에너지를 이용한 전력 발전이 용이하다고 하였다. 전승곤[4]은 적외선 난방을 통해 전체 난방 뿐만 아니라 국부 난방 등 난방하기 어려운 장소에서도 난방이 가능한 적외선 난방에 대해 소개하고 있다.

현재까지 이루어진 연구들을 통해 볼 때, 기존의 태양열 에너지를 이용한 난방에는 대부분 온수나 급탕에 의한 방법이 많았다. 또한, 공장과 체육관과 같이 층고가 높고, 국부적으로 난방이 가능한 곳은 공기를 대류시켜 난방하는 것이 효과적인 것으로 보인다.

1.3 연구 목적

대공간을 포함한 모든 공조계획의 제 1단계는 실온을 설정하는데 있다. 대공간 공조상 온열환경을 설계할 때는 그에 대한 유연성을 고찰하지 않으면 안된다.

기존의 시스템에서 사용하고 있는 열원을 대체할 수 있도록 공장 등 대공간의 특성을 고려하여 천정면에 태양열 집열기와 축열조를 사용하여 생산된 온수를 직접 공조기로 공급하여 난방을 수행한다.

현재 태양에너지의 거의 대부분은 건물의 냉난방 및 급탕을 위해 개발되었으며 태양열 급탕시스템, 태양열 난방 및 급탕 시스템, 태양열 냉난방 시스템 같은 분야에 적용 될 수 있도록 개발되어 왔다.

난방은 급탕에 비해 태양열 시스템 작동온도가 높기 때문에 태양열 시스템 효율도 저하된다. 따라서 현재 태양열 이용은 주로 주택에서의 온수난방 및 급탕에 주로 이용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 보완하고, 층고가 높은 대공간에 에너지 절약적으로 난방을 수행하기 위해서 대규모 공간의 넓은 공간의 천정을 활용하여 태양열 집열기와 축열조를 설치하여 생산된 온수를 주간에는 바로 대규모 공간의 천정에 설치된 공조기로 보내 난방을 수행하는 시스템을 고안하였다. 이렇게 고안된 태양열시스템을 운용시에 다음과 같은 특성을 알아보았다. 첫째, 기존에 없었던 시스템이므로, 일반적으로 온수나 급탕에 사용되는 태양열 시스템과 다른 특성이 있는지 확인하려고 한다.

둘째, 천정형 공조기를 통해 실내로 공급되는 열에너지의 변화에 대해 살펴볼 것이다. 셋째로, 시스템의 효율에 대해 알아보고, 마지막으로, 이 시스템이 감당할수 있는 열부하에 대해 알아보고, 경제적인 검토를 수행 하려고 한다.



제 2장 태양열 이용 난방 시스템 설계

2.1 태양열 이용 난방 시스템 설계 절차

태양열 이용 천정형 공조기를 이용한 난방에 관한 연구를 수행하기에 앞서 태양열 시스템을 설계 하였다. 태양열 난방시스템은 집열부, 축열부, 이용부로 구성된다. 집열부는 태양으로부터 열을 모으는 집열기의 종류와 성능이 중요하며, 축열부는 열에너지를 모으는 축열조의 용량이 중요하게 고려된다. 특히, 태양열에너지는 에너지밀도가 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지이다. 따라서 설계를 하기에 앞서 시스템 효율에 영향을 미치는 설계 변수를 고려하여 설계를 진행하여야 한다. 태양열 난방시스템의 효율에 크게 영향을 미치는 중요한 설계 변수로는 집열면적, 집열기 설치각, 축열조의 용량이다. 태양열 시스템의 설계는 일반적으로 Fig. 2-1 과 같다.

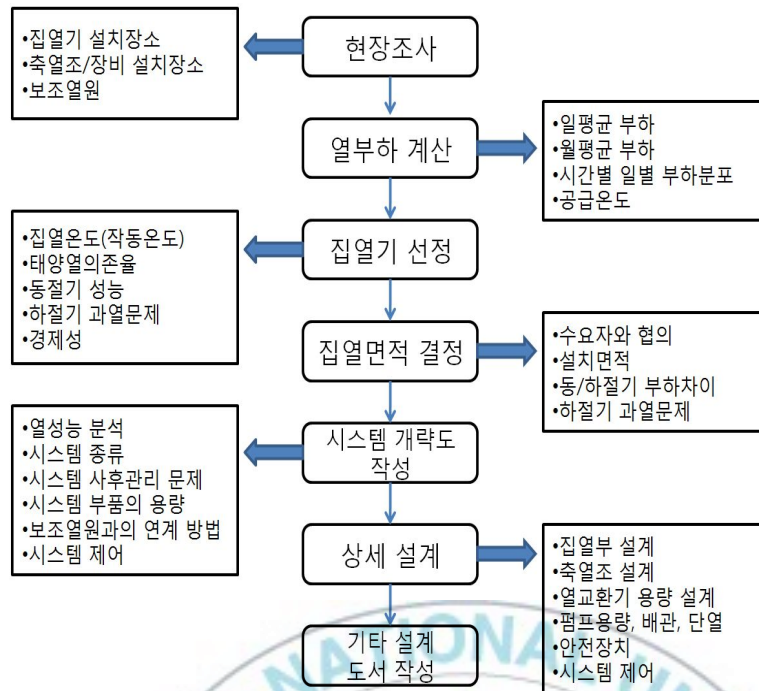


Fig. 2-1 The procedure of design about solar thermal system

이번 연구에 앞서 이 설계 절차를 통해, 현장조사를 하여, 집열기와 축열조의 설치장소에 대해 알아보았다. 실험 대상에서 발생하는 열부하에 대해 계산하고, 이 지역의 일사량을 조사하고, 그에 따라 필요한 집열기의 크기 및 축열조의 용량에 대해 참고 문헌과 조사한 것을 바탕으로 설계를 진행하였다.

2.2 집열기 선정 및 시스템 규모 결정

2.2.1 현장 조사 및 부하 계산

태양열을 이용한 시스템은 태양으로부터 방사되는 복사에너지가 주된 에너지원이다. 따라서 태양열 시스템이 설치 되는 곳의 일사량을 파악하는 것이 중요하다. 국내에서 하루동안 지표면에서 받을 수 있는 수평면 성분일사량(산란 및 직달)은 약 연평균 3160kWh/m²/day 이고, 겨울철의 일사량은 2076 kWh/m²/day 으로 연평균 일사량에 비해 작다.

또한, 이번 실험을 진행함에 있어, 집열기 및 집열면적을 산정하기 전에, 실험을 진행하게 될 공간의 부하 계산을 실시하였다.

실험 대상은 10m×8m×4m (가로×세로×높이)이고, 실내 적정 온도는 산업현장임을 고려하여 16℃ 로 하였고, 외기온은 부산 겨울철 평균기온인 3℃로 산정하였다.(기상청 자료 참조) 프로그램은 RTS-SAREK 이라는 부하계산프로그램을 이용하였다.



Fig. 2-2 The main about RTS-SAREK program

Fig. 2-2 는 RTS-SAREK 프로그램의 메인 화면을 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 부하계산, 장비 선정, 건물부하 분석, Fan 선정 과정을 통해, 한 건물에서 발생하는 부하에 대해 계산하여 냉난방장비 및 송풍기 용량까지 선정할수 있도록 한 프로그램이다. 여기서 부하계산만 이용하여 연구에 활용하였다.

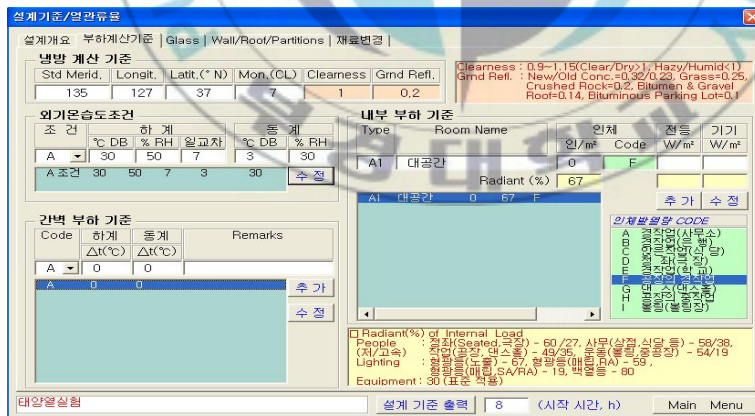


Fig. 2-3 Input the data about outdoor conditions

Fig. 2-3 은 부하계산에 앞서, 외기 온습도 조건과 간벽 부하 기준 및 내부 부하 기준(인체, 전등, 기기 발열 부하)에 대한 조건을 입력하는 화면이다. 간벽 부하 기준과 내부 부하 기준은 없는 것으로 가정하고, 외기 조건으로 온도는 3℃, 습도는 30%를 사용하였다. 온도는 2009년 1월 평균온도이며, 기상청 자료를 활용하였다.

Fig. 2-4 는 건물의 벽체를 통과하는 열전달률을 입력하는 화면이다. 실험 공간의 벽체는 샌드위치 판넬로 열전도율이 0.043 W/m·K 이며, 두께는 50mm 이다. 따라서, 열전달률을 계산하면, 0.86 W/m²·K 이다.

