

碩士學位論文

태양열 신선외기 난방시스템의
열성능 평가에 관한 연구



機械工學科

康 銀 哲

2002年 12月

태양열 신선외기 난방시스템의
열성능 평가에 관한 연구

指導教授 權 麒 麟

康 銀 哲

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함



康銀哲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

2002年 12月

Thermal Performance Assessment Study for
Solar Fresh Air Heating System

Eun-Chul Kang

(Supervised by Professor Ki-Rin Kwon)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER
OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

December 2002

목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	iv
NOMENCLATURE	v
SUMMARY	vii
I. 서론	1
1-1 연구배경	1
1-2 연구동향	2
1-3 연구목적	3
II. 시스템 이론	4
2-1 신선외기 난방시스템	4
2-2 에너지평형방정식	5
III. 실험 장치 및 방법	9
3-1 집열판 열성능 평가 실험	9
1) 다공형 철판식 집열판	11
2) 유량 측정	14
3) 일사량 측정	15
4) 온도 측정 및 효율계산식	15

3-2 태양열신선외기 난방시스템 열성능 평가 실험	17
1) 시스템 실험장치	18
2) 실내온도제어시스템	19
IV. 실험 결과 및 고찰	21
4-1 단위모듈 실험장치	21
1) 온도상승선도	21
2) 집열관 효율	28
4-2 시스템 실험건물 열성능 평가 실험	32
1) 시스템 실험건물의 온도상승도 및 효율	32
2) 시스템 실험건물 제어	38
V. 결 론	41
VI. 참고문헌	43



LIST OF FIGURES

Fig. 2-1 Concept of Solar Air Heating System	4
Fig. 2-2 Energy balance on UTC panel	8
Fig. 3-1 Experimental apparatus for module test cell	10
Fig. 3-2 UTC panel with different colors	12
Fig. 3-3 Absorptivity and reflectivity values of UTC panels	13
Fig. 3-4 Calibrated of test pyranometer	16
Fig. 3-5 Experimental apparatus for system test cell	17
Fig. 3-6 Indoor temperature control system	20
Fig. 3-7 Monitoring and control diagram for system test cell	20
Fig. 4-1 Temperature and irradiance data for SW.100-1 panel with suction velocity [$V=0.01\text{m}^3/\text{sm}^2$]	23
Fig. 4-2 Air temperature rise with solar irradiance for SW.100-2 panel with different suction velocity	25
Fig. 4-3 Air temperature rise with solar irradiance at different velocity [SW.100-2]	26
Fig. 4-4 Comparison temperature rise between SW.100-1 and SW.100-3	27
Fig. 4-5 Efficiency variation with solar irradiance of UTC panels	31
Fig. 4-6 Variation of air temperature and solar irradiance	36
Fig. 4-7 The impact of SAHS on air temperature rise for given solar irradiance	37
Fig. 4-8 Indoor temperature control with Solar Air Heating System and auxiliary heater system	40

LIST OF TABLES

Table 3-1 Characteristics of the test modules	12
Table 3-2 Dimension of orifice	14
Table 3-3 Specifications of system test cell	18
Table 3-4 Specifications for auxiliary heater	19
Table 3-5 Control algorithm	20



NOMENCLATURE

Roman

A : total collector area [m²]

C_p : specific heat [J/kgK]

D_h : hydraulic diameter [m]

D_p : plenum depth [m]

H : collector height [m]

I_T : incident solar irradiance on the collector surface [W/m²]

L_p : plenum length [m]

L_t : collector thickness [m]

Nu_d : Nusselt number

P : hole pitch [m]

ΔP : pressure drop [kg/ms²]

T_{plm} : plenum temperature [°C]

T_{amb} : ambient temperature [°C]

T_c : collector surface temperature [°C]

T_s : surrounding temperature [°C]

U_w : total heat-transfer coefficient

U_∞ : wind velocity [m/s]

$V_{pl, avg}$: average plenum velocity [m/s]

- d : orifice throat diameter [m]
 f : friction factor
 h_{conv} : heat rate coefficient [W/m²K]
 k : thermal conductivity [W/mK]
 \dot{m} : mass flow rate [m³/s]
 v_0 : suction velocity [m/s]

Greek Symbol

- α : absorptivity
 δ : slope of collector
 ϵ : emissivity
 ϵ_{HX} : heat exchanger effectiveness of collector
 ζ : non-dimensional pressure drop across collector
 η : efficiency
 ρ : density [kg/m³]
 σ : porosity of the collector plate
 σ_{sb} : Stefan-Boltzmann constant [W/m²K⁴]
 τ : transmittance

Summary

National law about renewable energy development and dissemination has been updated at 25 March, 2002 to emphasize the broader use of renewable energies in Korea. The solar energy among other renewable energies could meet the demand of the article amendment by solving the energy and the environmental problems as well.

Solar Air Heating System(SAHS) is one of the alternative promising techniques that could use solar energy for heating and ventilating buildings in winter. SAHS has an advantage over the water heating system since it uses air as a working fluid and, therefore, no leakage and winter-frozen problem does not occur. SAHS is cost-effective since it has no expensive glass for the water heating collector and could replace the conventional outside claddings in most buildings. SAHS is so easy to design, install and even operate. However, the systematic design and analysis as well as control principle have not been set up for building integration and application. This study has been initiated to develop the design, analysis and control techniques in more scientific ways.

This study introduces thermal design, analysis and control method to improve the current models and verifies its performance through real experiment. The results showed that, first, Module Test Cell(MTC) was developed to estimate thermal performance of modules that could be manufactured in future. The thermal performance of modules in terms of air temperature rise over solar irradiance could be estimated and predicted. Three samples are tested titled 1) SW.100-1(black panel), 2) SW.100-2(brown panel), and 3) SW.100-3(blue panel) SAHS modules.

The module test results show that the efficiency increased with increase absorption and air flow rate, and also with decrease of thermal emissivity. Second, System Test Cell(STC) was developed to test a system integrated thermal performance of SAHS module. Micro process control logic has been developed to verify the performance of the system controller to control room temperature depending on input signals with LabVIEW software. Finally, this assessment could measure and verify the heating and ventilation load for any commissioning purposes.