Type	명칭	W/(m².K)	CTS Type	Emittance	Absorptance	Conductances
W1	외벽-1	0.8293	01	0.91	0.6	1.7

No	Code	mm	재료명칭	W/(m.K)	m².K/W
01	A03		외부저항-벽체(직접)	0.043	0.043
02	A01		외부저항-벽체	1.1628	1.1628

CTS Type for Wall	Emittance/Absorptance
01 0.428 Curtainwalls Spandrel glass, insulation board, gyp board	01 Aluminum Foil, bright dipp 0.03 0.1
02 0.429 Metal wall panel, insulation board, gyp board	02 Aluminum Alloy, B061 0.04 0.37
03 0.428 Studwalls 25 mm stone, insulation board, gyp board	03 Aluminum Roofing 0.24
04 0.419 Metal wall panel, sheathing, batt insulation, gyp board	04 Asphalt 0.88
05 0.417 25 mm stone, sheathing, batt insulation, gyp board	05 Brass Oxidized 0.9
06 0.406 Wood siding, sheathing, batt insulation, 13 mm	06 Brass Polished 0.04
07 0.413 25 mm stucco, sheathing, batt insulation, gyp board	07 Brick 0.9
08 0.668 EIFS EPS finish, insulation board, sheathing, batt insulation	08 Concrete, rough 0.91 0.6
09 0.505 EIFS EPS finish, insulation board, sheathing, batt insulation	09 Copper Electroplated 0.03 0.47
10 0.504 EIFS EPS finish, insulation board, sheathing, batt insulation	10 Copper Black oxidized in 0.16 0.91
	11 Copper Plate, oxidized 0.76

Fig. 2-4 Input the data about thermal resistance

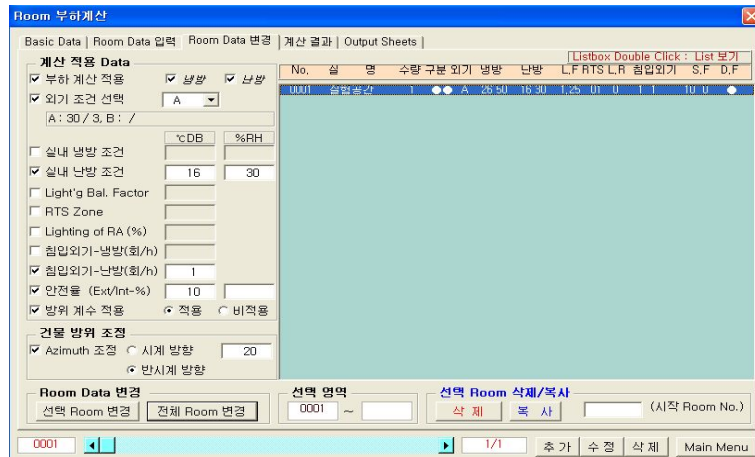


Fig. 2-5 Input the data about outdoor conditions

Fig. 2-5는 부하계산을 함에 있어 건물 내부의 설계 조건을 입력하는 화면이다. 실내 난방 조건으로 온도는 16℃, 습도는 30%로 하였다. 난방 시 침입외기는 시간당 1회로 하였고, 또한, 난방시에 방위계수를 적용하여 계산할 수 있도록 하였다.

Fig. 2-6에 시스템 설계에 앞서 계산한 부하값을 나타내었다. 하루동안에 감당해야 할 부하량을 알기 위해선, 기간부하량을 계산할 필요가 있다. 겨울철 외기온을 평균 3℃ 로 하여 계산을 하였기 때문에, 공조기 가동시간동안의 외기온은 일정한 것으로 가정하였다. 따라서 난방시 최대 열부하인 2,707W를 이용하여, 기간열부하(8hour)를 계산하였다.

한 시간동안의 부하량은 $2,707W = 9745.2kJ/h$ 이다.

Grand Total				0	0	0	0	0	0
Description		Heating Load		Cooling Load (W), 7 Mon. 21st					
		Capacity	Load	20	19	18	17	16	15
SH	People	-	-	0	0	0	0	0	0
	Lighting	-	-	0	0	0	0	0	0
	Equipment	-	-	0	0	0	0	0	0
	Glass	0.0 m²	0	0	0	0	0	0	0
	Roof	0.0 m²	0	0	0	0	0	0	0
	Wall	112.0 m²	1,313	0	0	0	0	0	0
	Partition	0.0 m²	0	0	0	0	0	0	0
	Infiltration	320 m³/h	1,394	0	0	0	0	0	0
	Sub-Total			0	0	0	0	0	0
LH	People	-	-	0	0	0	0	0	0
	Infiltration	-	-	0	0	0	0	0	0
	Sub-Total			0	0	0	0	0	0
RA Lighting Load		-	-	0	0	0	0	0	0
Grand Total			2,707	0	0	0	0	0	0

□ Building Summary

Room Quantity : 1
 CL Area (m²) : 0.0
 HT Area (m²) : 80.0

□ Cooling Load Analysis

People (p/m²):
 Light'g (W/m²):
 Equip. (W/m²):
 Infil(m³/h/m²):

□ C/H Load Summary

Cooling (W/m²):
 Heating (W/m²): 33.84

Fig. 2-6 The heat load in room during one day(8hour)

이것을 하루 동안의 시간부하량으로 계산하면 $9745.2 \text{ kJ/h} \times 8 \text{ h} = 7,7961.6 \text{ kJ/day} = 21,656 \text{ kWh/day}$ 이 된다.

2.2.2. 집열기 및 집열면적 산정

태양열 시스템을 설계함에 있어 가장 먼저 고려되어야 할 사항이 태양열 집열기이다.

태양열 집열기는 대체적으로 저온영역에서는 평판형 집열기, 고온영역에서는 진공관식 집열기가 일반적으로 사용된다. 즉, 집열온도가 높아질수록 집열기의 열손실 계수값이 작은 집열기가 사용되는 것이 좋으나 일반적으로도 가격, 태양열 작동온도영역에서 효율이 높을 것, 좀 더 구체적으로 적용분야에서 경제성이 좋은 집열기가 고려되어야 한다.

집열기의 효율은 형태에 따라 다르게 나타나는데, 집열기의 효율은 다음 식으로 구할수 있다.

$$\eta = \frac{F'(\tau\alpha)_e - K(t_w - t_a)/I}{F_R(\tau\alpha)_e - K(t_{wi} - t_a)/I} \quad (1)$$

여기서,

t_w	:	평균 집열온도(℃) $\equiv (t_{wi} - t_{wo})/2$
t_{wi}	:	집열기 입구 온도(℃)
t_{wo}	:	집열기 출구 온도(℃)
t_a	:	외기온도(℃)
I	:	일사량(kcal/m ² · h)
$(\tau\alpha)_e$	:	유효 일사투과률×흡수율(℃)
K	:	집열기 손실계수(kcal/m ² · h · K)
F'	:	집열기 계수
F_R	:	집열기 열제거 계수

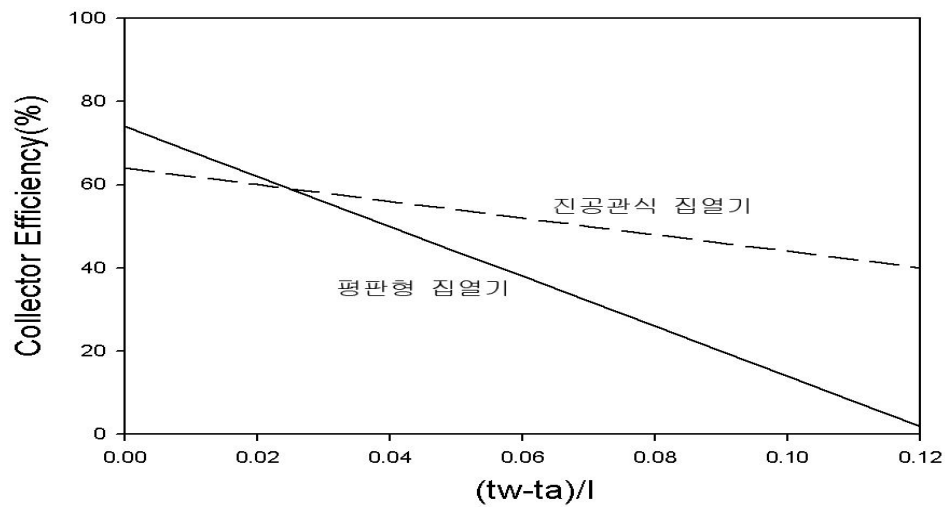


Fig. 2-7 The comparison on efficiency between plate type collector and vacuum tube type collector

위의 식을 온도에 따른 식으로 간단히 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\eta = A - B(\Delta t/I) , \Delta t = t_w - t_a$$

Fig. 2-7 에서 볼 수 있듯이 평판형 집열기는 집열 온도차가 작을수록, 즉 집열 온도가 낮을수록 높은 효율을 나타냄을 알 수 있고, 진공관형식은 집열 온도가 높을수록 집열 효율이 높아짐을 알 수 있다. 따라서, 이번 시스템에서는 태양열 집열기로 평판형 집열기를 선택하였다.

또한, 집열기 크기 뿐만 아니라, 집열기 설치각도 중요한 요소로 차지한다. 계절별로 태양의 고도가 다르기 때문에, 일정한 각으로 설치하게 되면, 계절에 따라 일사량이 다르게 나타난다. 특히, 우리나라는 계절별로 봄철과 여름철에 가장 많은 일사량을 받을 수 있으며, 겨울철과 난방기

간은 상대적으로 적다. 계절별 최적 경사각을 바탕으로 최대로 받을 수 있는 경사면 일사량은 봄철이 18°에서 3,901kWh/m²/day, 여름철이 3°에서 3,753kWh/m²/day, 가을철이 45°에서 3,522kWh/m²/day, 겨울철이 57°에서 3,773kWh/m²/day으로 나타나고 난방기간(10월~3월)은 3,701kcal/m²이다.[10]

우리나라 전 지역의 1년간 일사를 많이 받을수 있는 연평균 최적 시스템 설치 경사각은 남향 30°~36°부근에서 최대 경사면일사량을 받아들일 수가 있다. 하지만 이 시스템에서는 일년 동안의 최대로 많이 받을 수 있는 최적경사각 선택하는 대신 태양열을 이용한 천정형 공조기가 이용되기는 기간인 겨울철에 가장 많이 받을수 있는 것을 선택하는 것이 좋다. 또한 태양고도에 따라 집열기가 움직이는 장치에는 많은 비용이 소모되기 때문이다. 따라서 입사되는 일사량을 가장 많게 하기 위해서는 겨울철 설치 최적경사각인 51°~57°정도로 설치하는 것이 좋다.

2.2.3. 축열조 용량 산정

축열은 열에너지의 수요와 공급 사이에 발생하는 시간적, 양적, 질적 차이를 극복하는데 필요하다. 따라서 시간과 기후 조건에 따라 취득하는 열에너지가 변하는 태양열 시스템에서는 축열조가 매우 중요한 역할을 하게 된다. 일반적으로 저온 태양열 시스템에서는 물을 열저장 매체로 이용하는데, 공기식 태양열 시스템의 경우는 자갈 등을 이용하기도 한다. 축열조 내 온도 성층화도 전체적인 효율에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다.

축열조의 적정용량은 각 지방의 기후, 난방 부하, 집열기의 면적 또는 태양열 난방 시스템의 제어 등의 여러 조건에 의하여 영향을 받는다. 축열조의 용량이 너무 작으면 축열온도가 상승하여 집열 효율이 떨어지며 또한 축열조에서의 열 손실이 커지는 단점이 있다. 축열용량은 태양열 시스템의 규모에 따라 시스템의 성능에 미치는 영향이 일정하기 않기 때문에 목적에 맞는 용량결정이 필요하다. 태양 의존율이 적거나 태양열 활용 시간이 주간에 한할 경우에는, 축열 용량이 없더라도 시스템 성능에는 큰 변화가 없다. 태양에너지 핸드북에서는 축열조 용량은 태양열 집열기 설치 면적당 $50\sim75\text{L}/\text{m}^2$ 으로 권장하고 있다.

제 3장 태양열 이용 난방 시스템 실험

3.1 실험장치

3.1.1 시스템 개념도

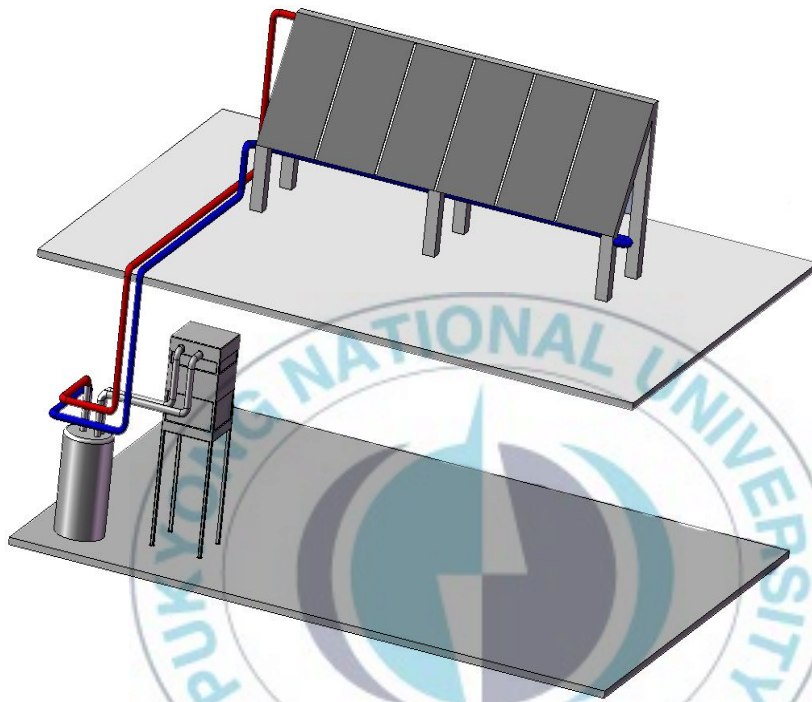


Fig. 3-1 Schematic diagram of this solar thermal system

Fig. 3-1 에 이번 실험의 전체적인 시스템 개념도를 나타내었다. 태양열 집열기와 축열조를 순환하는 하나의 시스템과, 축열조에 저장된 열에너지를 실내에 설치된 공조기와 순환하는 열매체에 의해 열에너지가 순환하면서 천정형 공조기와 열교환하게 되고, 열교환된 에너지가 실내로 난방을 수행하게 되는 시스템으로 구성되어진다.

이 태양열 시스템은 해가 비치게 되면 자연대류식으로 순환하는 대신에, 태양열 집열기 내부와 축열조 내부에 설치 되어 있는 온도감지기가 온도 차이를 감지하여 펌프를 작동시켜 순환하는 방식이다. 태양에너지를 최대한으로 이용하기 위하여 온도 감지는 집열기 출구와 축열조 하부의 온도 차이에 의해 작동된다. 온도 차이가 사전 설정온도인 5℃를 초과하면 순환 펌프가 가동되어 집열기와 축열조 사이를 순환시킨다.

집열기 출구에 부착하는 온도 감지기는 펌프가 운전되지 않더라도 집열기 온도에 의해서 영향을 받으므로 집열기에 가급적 가깝게 설치해야 한다. 마찬가지로 축열조의 감지기는 집열기에 물을 공급하는 바닥의 출구가까이나 내부에 설치해야 한다. 온도 차이가 사전 조정치 아래로 떨어지면 펌프는 정지되고 순환도 중지된다.



3.1.2 실험 장비

태양열 집열기는 태양열을 모으는 장치로서 태양 복사에너지를 흡수하여 열에너지로 전환하는 가장 중요한 장치이다.

태양열 집열기의 크기는 아래와 같이 계산하여 산정하였다. 태양열 집열기를 최적 경사각으로 설치했을 때 받을수 있는 일사량이 3,773 kWh/m²/day이고, 일반적인 태양열 시스템의 효율이 40% 이므로, 일사량을 실제로 이용할 수 있는 양을 계산하면, 1,509.2kWh/m²/day이다. 이것을 기간 부하량인 21,656kWh/day 에 나누게 되면 약 12m²이 나오게 된다.

Table 3-1 에 이번 연구에 사용된 집열기의 사양을 나타내었다. 건물난방에 적용하기 때문에 낮은 집열온도에서 효율이 높은 평판형 집열기를 사용하였다. 집열기 한 장의 크기는 2m²이고, 6장을 사용하였다.

이번 연구에 사용되어진 집열기의 효율은 75.61% 이고, 투과율은 95% 이다.

Table 3-1 The specifications of solar collector

List	Specification
Scale	1000(mm)×2000(mm)×92(mm)
Surface	Low-iron tempered glass
Efficiency	75.61%
Transmissivity	95%
Emissivity	4%±1%



Photo. 3-1 View of solar collector

집열기는 태양열을 잘 받기 위해서 집열기의 경사각을 맞추어 주는 것이 좋다. 하지만, 이번 연구에서 태양열 집열기는 공간적인 문제로 인하여 정남쪽으로부터 20° 정도 동쪽으로 직면 하고 있다.

그리고 1년 동안의 최적 설치각은 30.9° 이지만, 실험 기간이 겨울철이므로 겨울철 최대의 일사를 얻기 위하여 겨울철 최적 설치각인 53° 로 설치하였다.[11]

다음으로 실험에 사용되어진 축열조의 그림을 Photo 3-2 에 나타내었다. 태양열 시스템의 축열조는 열에너지를 저장할 수 있는 용기이다. 이번 실험에서는 400L로 선정하여 실험을 진행하였다.



Photo. 3-2 View of a Storage tank

마지막으로, 이번 연구에 사용되어진 천정형 공조기의 사진을 Photo. 3-3에 나타내었다.



Photo. 3-3 View of Air-handling unit for ceiling

천정형 공조기는 지붕에 설치 가능한 공조기로 냉·난방 및 환기, 열회수 기능이 에너지 절감에 있어 많은 장점을 가지고 있다. 이 공조기는 난방시에 급기되는 공기가 코일을 통과하면서 온수와 열교환하여 요구하는 온도로 취출 하는 것이 가능한 공조기이다. 천정형 공조기는 온수를 직접 공조기로 공급하여 상부의 열교환기와 열교환함으로써 실내로 공급되는 공기의 온도를 높여 난방이 가능한 장치이다.

상부의 공기를 팬을 통해 하부로 공급하게 되고, 따라서 공기는 수직방

향으로 추출되게 된다.