I. 서론

1-1 연구배경

최근 들어 에너지 환경 현안 문제가 새로운 대두로 떠오르면서 화석연료에 대한 에너지 의존도가 크게 떨어지고 있으며 반면에 이러한 에너지 및 환경문제를 해결하기 위한 방안으로 대체에너지개발에 많은 관심을 보이고 있다. 국내에서 시행되고 있는 ESCO 사업을 통한 에너지개발 및 대체에너지 연구 개발 사업 등은 현 시점에서의 국내에서의 대체에너지 개발의 중요성을 잘 설명해 주고 있다. 그러나 대체에너지가 국내에서 차지하고 있는 공급비중은 '98년 현재 총 에너지 사용량의 1.03%(1,715천TOE)로써 아직도 선진국들에 비해 공급비중이 매우 낮으며, 이는 대체에너지 기술개발에 대한 투자규모가 아직까지 미약하다고 볼 수 있다. 실제로 미국은 우리나라보다 74배, 일본은 27배, 영국은 9배의 대체에너지 이용 보급률을 보이고 있다.

우리나라는 총 에너지의 97%이상을 수입에 의존하고 있으며 국내 총 에너지 소비실태를 살펴보면 '99년 1월부터 10월까지 산업부문 에너지 소비 증가가 전년 대비 5.7% 증가에 그친 반면, 가정·상업부문은 20.4%로 90년 이래 가장 높은 증가율을 보였다. 특히, 최근 급신장세를 보이고 있는 가정·상업용 부문 에너지 소비는 전적으로 건물 관련 에너지 소비임으로, 건물에 대한 혁신적인 에너지저감기술개발 및 환경오염대책 차원에서 대체에너지기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 특히 겨울철 실내 환기시 발생하는 난방 부하 및 공기질의 악화문제로 인해 건물의 최소환기량 요구조건 즉, 신선외기 도입량의 법적 기준을 크게 높이는 쪽으로 강화되고 있으며 외기 부하의 증가에 따른 건물 총 에너지 소비량의 증가가 예상됨으로 이러한 실내 난방 부하 문제를 해결할 수 있는 방안이 절실한 형편이다[1].

이와 관련하여 기존에 사용되었던 설비형 태양열 난방은 시스템의 복잡성, 난이성, 동파우려, 유지보수성, 초기투자비 등의 문제점을 안고 있으며, 실측 검증사업 부족으로 기술에 대한 확신성이 부족하여 보급이 지연되고 있다. 이러한 문제 해결 방안으로 제시한 본 연구에서 소개하는 태양열 신선외기 난방시스템은 공기식 집열방식으로 안정성이 매우 높으며 시스템이 단순하고 저가이며, 집열 효율이 매우 높아 국내 태양열 건물 분야의 현 상황을 타개할 수 있는 매우 적합한 기술로 평가된다. 본 논문에서는 이러한 기술을 바탕으로 실증실험을 통하여 태양열 신선외기 난방시스템의 정량적 열성능을 평가하고자 한다.

1-2 연구동향

국내 태양열에 대한 연구가 시작된 것은 지난 1973년 제1차 에너지파동 이후로서, 갑자기 불어닥친 오일 쇼크로 인하여 대체 에너지원 개발의 필요성이 대두되면서이며, '80년 이후 몇 년간 정부의 적극적인 정책적 지원에 힘입어 태양열 주택은 연간 2백가구 이상의 활발한 건립 실적을 보였으나, '80년대 후반부터는 정체현상을 보이다가 '87년에 이르러서는 30가구 외에 현재까지 실적이 거의 없는 상태이다. 그러나, 최근 2001년 한국에너지기술연구원 산업자원부 지원 1차년 중간 연구보고서인 공간 에너지 절약형 태양열 공기 집열 UTC (Unglazed Transpired Collector) 팬-덕트 공조 시스템 개발[2]에 대한 연구와 태양열 공기난방 건축외장판넬 시스템의 열성능 분석에 관한 연구[3] 등에서 UTC 및 태양열 신선외기 난방시스템 열성능 평가 방안에 대한 연구가 시작되어지고 있다.

선진국에서는 이미 1969년에 다공판에 대한 연구부터 격자형태 공기히터 그리고 유리커버가 있는 천공판 공기히터 등과 같은 연구들이 진행되어 시스템 개발에 대한 기초를 제공하였으며, 시스템 이론의 전반적인 연구는 1992년 Kutscher[4]에 의해 수행되었다.

국의 사례로는 CETC(CANMET energy technology centre)[5] 에너지 분과의

과제 보고서로써 캐나다 Oshawa 지역 자동차 배터리 생산 공장, IEA Task 14 SHC[4] 분과에서 소개된 캐나다 Oakville 지역 자동차 공장, 미국 국립신재생에너지연구소 NREL(National Renewable Energy Laboratory) 폐기물 처리시설에서와 같이 대부분 시스템 실증시험 규모 시설을 통하여 수집된 실측치 데이터를 통하여 수행되어졌다. 1989년 공기식 집열기 기술에 대한 특허를 획득한 Conservall Engineering Inc.는 UTC 및 신선외기 난방시스템에 대한 체계적인 성능평가 방안과 이에 근거한 성능 인증제도의 도입에 의하여 '90년대 중반부터 상용 보급화를 추진하고 있다.

1-3 연구 목적

인간의 활동이 이루어지는 거주 및 사무공간에서 거주와 쾌적성 및 작업능률 향상을 위해서는 일정량의 신선한 외부 공기의 도입이 필연적이다. 그러나, 연중 계절별 외기 온도차가 심한 국내의 실정에서 특히, 동계 때 외부 공기의 도입은 상대적으로 난방부하의 증가에 따른 난방설비비 및 운영비 상승을 유발시켜 운영주의 경제적 부담을 증가시킨다.

본 연구에서는 최근 태양열을 이용한 난방용 공기 예열 시스템으로써 세계적으로 주목을 받고 있는 태양열 신선외기 난방시스템의 이론 및 실험적 연구를 통하여 동계 실건물의 환기용 공기 도입에 따른 난방비용 증가의 문제점을 타개하며 아울러 건물분야에서 태양열 대체에너지적용 및 보급사업의 활성화를 위한 기반 기술 개발에 목적을 둔다. 태양열 신선외기 난방시스템을 평가하기 위하여 시스템에 적용되는 각각의 집열판에서의 일사량에 대한 공기상승도 및 집열판의 효율을 평가하고, 평가된 집열판을 실험건물에 적용하여 본 시스템에 대한 열성능을 평가해 보고자 한다. 또한 실험건물에서의 실내 적정 온도 유지를 위한 제어시스템을 구현하고자 한다.