3.2 측정

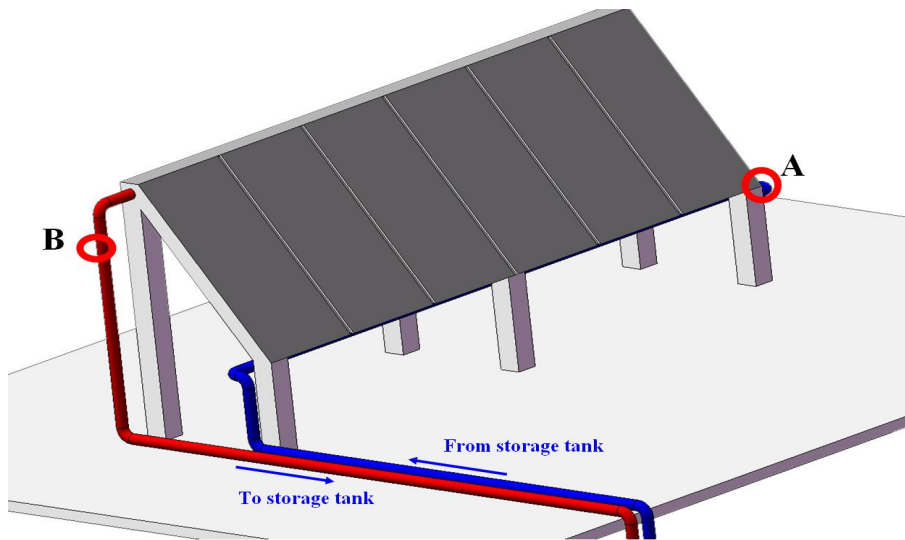


Fig. 3-2 The location for measuring the temperature at solar collector

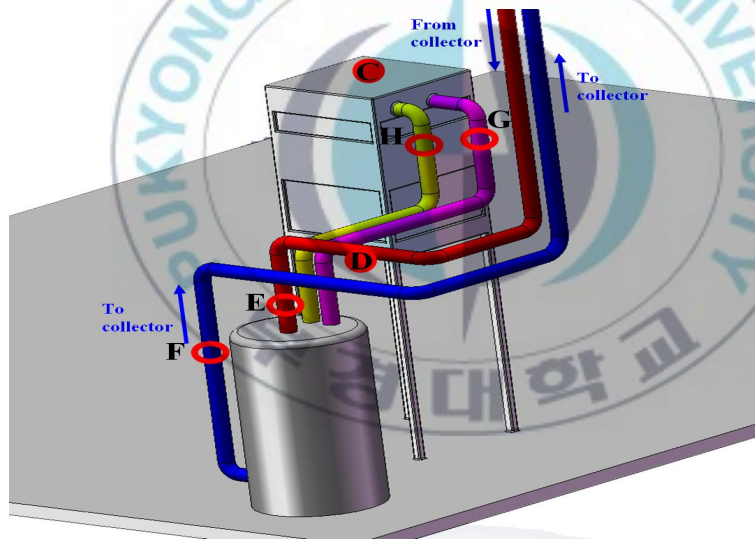


Fig. 3-3 The location for measuring the temperature at solar collector

Table 3-2 The location for measuring temperature

A	Air- AHU entrance
B	Air- AHU exit
C	Fluid - Storage tank in
D	Fluid - Storage tank out
E	Water - AHU in
F	Water - AHU out
G	Fluid - Solar collector in
H	Fluid - Solar collector out

이번 연구에서 실험 장비는 크게 집열기, 축열조, 공조기로 나눌수 있다. 집열기와 축열조는 겨울에 얼지 않는 부동액으로 채워진 배관을 통해 서로 연결되어 있으며, 축열조와 공조기는 열운반 매체로 물을 사용한 유체가 채워진 배관으로 연결되어 있다. 측정위치를 Fig. 3-2 와 Fig. 3-3에 나타내었고, Table 3-3 에 그 위치를 정리하였다. A와 B는 태양열 집열기와 축열조를 순환하는 작동유체의 온도를 측정하기 위함이고, C와 D는 천정형 공조기를 통해 실내로 공급되어지는 공기의 온도를 측정하기 위해 공조기 입구와 출구측의 온도를 측정하였다. 또한, E와 F는 태양열 집열기에서 나온 유체가 배관을 타고 순환하여 축열조로 들어가게 되는데, 축열조로 들어가기 전 입구의 온도와 축열조에서 열교환하고 나오는 유체의 온도를 측정하였다. 마지막으로, G와 H는 축열조에 저장

된 열을 천정형 공조기와 열교환하기 위해 순환하는 유체(물)의 온도를 측정하기 위함이다. G는 축열조에서 나온 유체가 공조기로 들어가기 전의 온도를, H는 축열조에서 축열된 열에너지와 공조기로 들어오는 공기와 열교환 후 축열조로 다시 리턴하여 들어가는 유체의 온도를 측정하였다. C와 D의 온도 차이를 통해 실내로 공급되는 열량을 계산할 수 있으며, E와 F의 온도를 통해 축열조에 저장되는 열에너지를 확인할 수 있다



3.3 실험 방법

실험은 2010년 1월 20일~2월 5일 동안에 실험을 진행하였다. 이 기간동안의 외기온은 약 $-3^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$ 를 기록하였다.

또한 집열기와 축열조와의 유체 순환은 태양열에너지를 모을수 있도록 하기 위하여, 계속적으로 순환시키지 않고, 집열기의 온도와 축열조와의 온도 차이가 5°C 이상이 날 경우, 축열조 쪽에 있는 펌프가 자동으로 작동하여, 집열기와 축열조 사이의 유체를 순환시켜, 축열조와의 열교환을 통해 축열을 하게 되는 방식이다. 집열기의 온도와 축열조와의 온도 차이가 5°C 이하가 되면 자동으로 펌프는 작동을 멈추게 된다. 축열조와 공조기의 유체의 순환은 유량계로 조절하여 10, 15, 20LPM 으로 매일 다른 유량으로 실험을 진행하였다. 공조기의 풍량은 1000CMH로 고정하여 실험을 진행하였다. 축열조와 공조기를 순환시키는 펌프는 제어시스템이 정교하지 못하기 때문에, 유량이 불규칙한 경향이 있지만, 큰 오차는 발생하지 않았다.

또한, 천정형 공조기를 해가 뜬 후 태양열 에너지가 축열조에 축열이 되고, 실제로 공장의 작업시간에 맞추어 9시 30분에 가동하여, 17시까지 공조기를 통해 실내에 난방을 수행하는 방식으로 실험을 진행하였다.

그리고, 일사량은 일사량계를 이용하여 데이터를 측정하였다. 데이터는 mV의 단위로 데이터로그에 저장되어지며, 아래의 식을 이용하여 실제 일사량 값을 구할 수 있다.

$$I_{solar-insolation} = E(\mu V)/7.03(\mu V/W \cdot m^2)$$



3.4. 실험 결과 및 고찰

3.4.1 시스템 특징

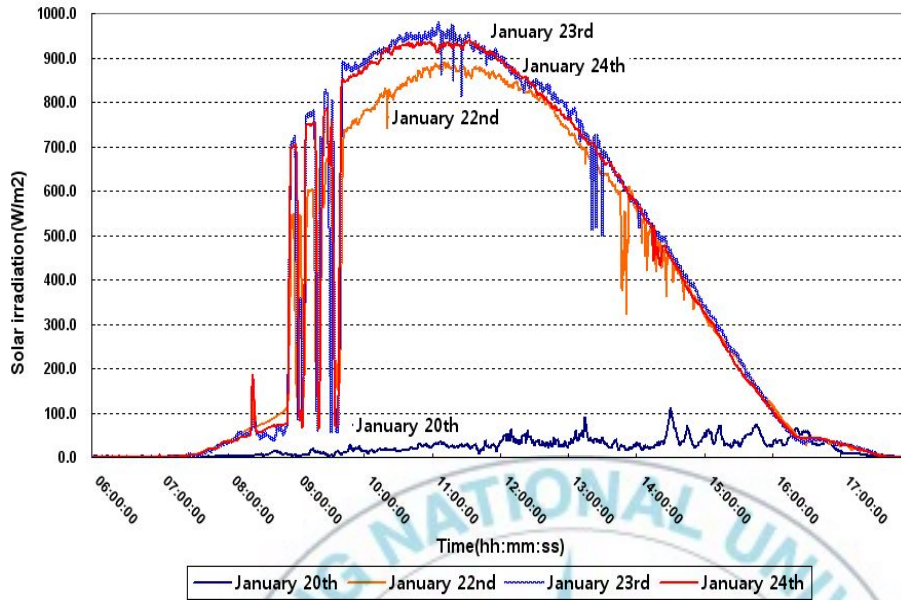


Fig. 3-4 The solar irradiance change of the day

먼저, 이 지역에서의 일사량을 측정하였다. 일사량은 측정위치의 고도, 지역에 따라 다르므로, 측정을 통해 실제 일사량을 알아보았다.

Fig. 3-4 에 2010년 1월 20일~24일의 일사량 변화를 그래프로 나타내었다. 일사는 비가 온 20일을 제외하고는 비슷한 경향을 나타냈다. 일사량은 11시 30분경 최대치를 나타내었으며, 이를 기준으로 일사는 감소하는 경향을 나타내었다. 이때 최대 일사량은 약 950W/m^2 이다.

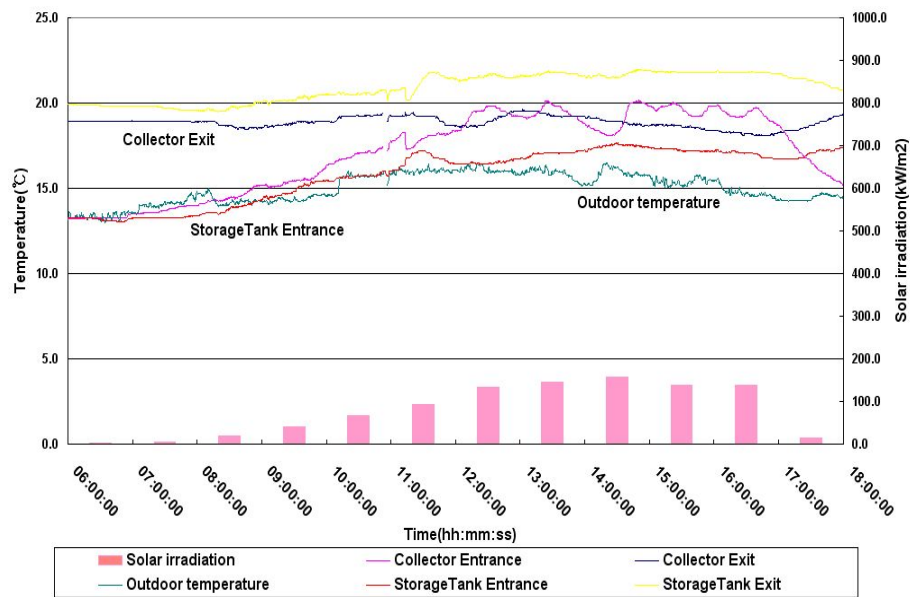


Fig. 3-5 The temperature change (When the rain came)

Fig. 3-5 에 비가 오는 날 실험 결과를 나타내었다. 비가 오는 날은 일사를 제대로 획득 할 수가 없어 실내 난방이 불가능하다.

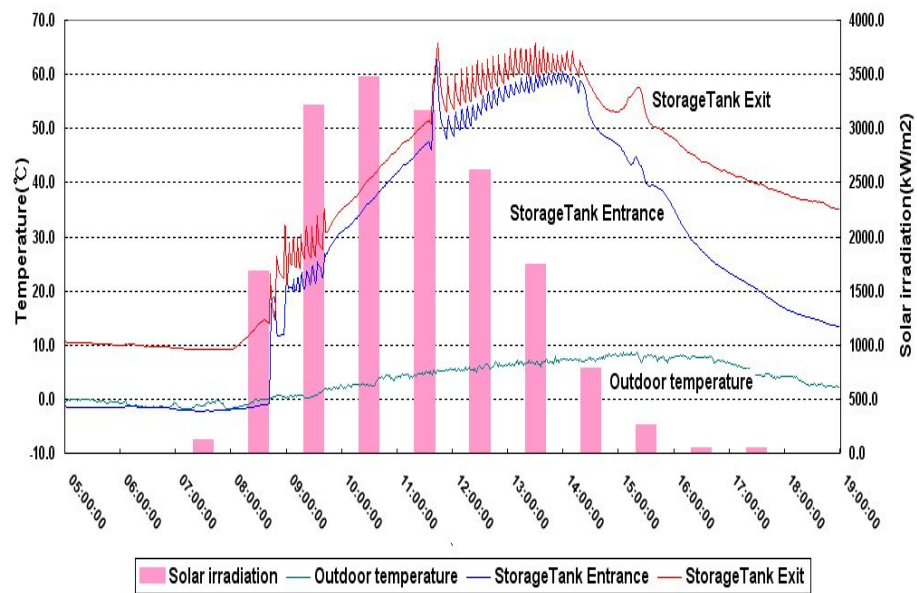


Fig. 3-6 The temperature change of storage tank when storing thermal energy

다음으로, 공조기를 가동하지 않은 상태에서 축열조로 태양열을 축열만 하였을 경우의 온도 변화 그래프를 Fig. 3-6에 나타내었다. 축열만 했을 경우에는 온도는 해가 뜨고 난 후 계속해서 증가하여 약 60°C까지 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

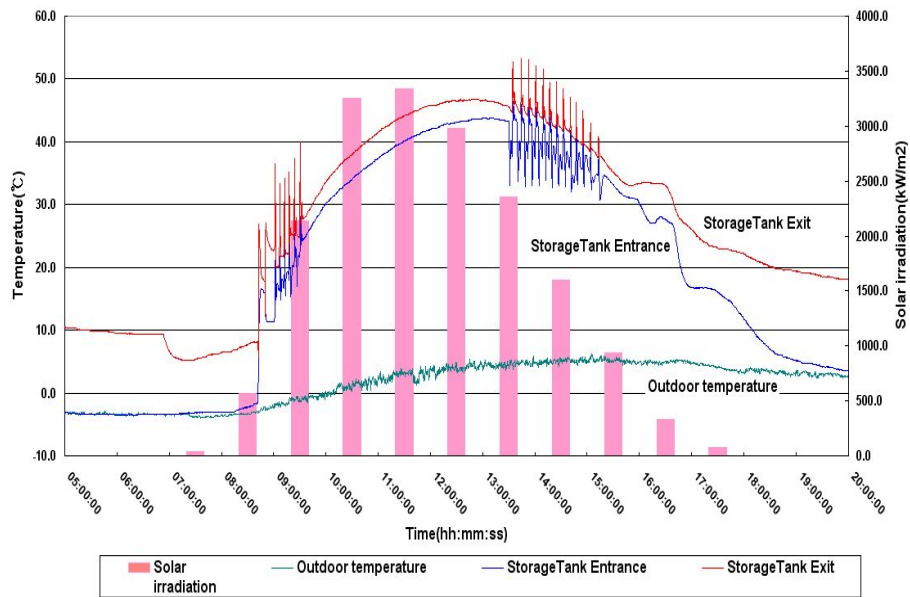


Fig. 3-7 The temperature change of storage tank when radiating thermal energy

Fig. 3-7에는 일출 후 태양열 에너지를 축적하기 시작하여 9시 30분 공조기를 가동하여 열을 실내로 방열하였을 경우의 그래프를 나타내었다. 축열만 했을 경우와 달리 축열조 내부의 온도는 최대 약 45°C까지 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

3.4.2 공조기 입·출구 온도

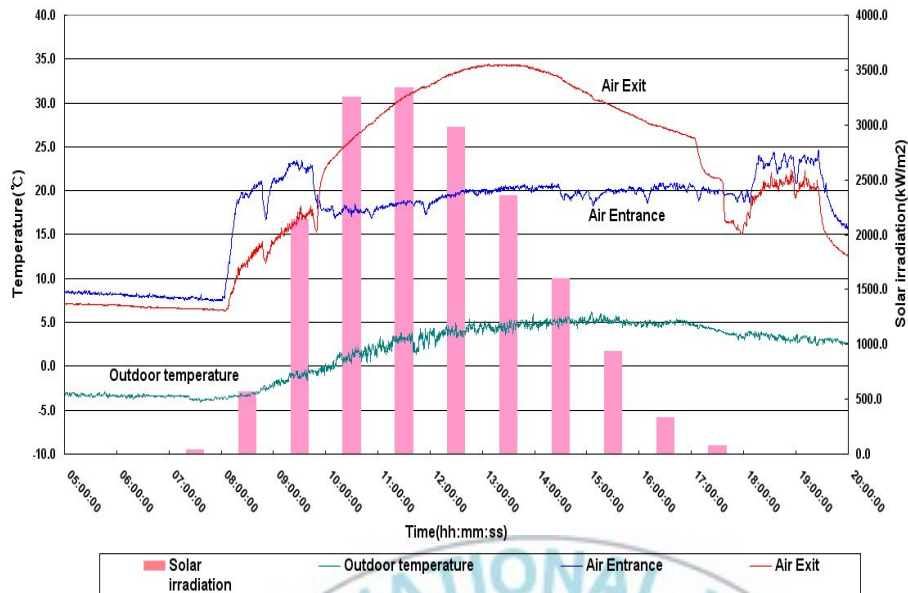


Fig. 3-8 The temperature change of the entrance and exit in AHU

실내로 난방할 때 천정형 공조기를 통해 실내로 공급되는 공기의 온도 변화를 Fig. 3-8 에 나타내었다. 야간동안 외기온에 의해 실내 온도가 내려갔지만, 공조기를 9시 30분에 가동한 이후에는 차츰 공조기 출구의 온도가 올라가는 것을 확인 할 수있다. 실내로 따뜻한 공기가 계속 공급되면서 천정형 공조기로 순환하여 들어가는 공기의 온도도 높아지는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 3-9 에는 공조기를 가동 후 공조기를 통과하여 실내로 공급되는 급기공기의 온도변화를 그래프로 나타내었다.

일주일 동안 축열조 온도 및 공조기에서의 순환 유체와 열교환하여 실내로 공급되는 공기의 온도를 연속적으로 나타내었다. 1월 24일은 공조

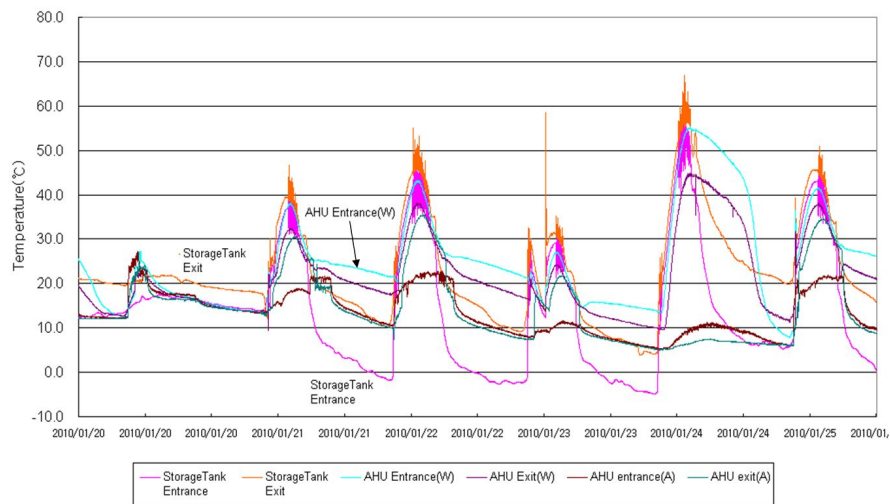


Fig. 3-9 The temperature change of each device during one week

기를 가동하지 않았기 때문에, 실내로 공급되는 온도는 낮게 나타난다. 공조기를 가동한 날의 온도 데이터를 살펴보면, 비가 온 20일을 제외하고 축열조의 온도는 40~50°C를 유지하고 있음을 보이고 있으며, 온도 차이가 다르게 나타나는 이유는 일사량이 매일 다르기 때문이다. 낮동안 축열조에 축열된 태양열에너지를 실내난방에 사용하고 난 후 축열조에 저장된 열에너지는 밤 시간동안 외기온도와 마찬가지로 온도가 내려가는 것을 확인 할 수 있다.