II. 시스템 이론

2-1 신선외기 난방시스템

Fig. 2-1은 겨울철 태양열 신선외기 난방시스템(Solar Air Heating System)의 작동 개념도이다. 겨울철 높은 흡수율을 가지는 집열관을 건물 남측벽에 설치하여 태양열을 흡수하고, 시스템에 설치된 팬에 의해 강제로 공기층으로 유입되는 공기는 집열관의 작은 구멍을 통과하면서 집열관과의 대류 열전달에 의해 가열되게 된다. 이렇게 가열된 공기는 다시 팬을 거쳐 실내로 유입되게 되는데, 중간에 덕트를 설치함으로써 실내로 유입되는 공기를 골고루 분산시켜준다. 따라서 태양열 신선외기 난방시스템은 신선한 외부 공기 유입 및 실내난방부하를 절감시켜주는 자연친화형 에너지 절감 요소기술이라 할 수 있으며, 신선외기 난방 기법을 사용함으로써 시설 내 거주자의 쾌적성 및 실내공기 질 개선을 위한 외부 신선공기 도입조건을 충족시킬 수 있는 시스템이다.

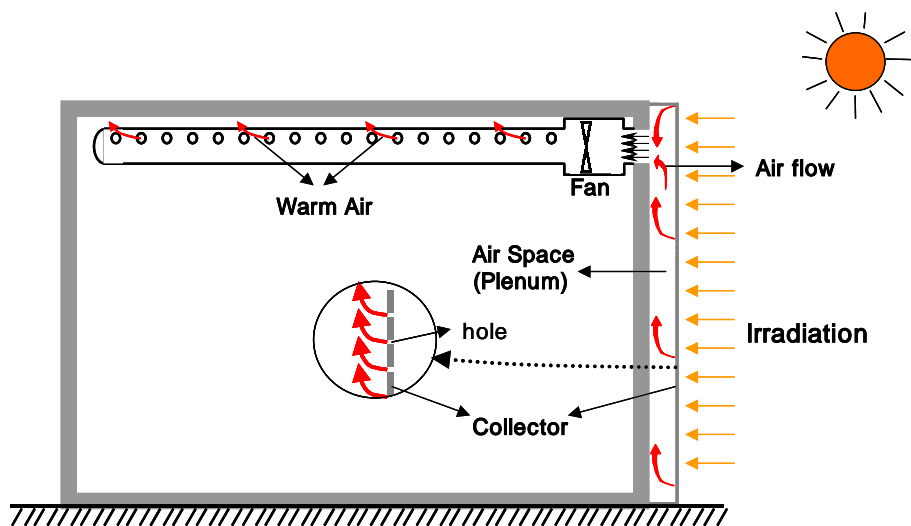


Fig. 2-1 Concept of Solar Air Heating System

2-2 에너지평형방정식

Fig. 2-2와 같이 집열판 검사체적을 중심으로 에너지 흐름은 식 (2-1)과 같이 태양열 흡수에너지 (Q_{abs}), 집열판에서 대류에 의한 유용에너지 (Q_{useful}), 외부로 빠져나가는 복사에너지 ($Q_{rad,loss}$)와 대류손실에너지 ($Q_{conv,loss}$)로 구성되어진다 [4].

$$Q_{abs} = Q_{useful} + Q_{rad,loss} + Q_{conv,loss} \quad (2-1)$$

태양열 흡수에너지는 식 (2-2)와 같이 집열판에 도달하는 태양복사에너지와 집열판의 흡수율과의 관계로 나타낸다.

$$Q_{abs} = \alpha I_T A \quad (2-2)$$

식 (2-3)은 태양열유용에너지로써 외부공기가 집열판의 기공들을 통과하면서 공기층 내부로 유입될 때, 집열판 표면에서 발생하는 대류 열전달에 의해 에너지를 흡수하게 된다.

$$Q_{useful} = \dot{m} c_p (T_{plen} - T_{amb}) \quad (2-3)$$

집열판에서 외부로 빠져나가는 복사 열손실은 식 (2-4)와 같이 표현된다.

$$Q_{rad,loss} = \epsilon \sigma_{sb} A (T_c^4 - T_s^4) \quad (2-4)$$

주변온도 (T_s)는 지표면온도 (T_{gnd})와 천공온도 (T_{sky})의 식으로 나타낼 수 있으며, 집열판이 지표면과 수직으로 설치되어 있으면 주변온도는 식 (2-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_s^d = 0.5(T_{gnd}^d + T_{sky}^d) \quad (2-5)$$

형상계수 0.5는 식 (2-6)에 의해 구해졌으며, δ 는 집열판의 기울기를 말한다.

$$\begin{aligned} F_{sky} &= (1 + \cos \delta)/2 \\ F_{gnd} &= (1 - \cos \delta)/2 \end{aligned} \quad (2-6)$$

외기로 빠져나가는 대류손실에너지는 식 (2-7)과 같이 나타낸다[7].

$$Q_{conv.loss} = U_w(T_c - T_{amb}) \quad (2-7)$$

공기층에서의 온도를 평가하는 방법으로는 열교환기 유효도를 이용하여 식 (2-8)과 같이 구할 수 있다.

$$T_{plenum} = \epsilon_{HX}(T_c - T_{amb}) + T_{amb} \quad (2-8)$$

여기서, ϵ_{HX} 는 집열판의 열교환기유효도로써, 상관식 (2-9)의 형태로 표현된다. 대류열전달계수는 Nusselt 수를 구함으로써 계산되어진다.

$$\epsilon_{HX} = 1 - \exp\left[-\frac{h_{conv} A}{\dot{m} c_p}\right] \quad (2-9)$$

공기층으로의 대류에 의한 열전달 상관식을 나타내는 Kutscher(1992)의 실험식으로부터 검증된 실험적 값은 식 (2-10)에 나타내었다[7].

$$Nu_d = \frac{h_{conv} L_t}{k} = 2.75 \left[\left(\frac{P}{D_h} \right)^{-1.2} Re_d^{0.43} \right] \quad (2-10)$$

집열관 성능 실험에서 발생하는 공기층 압력강하는 집열관 기공에서의 압력강하 및 기공 입출구에서의 속도차에 의한 압력강하로 구성되어지며, 그 외에 부력 및 가속도에 의한 압력강하가 있으며 그 평형 방정식은 식 (2-11)과 같다.