3.4.3. 시스템 효율

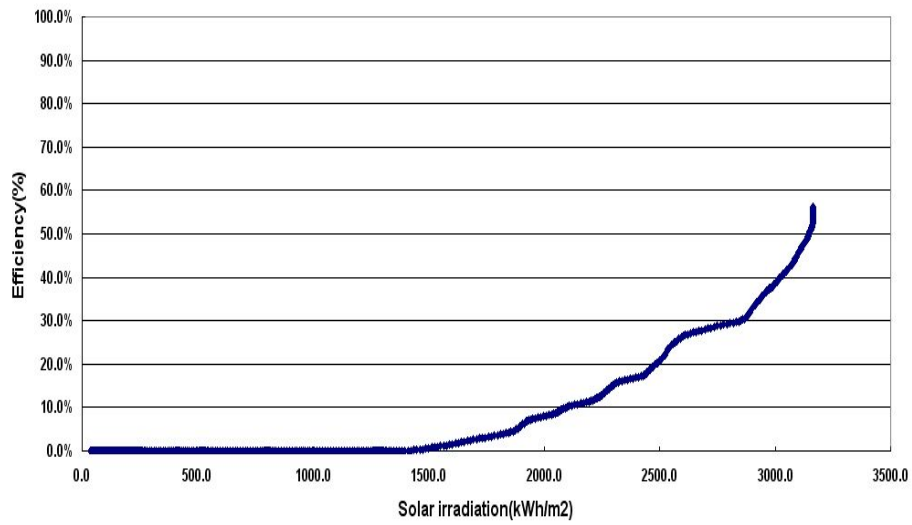


Fig. 3-10 The efficiency per solar irradiation during one hour (10LPM)

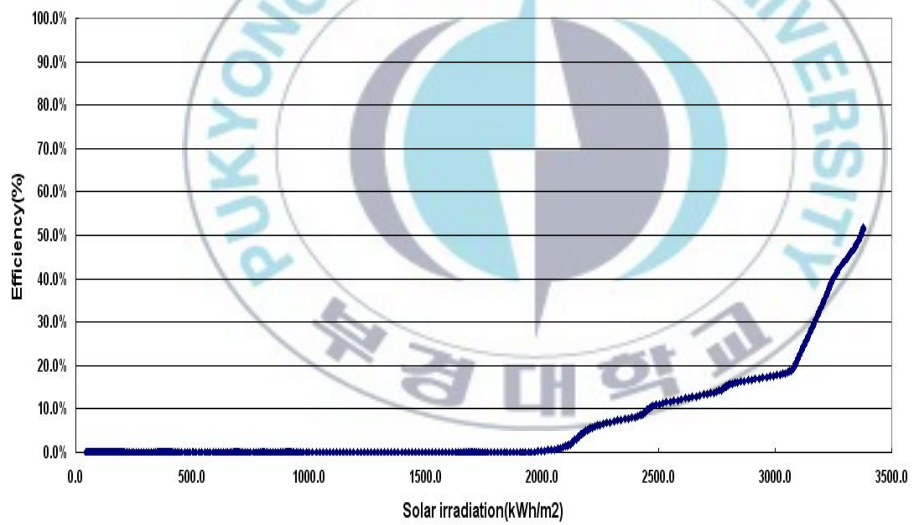


Fig. 3-11 The efficiency per solar irradiation during one hour (15LPM)

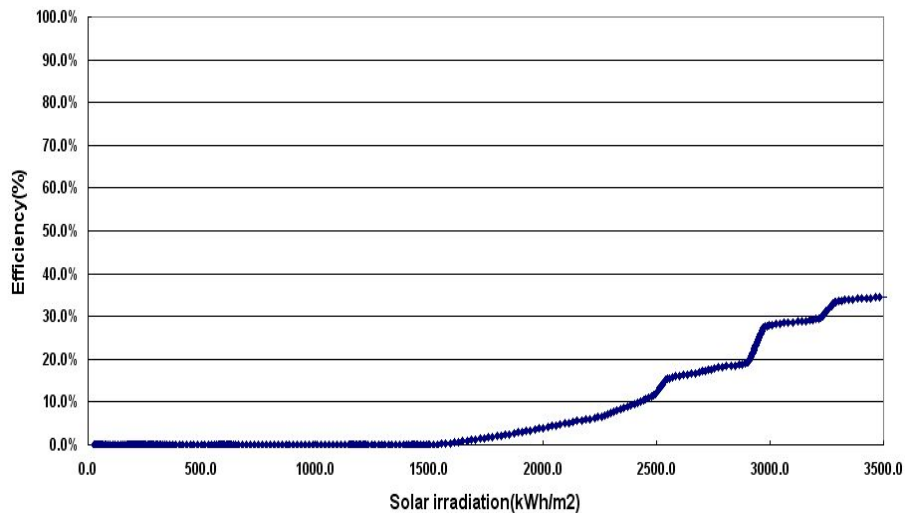


Fig. 3-12 The efficiency per solar irradiation during one hour (20LPM)

Fig. 3-10, Fig. 3-11, Fig. 3-12 에 유량별로 일사량 대비 효율을 그래프로 나타내었다. 일사량이 1500kWh/m^2 이상이 될 때부터 실내로 열이 공급되고 있음을 알 수 있다. 공조기의 가동이 일출 후 약 1시간 반 이후에 이루어지지만, 오전에는 일사량이 충분치 못해 축열되지 못하기 때문이라 생각되어진다.

그리고, 일사량과 공조기 가동시간(9:30 ~ 17:00)동안 축열조와 공조기 사이를 순환하는 유량에 따라 실내로 공급된 열량을 적산하여 공조기를 통해 실내로 공급되는 열량을 계산하였다. 일사량은 일사량 환산식을 이용하여 에너지 단위로 환산하고, 일출부터 공조기 정지시간까지를 적산하여 값을 산정하였다.

시스템 효율은 아래 식과 같다.

$$\eta = \frac{\int Q_{solar} dt}{\int G_t dt \times A_c}$$

여기서 Q_{solar} 는 태양으로부터 획득한 총 에너지량이다.

이것을 바탕으로 일사량에 대한 실내로 공급된 열량에 대해 효율을 Fig. 3-10 에 유량별로 나타내었다. 실내로 공급된 열량에 대해 태양열 집열기로 들어온 일사의 비를 나타내었다. 일사량은 kWh로 환산하여 나타내었다.

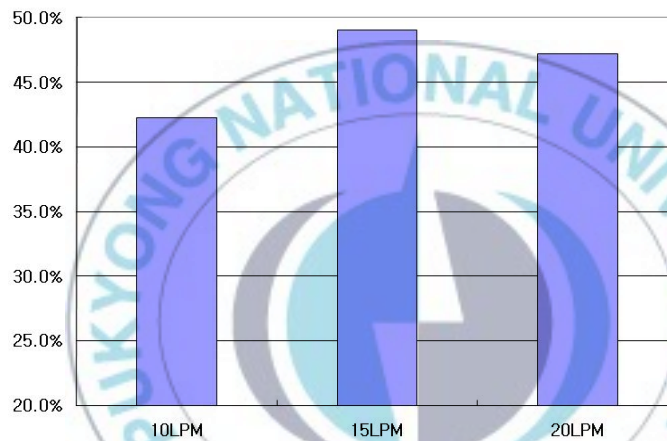


Fig. 3-13 The efficiency of the each flow rate

일반적으로 온수난방 및 급탕에 이용되었던 태양열 시스템의 효율은 약 40~45%로 나타난다.[13] 하지만 이번 실험에 사용된 시스템의 효율은 Fig. 3-13 에 나타나듯이 약 41~49% 정도의 효율로 나타내었다. 이것을 볼 때 기존의 시스템보다 효율이 높음을 알수 있다. 태양열 시스템의

효율이 낮은 것은 이 시스템에 사용된 집열기의 집열효율은 75%이고, 또한, 공조기에서 축열조로부터 공급되어지는 온수와 공조기를 통해 실내로 공급되어지는 공기와의 열교환시 열손실이 발생하기 때문이다.



3.4.4. 열부하 특성

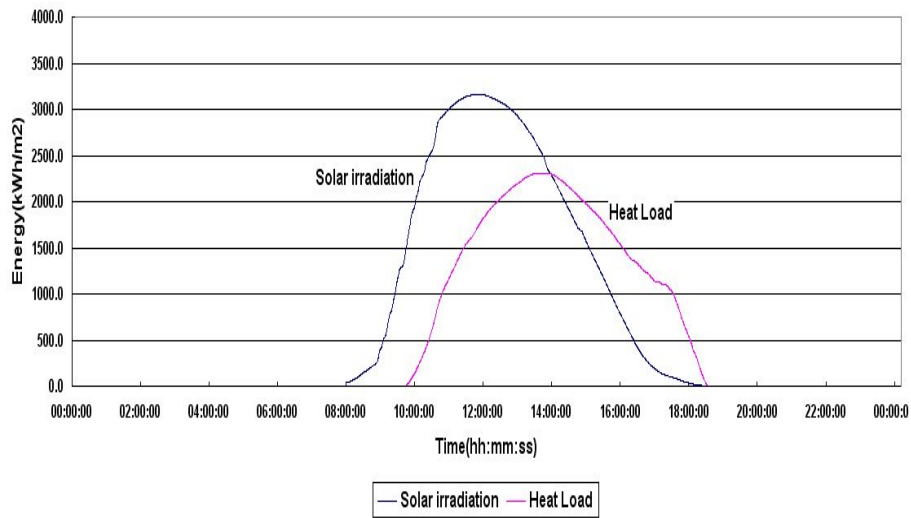


Fig. 3-14 The comparison on solar irradiation and heat load into room (10LPM)

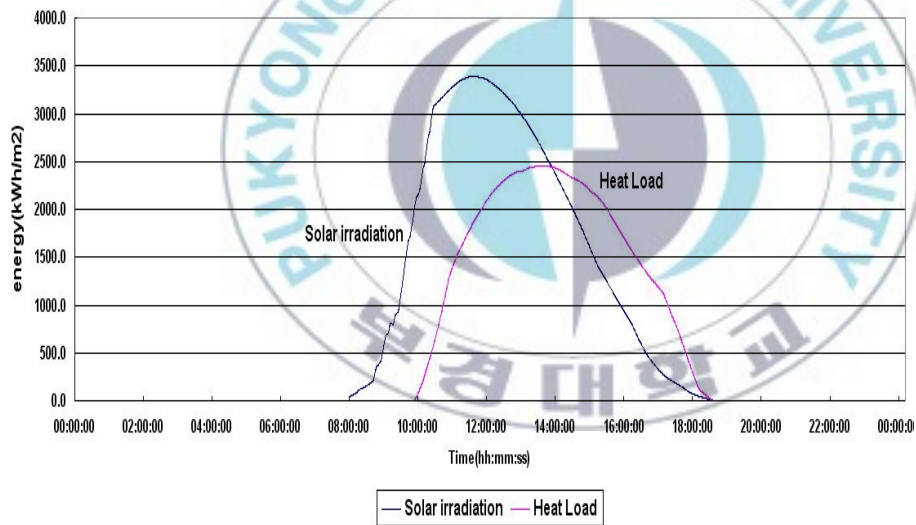


Fig. 3-15 The comparison on solar irradiation and heat load into room (15LPM)

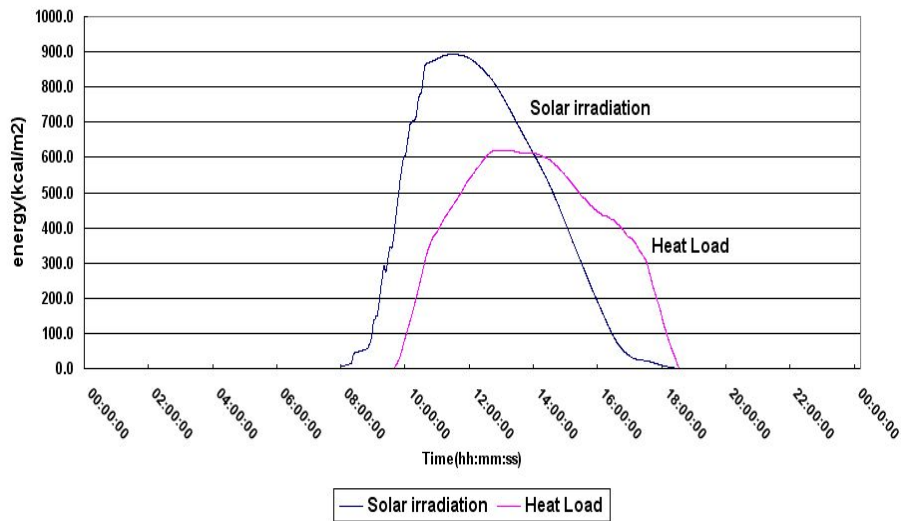


Fig. 3-16 The comparison on solar irradiation and heat load into room (20LPM)

Fig. 3-14, Fig. 3-15, Fig. 3-16 에, 일사량과 실내로 공급되는 열량을 유량에 따라 나타내었다. 일사는 오전 8시부터 발생하게 되지만, 실내로 공급되는 열량은 10시경부터 발생한다. 9시반부터 공조기를 가동하더라도 일사가 적게 발생하기 때문에 충분한 축열이 이루어지지 못한 것으로 생각되어진다. 그리고, 일사량과 실내로 공급되는 열량이 최고가 되는 시간에도 차이가 있었다. 일사가 최대가 된 다음 2시간 가량이 지난후 실내로 공급되어지는 열량이 가장 많게 된다. 그에 따라, 일정시간 이후 일사가 줄어들더라도 부하가 부족하지 않게 되는 것은 이 때문이라고 판단된다.

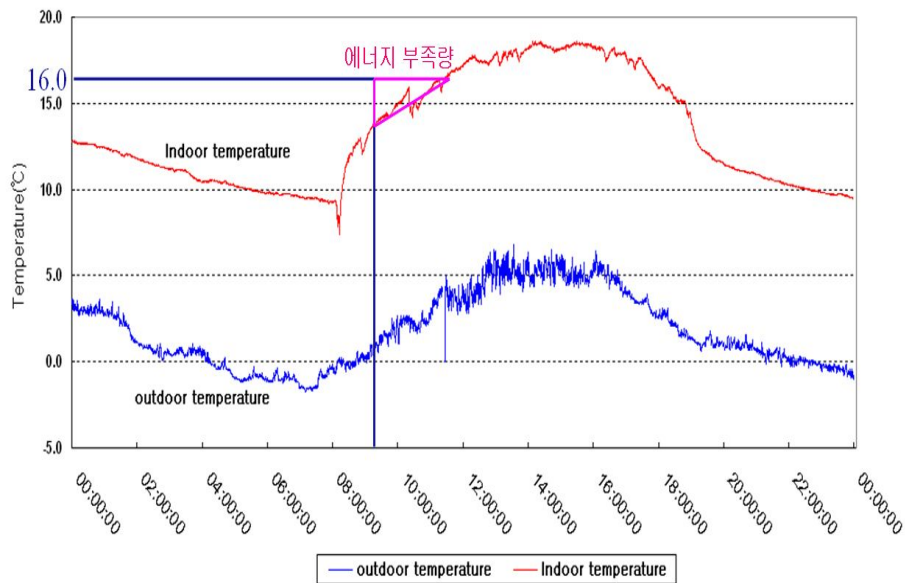


Fig. 3-17 The heat load deficit when the solar irradiation is low

Fig. 3-17에 설계기준온도인 16°C에 대해 에너지 부족량을 나타내었다.

그림에 표시한 부분만큼 보조열원이 필요할 것으로 보인다.

또한, 집열기 단위 면적당 부하 담당율을 알아보았다. 이번 실험에 설치된 집열기의 전체 면적과, 측정된 일사량, 효율을 비교하여 집열기의 단위 면적당 담당할수 있는 부하량을 계산하였다. 실험 기간동안의 일사량은 약 12000~16000 kWh/m²·d 이었고, 효율은 41~49% 였다. 이것을 바탕으로 계산해보면, 집열기 단위 면적(m²)당 담당 부하량은 6700~8400 kWh/d 이었다. 일사량 및 집열기의 효율, 축열조의 용량에 따라 달라지지만, 이 시스템에 사용된 집열기의 효율과 축열조 용량을 고려하여 설계를 진행한다면, 그에 맞는 부하량이 계산되어질 것이다.

Table 3-3 The supply heat and solar irradiance during one day
(kW/m² · day)

Flow rate	Supply heat	Solar irradiance
10LPM	6875.6	16265.3
15LPM	7363.2	15021.4
20LPM	7467.6	16773.3

천정형 공조기를 이용하여 난방기간 동안 난방하면서 얻을 수 있는 효과에 대해 알아보았다.

먼저, 난방기간동안 발생하는 총 부하량을 계산하여 나타내었다. 난방기간(12월~2월)동안의 총 부하량은 $21,656 \text{ kWh/day} \times 20 \text{ day} \times 3 \text{ month} = 1,299,360 \text{ kWh/3mon}$ 이다.

이것을 바탕으로 에너지 절감율을 계산할 수 있다.

에너지 손실에 따른 여유율 10%를 계산하면, $1,299,360 \text{ kWh} / 0.9 = 1,581,400 \text{ kWh}$ 이고, 이것을 요금으로 계산하면, 약 177,116원이 나온다.

다음으로 환경개선효과에 대해 알아보았다.

총 부하량인 1,299,360 kWh 에 대해 원유 환산량을 계산하면, $1,299,360 \text{ kWh} / 11,412 \text{ (kWh/kg)} = 113.86 \text{ kg}$ 이 된다. (여기서, 원유에 대한 에너지 환산량 (11,412kWh= 1kg))

다음으로 석유 환산톤을 구하면, 석유 환산톤은 $1,299,360 \text{ kWh} / 107 \text{ (kWh/toe)} = 0.122 \text{ toe}$ 이다.

마지막으로, 신재생에너지를 사용했을 때 저감되는 이산화탄소량을 계산하였다.

TC 와 TCO_2 는 다음과 같이 계산한다.

TC는 해당연료의 $\text{TOE} \times \text{탄소배출계수}$ 이고, TCO_2 는 $\text{TC} \times 44 / 12$ 로 계산한다. 여기서 원유에 대한 탄소 배출 계수는 0.829이다. 이렇게 계산하면 $\text{TCO}_2 = 0.122 \times 0.829 \times 44 / 21 = 0.37 \text{ tco}_2/\text{year}$ 이다.