$$\Delta P = \Delta P_{col} + \Delta P_{fric} - \Delta P_{buoy} + \Delta P_{acc} \quad (2-11)$$

집열관 기공에서의 압력강하는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_{col} = \zeta \frac{\rho}{2} \frac{\dot{m}^2}{A^2} \quad (2-12)$$

$$\zeta = 6.82 \left(\frac{1-\sigma}{\sigma} \right) Re_d^{-0.236} \quad (2-13)$$

$$\sigma = 0.907 \left(\frac{D_h}{P} \right)^2 \quad (2-14)$$

마찰에 의한 압력강하 식은 (2-15)과 같이 표현되어진다.

$$\Delta P_{fric} = f \frac{\rho}{2} \frac{L_p}{D_p} V_{pl,avg}^2 \quad (2-15)$$

밀도차에 의해 발생하는 부력에 의한 압력강하는 식(2-16)과 같이 표현된다.

$$\Delta P_{buoy} = \Delta \rho g L_p \quad (2-16)$$

중력에 의한 압력강하는 식 (2-17)에 나타내었다.

$$\Delta P_{acc} = \frac{\rho}{2} (V_{pl,max})^2 \quad (2-17)$$

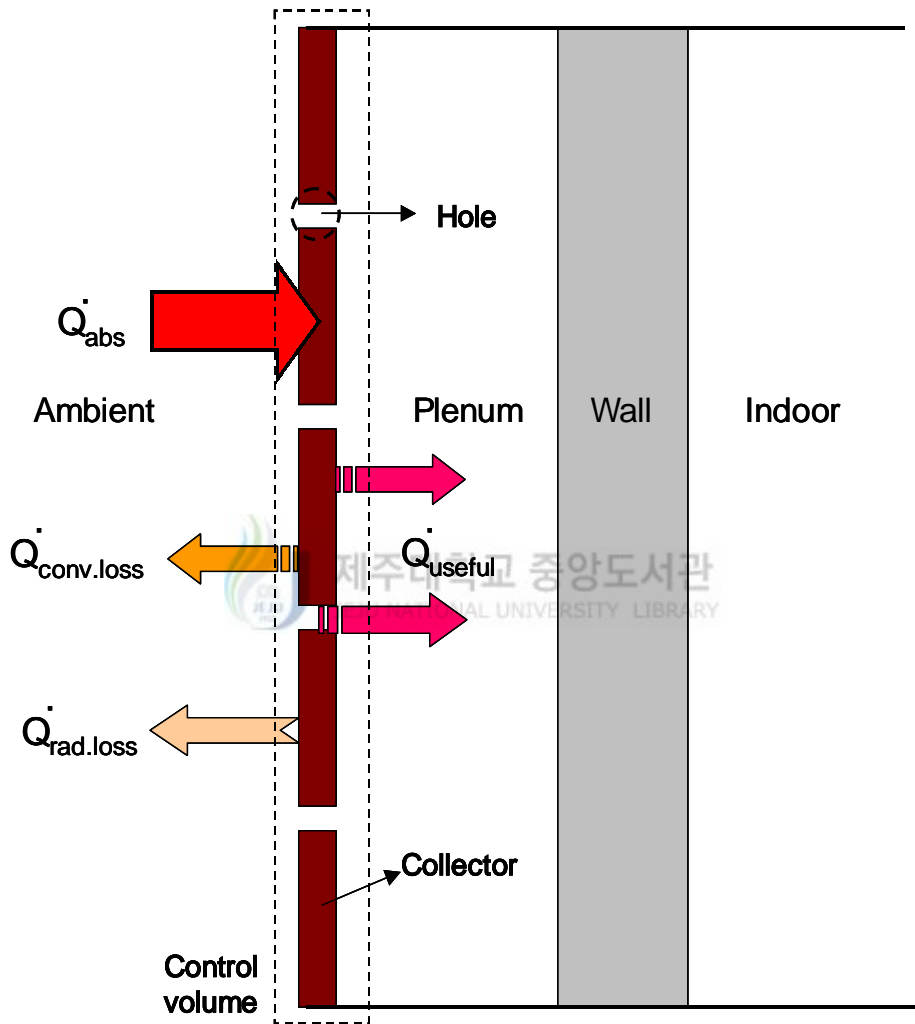


Fig. 2-2 Energy balance on UTC panel

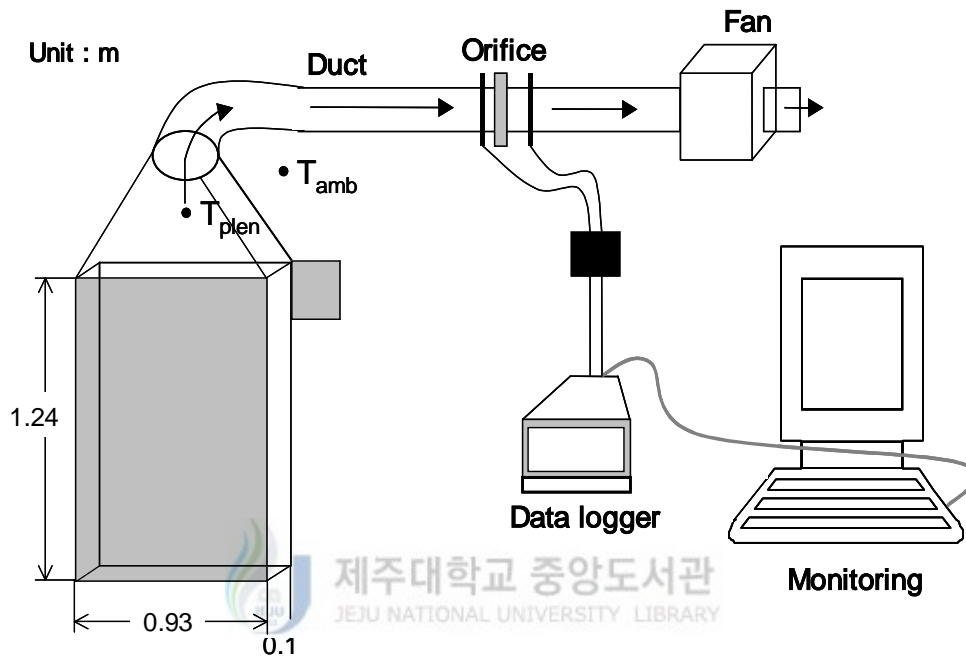
Ⅲ. 실험 장치 및 방법

3-1 집열판 열성능 평가 실험

집열판의 열성능에 영향을 미치는 주요변수 민감도 분석 실험을 수행하기 위하여 Fig. 3-1과 같은 단위모듈 실험장치(Module Test Cell)를 구현하였다.

그림에서 보듯이 본 실험장치는 집열판, 유량 측정 장치, 일사량 측정 장치 및 온도 센서 등으로 구성되었으며, 실험데이터는 측정기기를 거쳐 컴퓨터 모니터에서 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 이 실험장치는 집열판을 제외한 모든 형상이나 기능이 똑같이 구성되었으며, 이동이 용이하고 서스판 외부에 단열재를 처리하여 자연상태에서 쉽게 변형이 되지 않도록 제작하였다.

이 실험장치는 일사조건이 가장 좋은 정남쪽을 향하고 있으며 여기에 부착되는 집열판은 지표면과 수직으로 놓여지도록 설계하였다. 또한 2개의 지지대를 같은 위치에 나란히 설치하여 외기 조건이 항상 동일하게 작용하도록 하였다. 실험장치 각각에 대한 설명은 다음과 같다.



- ① UTC panel
- ② Air flow rate measurement
- ③ Irradiance measurement
- ④ Temperature measurement
- ⑤ Monitoring

Fig. 3-1 Experimental apparatus for module test cell

1) 다공형 철판식 집열판

본 실험에 사용되는 집열판은 Table 3-1에 명시되어 있는 모델명 SW.100-1, SW.100-2, SW.100-3이며, 색상을 제외한 집열판의 형상, 재질, 기공 사양 등은 모두 동일하다. 집열판 성능 평가 실험을 수행하기 위한 집열판 설치 프레임은 가로×세로×높이가 0.93×0.10×1.24 m³으로 제작되었으며 Fig. 3-1에 나타내고 있다.

Fig. 3-2는 실험에 사용된 집열판의 색상과 모델명을 보여주고 있으며 색상이 서로 다른 집열판의 재질특성은 흡수율, 반사율, 투과율을 측정하여 식 (3-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3-1)$$

집열판의 반사율 및 투과율은 스펙트로메타를 이용하여 0.36~1.96 μ m파장별 평균 반사율을 측정하고, 불투명체 재질에 대한 투과율은 $\tau=0$ 으로 가정하였다. 따라서 흡수율은 평균 반사율에 대한 상대적인 값으로 측정할 수 있다. Fig. 3-3은 측정기를 이용하여 실험에 사용되는 집열판의 흡수율과 반사율 측정 결과를 나타내고 있다. 측정값을 살펴보면 검은색 집열판의 경우 흡수율 측정에서는 95%정도의 값을 보여주고 있으며, 반사율 측정에서는 5%내의 값을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 파란색의 집열판은 흡수율 85%와 반사율 15%의 값을 보여주고 있으며, 갈색의 집열판은 흡수율 92~94%와 반사율 6~8%의 값을 보여주고 있다.

집열판의 방사율은 디지털 볼트메타를 이용하여 표준 시편으로 보정한 후 측정하였다. 그 결과 검은색 집열판과 갈색 집열판은 89%의 방사율을 보였고, 파란색 집열판은 다른 집열판보다 조금 낮은 87%의 방사율을 보였다.

Table 3-1 Characteristics of the test modules

Model	SW.100-1	SW.100-2	SW.100-3
Material	Steel	Steel	Steel
Conductivity [W/mK]	64	64	64
Hole shape	Slit	Slit	Slit
Hole pitch [mm]	20	20	20
Hole diameter [mm]	1.65	1.65	1.65
Porosity [%]	1.0	1.0	1.0
Plate thickness [mm]	0.8	0.8	0.8
Color	Black	Brown	Blue
Hole array	Aligned	Aligned	Aligned