제 5 장 결론

본 논문에서는 태양열 집열기를 활용한 천정형 공조기의 부하운전 특성 평가에 대해 태양열 시스템 설계를 실시하여 실험과 시뮬레이션을 실행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 축열시 축열조 내의 온도는 60°C 였으며, 방열시에는 $45\sim 50^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다. 천정형 공조기를 가동하게 되면 축열조의 온도는 축열만 했을 경우 보다 온도가 낮고 방열된 열로 인하여 실내의 온도가 상승하였다.
2. 일사량은 기상조건에 따라 차이가 있었지만, 대부분 일정한 패턴을 나타내었다. 하루의 일사중 최대는 집열기 설치각의 영향에 의해 오전 11시경 최대가 되었으며, 이 때의 일사량은 기상조건이 좋은 날은 약 $3420\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 이고 구름의 영향이 있는 날은 약 $2920\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 이다. 하루 동안의 일사량은 약 $12,540\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \sim 16,720\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 으로 나타났다.
3. 천정형 공조기를 통해 실내로 공급되는 공기의 온도는 난방 수행시 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 로 공급되었다.
4. 일사량에 따른 공조기의 효율을 알아보았다. 축열조와 공조기를 순환하는 펌프의 유량을 10LPM, 15LPM, 20LPM 조절하였는데, 유량에 따라 효율의 차이가 조금씩 있는 것으로 나타났다. 또한 일반적인 태양열 시스템에서의 효율은 $40\sim 45\%$ 정도인데 반해, 이번 천정형 공조기의 효율

은 약 41~49%로 조금 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 실내온도가 낮은 오전시간에는 공조기를 가동하여도 태양열에너지가 축열되지 않아 온도의 변화폭이 작다. 실내 난방을 수행하는데 주열원에 대한 보조열원으로 효용가치가 있다고 판단된다. 또한, 일사량이 좋은 날, 화석에너지를 이용한 주 열원이 없이도 난방이 가능할 것이라고 판단된다.

6. 단위 면적당 감당할 수 있는 부하량은 집열기의 전체 면적과, 측정된 일사량, 효율을 비교하여 계산 하였을 때, 일사량에 따라 차이가 나지만 평균 $7520\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 나타났다.

7. 이 시스템을 활용할 경우 환경 개선 효과는 다음과 같이 나타났다.

1) 소모 전력 절감량 = $1581.4 \text{ kWh/3month}$

2) 석유 환산톤 = 0.122toe

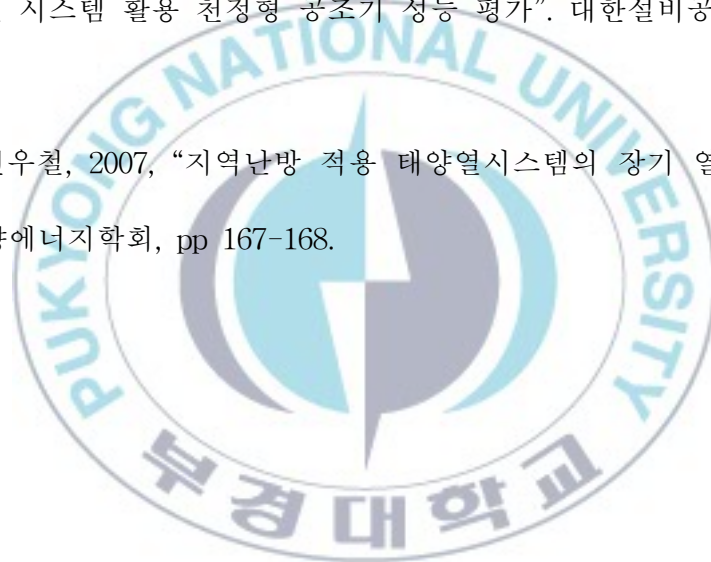
3) 이산화탄소 저감량 = $0.37 \text{ tco}_2/3\text{month}$

공장과 체육관과 같은 층고가 높고, 넓은 천정을 가지고 있는 산업현장에서의 난방기술은 아직 어려운 기술이다. 이번 연구를 통해 살펴본 결과, 천정형 공조기를 이용한 난방은 이런 산업현장에서의 난방에 효과가 있을 것이라고 사료된다. 건물에서 발생하는 부하량을 계산한 다음, 이 부하를 담당할수 있는 집열기 면적을 산출하고, 이 설비를 갖춘다면 산업현장에서도 많은 에너지 소비 없이 난방을 수행할 것이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 곽희열, 1998, “산업용 고효율 태양열 집열기 개발 필요성”, pp19-29.
- [2] 김창오, 서동표, 김진홍, 정낙규, 오을권, 2005, “태양열 온수급탕 시스템의 효율향상에 대한 연구”, pp49~54.
- [3] 김용술, 여명기, 서윤규, 김주영, 홍원화, 2010, “대형경기장의 신재생 에너지 시스템 적용방안에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 pp293-298.
- [4] 전승곤, 2006, “적외선 복사 난방 기술의 개발동향”, pp40-48
- [5] 정용환, 2006, “산업현장의 대공간 난방 환기 시스템 기술의 현황과 전망”, 한국설비기술협회, pp34-39.
- [6] M. Karagiorgas, A. Botzios, T. Tsoutsos, 2001, Industrial solar thermal applications in Greece Economic evaluation quality requirements and case studies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp 157-173.
- [7] R.J. Fuller, 2010, Solar industrial process heating in Australia e Past and current status, Renewable Energy, pp 216-221
- [8] 이기섭, 박효순, 2001, “중규모공간에서의 천장형 냉난방기 적용성 평가”, 대한설비공학회(설비저널), p39-45.
- [9] 2007, “신·재생에너지 전문가 연수(태양열)”, 에너지 관리공단
- [10] 조덕기, 강용혁, 2009, “국내 태양열시스템 설치를 위한 성분 일사량 분석”, 한국태양에너지학회, pp12-18.

- [11] 조덕기, 강용혁, 2009, “국내 태양열시스템 설치를 위한 시스템 최적 설치각 산출을 통한 최대 경사면일사량 분석”, 태양에너지학회, pp 47-54.
- [12] 김영일, 김정민. 2008, “지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향”, 대한설비공학회(설비저널), pp11-15.
- [13] 백남춘. 2004. “태양열 시스템의 효과적인 적용분야 및 태양열 지역 냉난방 시스템”, 대한설비공학회(설비저널), pp17-22.
- [14] 임홍석, 하병용, 김동규, 금종수, 정용현, 김근오. 2010. “대공간 적용을 위한 태양열 시스템 활용 천정형 공조기 성능 평가”. 대한설비공학회, pp 1518-1521.
- [15] 백남춘, 신우철, 2007, “지역난방 적용 태양열시스템의 장기 열성능 분석”, 한국태양에너지학회, pp 167-168.



감사의 글

2002년 부경대학교에 입학하여, 벌써 9년이란 세월이 지났습니다. 대학생
활을 되돌아볼 때, 저에게 가장 귀중하고 소중한 시간은 지난 2년동안
대학원 생활이라 생각합니다. 연구실 생활을 하며 교수님과 함께 연구하
며 전공에 대해 많이 배울수 있었고, 동기들과 싸우기도 하고 고생하며
실험했던 시간들이 저에겐 많은 성장이 되었습니다.

이런 소중한 시간을 통해 이 논문을 완성하게 되었습니다.

논문을 완성하기까지의 시간들이 제 머릿속에 스쳐지나갑니다. 실험을
진행하고 방향을 잡아가면서 논문이 완성되기까지 너무 많은 분들의 도
움이 있었습니다. 직접 말로는 다 표현 못하지만 글로써 대신하고자 합
니다.

먼저, 대학원 진학할 때부터 논문이 완성되기까지 많은 조언과 가르침을
주신 김종수 교수님께 감사의 말을 전하고 싶습니다. 많이 부족한 저에
게 공학도로써 살아야 하는데 필요한 자질과 전공 지식 뿐만 아니라 인
생을 살면서 필요한 부분까지 해주신 조언들을 잊지 않고 살겠습니다.

또한, 연구를 수행함에 있어서 부족한 부분이 없는지, 또 필요한 부분이
없는지 항상 세심하게 챙겨주시고, 논문이 완성될때까지 끊임없는 조언
을 해주신 김동규 교수님께도 진심어린 감사의 말을 전합니다.

항상, 아낌없는 격려와 조언을 해주신 오후규 교수님, 김종수 교수님,
최광환 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님, 김은필 교수님, 너무나도

존경하고 감사드립니다.

2년동안 동거동락하며 서로에게 힘이 되어준 병용이와 은영이에게 미안한 마음과 고마운 마음을 함께 전합니다. 또한, 박사과정으로 있는 민수형과, 앞으로 연구실에서 나와 같은 길을 걸어갈 원범이와 지훈이, 그리고 함께 연구실 생활을 했던 진욱, 동욱, 진태, 은혜, 수진이에게도 고마운 마음을 전합니다.

대학원을 졸업하기까지 뒷바라지 해주신 아버지와 어머니, 그리고 형이 대학원 공부까지 마칠때까지 응원해 준 동생에게 너무 고맙고 사랑한단 말 전하고 싶습니다. 또, 항상 저에게 든든한 지원군이 되어서 어떤 일이든 도움을 준 이모부와 이모에게도 감사의 말을 전합니다. 마지막으로, 항상 제 곁에 계셔서 제가 지칠 때마다 힘이 되어주신 하나님께 감사드립니다.