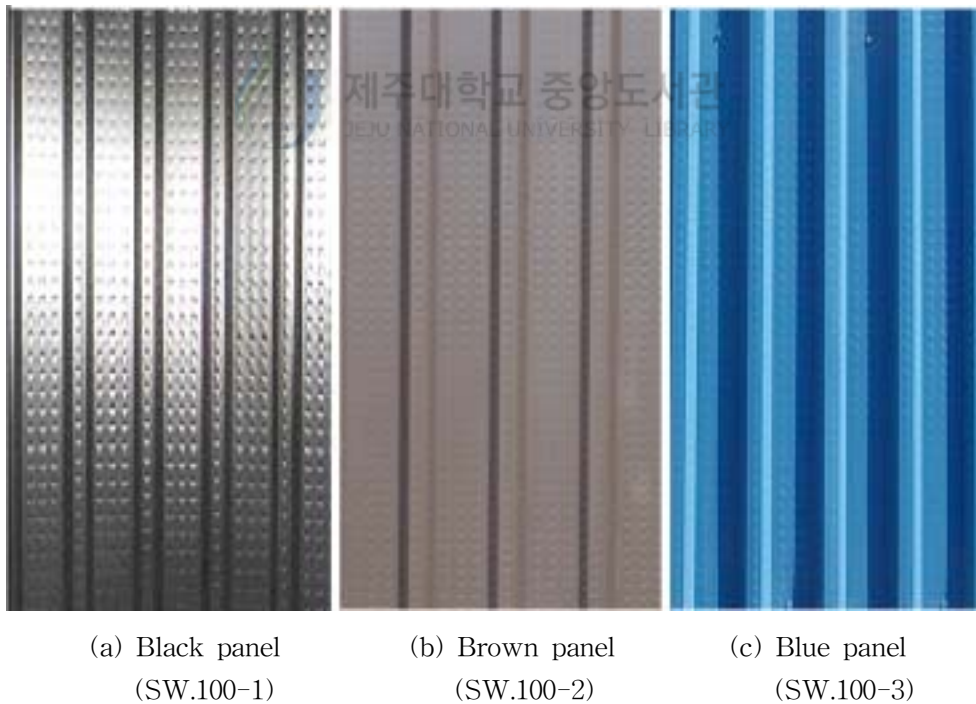
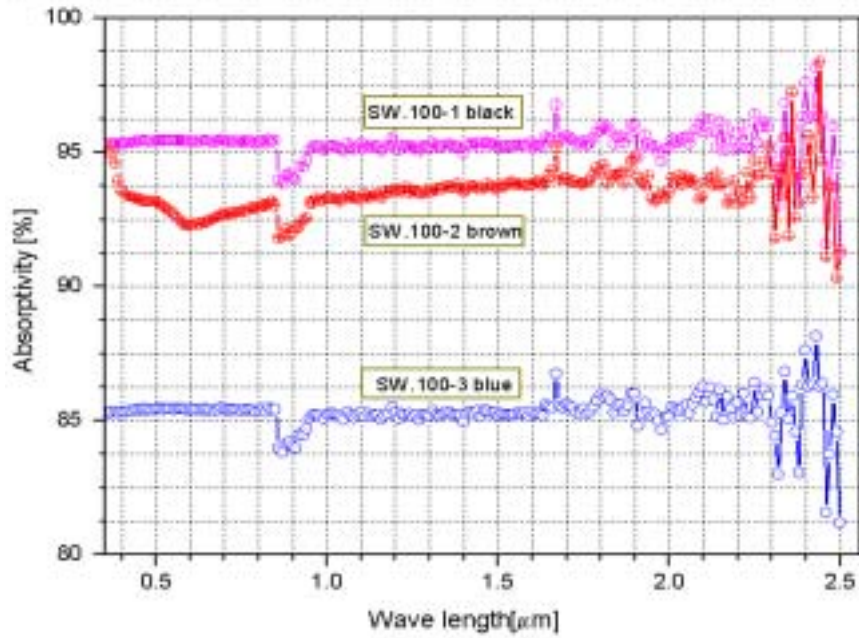
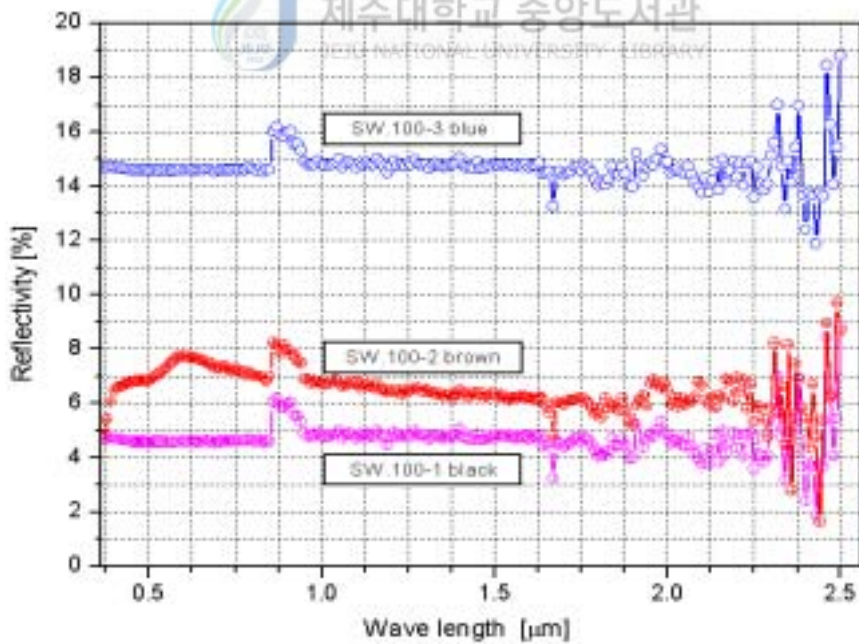


Fig. 3-2 UTC panel with different colors



(a) Absorptivity values of UTC panels



(b) Reflectivity values of UTC panels

Fig. 3-3 Absorptivity and reflectivity values of UTC panels

2) 유량 측정

본 실험장치에서 작동 유량에 따른 집열판에서의 일사량 대비 온도상승도 및 효율을 평가하기 위하여 집열판의 단위면적당 유입되는 유량이 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 m³/sm²일 때를 기준으로 실험을 수행하였다. 이 값은 기공을 통해 들어오는 전체유량을 집열판 면적으로 나눈 것으로, 이때의 온도상승도 및 효율 변수로써 각각의 집열판에 대한 열성능을 산출하고자 하였다.

유량은 단위모듈 실험장치 덕트부에 설치된 오리피스를 이용하여 식 (3-2)와 같이 측정하였다.

$$\dot{m} = \alpha \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \rho_{air} \Delta P} \quad (3-2)$$

여기서 α 는 Re_D 와 β^4 의 관계식으로 구할 수 있으며, ε 은 오리피스에서의 압력비가 $P_2/P_1 \geq 0.75$ 의 범위에서 P_2/P_1 과 β^4 의 관계식으로 구할 수 있다[6].

또한 실험장치에 유입되는 유량값의 오차를 줄이기 위하여 축류팬에 인버터를 연결하였으며, Table 3-2에서와 같이 유량측정을 위해 실험에 사용된 오리피스관 중 지름이 1 인치인 오리피스관은 0.01m³/sm²의 유량값을 측정하기 위해서 사용하였고, 지름이 1.5 인치인 오리피스관은 0.02, 0.03m³/sm²의 유량값을 측정하기 위해 사용하였다. 그리고 0.04m³/sm²의 유량을 위해서는 지름이 2인치인 오리피스관을 사용하였다.

Table 3-2 Dimension of orifice

Orifice diameter	1 inch	1.5 inch	2 inch	2.5 inch
Flow rate range[m ³ /s]	~0.015	0.015~0.035	0.030~0.060	0.050~0.100

3) 일사량 측정

일사량 측정기기로는 Eppley사에서 제공되는 피라노미터(pyranometer) 일사량계를 이용하였으며, 단위모듈 실험장치의 집열판과 수평으로 설치하여 집열판에 도달하는 총일사량을 측정하였다. 이 일사량계는 표준일사량계를 사용하여 보정하였으며, 보정 후 테스트 해본 결과 Fig. 3-4와 같은 결과를 얻었다. 그림에서도 알 수 있듯이 표준일사량계와 측정용 일사량계의 값이 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

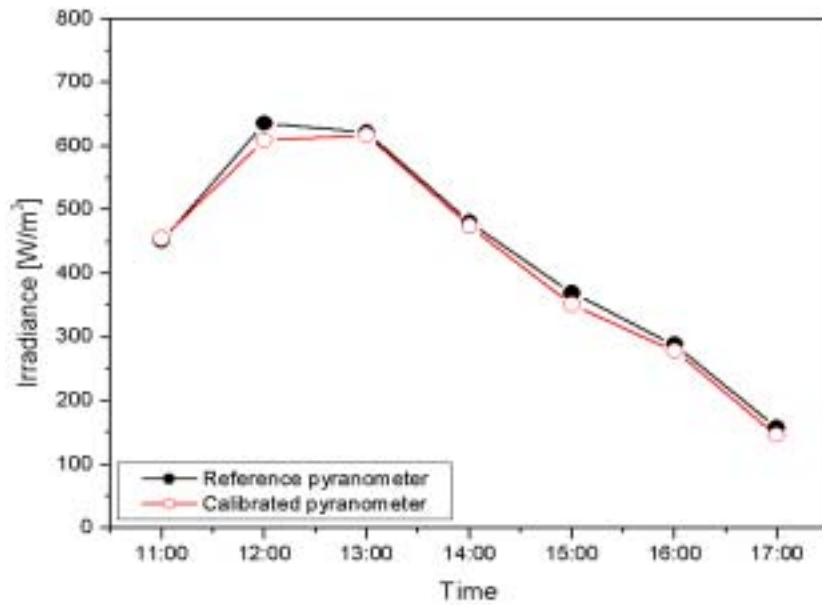
4) 온도측정 및 효율계산식

온도측정은 T-type의 열전대를 항온조에서 보정한 후 사용하였으며, 단위모듈 실험장치에서의 온도 측정 위치는 집열판의 표면과 프레임 안쪽 벽체, 그리고 공기층 상·중·하 및 덕트 입구부이며 외기 온도 측정도 함께 하였다.

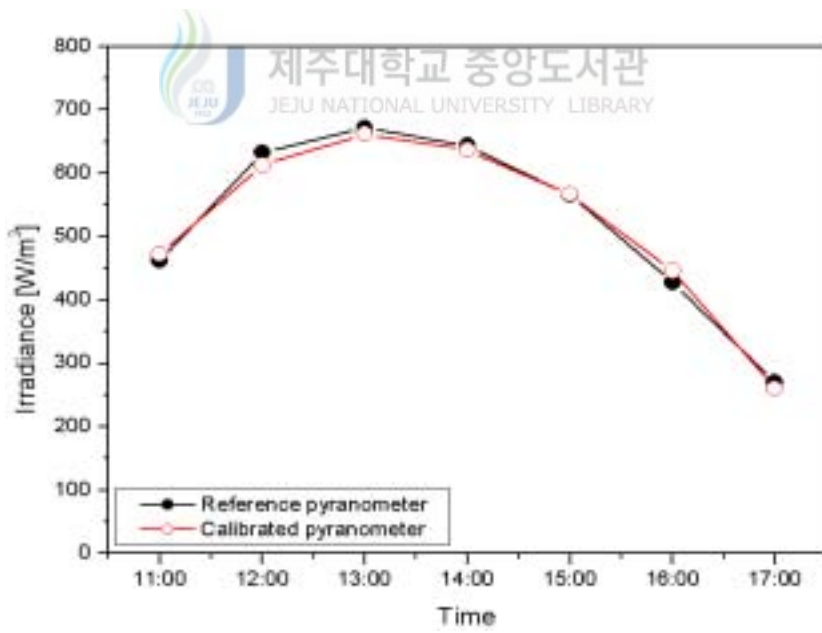
집열판의 열성능 평가는 공기층의 출구온도와 외기 온도의 상대적 차이로 정의되는 온도상승도 및 집열판에 도달한 태양복사에너지가 집열판의 기공을 통해 공기층으로 유입되는 공기로서 전달되는 에너지 비로 표현되어지는 효율을 구함으로써 평가할 수 있다.

집열판의 효율은 집열판에 도달하는 태양복사에너지와 집열면적, 그리고 식 (3-2)에서 측정된 외기 유입 유량과 외기와 공기층에서의 온도차를 측정함으로써 식 (3-3)에 의해 구할 수 있다.

$$\eta_{sol} = \frac{\dot{m} c_p (T_{plen} - T_{amb})}{A I_T} \quad (3-3)$$



(a) 16. March 2001



(b) 20. March 2001

Fig. 3-4 Calibrated of test pyranometer

3-2 태양열 신선외기 난방시스템 열성능 평가 실험

태양열 신선외기 난방시스템은 일사 조건에 따른 외기 온도 대비 실내로 유입되는 공기의 온도를 증가시키는 기능을 수행한다. 그러나 기상 상태가 좋지 못한 상황에서는 유입공기의 온도가 일정하지 않으므로 실내 적정 온도를 유지하기 위한 보조히터가 가동되어야 한다.

Fig. 3-5는 건물 적용 태양열 신선외기 난방시스템에서의 일사 조건에 따른 실온도 분포를 평가하고, 일사 조건이 나쁘거나 야간인 경우와 같이 이 시스템이 작동될 수 없는 상황에서는 전기난방기를 가동하여 실내 적정온도를 유지할 수 있도록 태양열 신선외기 난방시스템과 전기난방기를 동시에 난방장치로 사용하는 시스템 실험장치를 구현한 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 신호제어기에서 읽어드리는 신호는 실내온도와 공기층온도이며, 조건에 따라 태양열 신선외기 난방시스템의 팬과 보조히터를 제어함으로써 실험건물 내부의 적정 온도를 유지할 수 있는 시스템을 구성하였다.

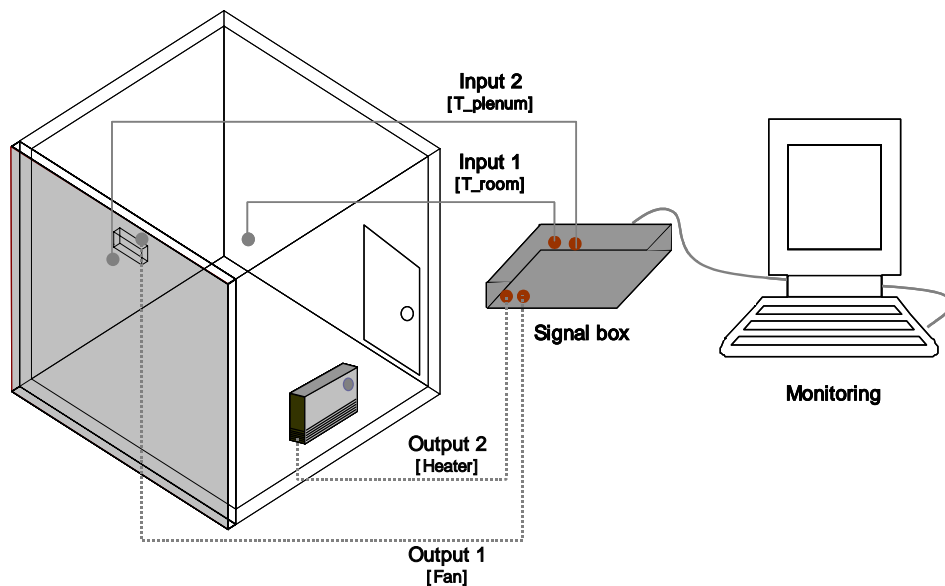


Fig. 3-5 Experimental apparatus for system test cell

1) 시스템 실험장치

시스템 실험장치는 동일한 크기와 형상, 재질 특성을 가지고 있는 동일 실험용 건물로 구성되었으며, 태양열 신선외기 난방시스템의 설치 여부 및 팬의 작동 여부에 따른 실험건물 내부의 열적 특성의 상대적 비교 실험을 수행할 수 있도록 구성되었다. 시스템 실험장치는 Fig. 3-5에서 나타낸 바와 같이 단위모듈 실험장치에서 검증된 집열판과 공기층, 팬, 보조난방장치 등으로 구성되었다.

Table 3-3은 시스템 실험건물의 사양을 보여주고 있다. 건물구조는 단열이 좋은 폴리우레탄이 첨가된 샌드위치 판넬 벽체로 이루어졌으며, 집열판이 설치된 남측벽에는 고정지지 썬스부와 공기층 형성부 사이에 단열재로 마감 처리하여 단열이 잘 되도록 하였다. 공기층 형성부의 두께는 약 10cm를 유지하고 있으며, 공기층에서의 유동형성 및 균일성 유지를 위하여 축팬을 사용하였다. 이 팬은 저소음 및 부식방지를 할 수 있으며 팬이 작동치 않을 때 공기누수를 줄일 수 있는 댐퍼를 채택하고 있다. 일사량 및 온도측정은 단위모듈 실험장치에서의 센서를 사용하였으며, 일사량 및 외기, 공기층, 실내온도는 모두 1분 간격으로 측정하였다. 외기 유입 유량은 터빈형 유량계를 사용하여 측정하였다.

Table 3-3 Specifications of system test cell

Dimension	2.7m × 2.8m × 2.4m	
Volume	18.14m ³	
Total wall area	41.52m ²	
Floor area	7.56m ²	
Overall heat transfer coefficient	0.458W/m ² K	
Steel panel	conductivity	194W/mK
	thickness	0.02m
Urethane foam	conductivity	0.047W/mK
	thickness	0.075m

2) 실내온도제어시스템

본 실험에서 사용된 제어시스템은 LabVIEW에서 DAQ를 이용한 통신 방법을 구현하고, Fig. 3-5에서 나타낸 바와 같이 실내온도와 공기층온도를 입력값으로 하여 신선외기 난방시스템의 팬과 보조난방기의 전원을 ON/OFF 제어함으로써 이루어진다. 보조난방기로는 축열식 전기온풍기를 사용하였으며, 그 사양은 Table 3-4에 나타나 있다.

시스템 실험건물의 쾌적 온도 조건을 유지하기 위한 실내온도제어 시스템은 Fig. 3-6에서 보이는 바와 같이 SC-2345 제어기에 두 개의 입력장치와 또 다른 두 개의 출력장치가 결합되어져 있으며, Fig. 3-7에 나타낸 프로그램을 통해서 Table 3-5의 제어 알고리즘에 의하여 작동되도록 설정하였다. 여기에 적용된 제어 알고리즘은 실내온도를 18℃~25℃로 유지하기 위해 난방장치로 태양열 신선외기 난방시스템과 보조난방기로 전기히터를 선정하였고, 일사조건에 의해 공기층온도가 25℃를 넘게 되면 태양열 신선외기 난방시스템의 팬이 작동하여 실내온도를 높여주고, 일사량이 없는 야간이나 흐린 날에는 전기히터가 가동되어 실내온도를 유지시키도록 하였다. 그리고 실내온도가 25℃를 넘게 되면 팬과 전기히터의 작동이 멈추게 된다. 실내온도가 18℃ 이상일 때에 공기층온도가 25℃를 넘게되면 팬만을 가동시켜 실내난방을 하게 된다. Fig. 3-7은 시스템 제어 로직에 의한 팬 및 히터의 작동여부 및 실내온도와 공기층온도 변화를 1분 간격마다 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링을 보여주고 있다.

Table 3-4 Specifications for auxiliary heater

Model	Maximum thermal stored energy [kcal]	Power consumption [kW]	Dimension[m] H×L×W
DY-2400HK	18,000	2.4	0.65×0.26×0.66



Fig. 3-6 Indoor temperature control system



Fig. 3-7 Monitoring and control diagram for system test cell

Table 3-5 Control algorithm

Fan	Heater	Condition	
ON	ON	$T_{\text{plen}} \geq 25^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{room}} < 18^{\circ}\text{C}$
OFF	ON	$T_{\text{plen}} < 25^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{room}} < 25^{\circ}\text{C}$
ON	OFF	$T_{\text{plen}} \geq 25^{\circ}\text{C}$	$18^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{room}} < 25^{\circ}\text{C}$
OFF	OFF	$T_{\text{room}} \geq 25^{\circ}\text{C}$	

IV. 실험 결과 및 고찰

4-1 단위모듈 실험장치

1) 온도상승선도

단위모듈 실험장치를 이용하여 검은색 집열판(SW.100-1), 갈색 집열판(SW.100-2), 파란색 집열판(SW.100-3)에 대해 유량분포를 각각 다르게 주고 Fig 4-1과 같이 시간에 따른 일일실험 데이터를 구하여 분석해 보았다. 그림에서 보듯이 일사량이 증가할수록 외기 온도 대비 공기층온도가 일사량에 비례하여 높은 수치를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4-2는 갈색 집열판의 단위면적 당 유입유량 $0.01 \sim 0.04 \text{ m}^3/\text{sm}^2$ 에 따른 온도상승 결과를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 온도상승도는 일사량에 비례하여 증가하고 있으며, 그 변화되는 값은 일사량에 대하여 일차원 선도로 나타낼 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 그림에 나타낸 일차원 방정식은 일사량 변화에 따른 온도상승도의 이산화 정도가 적게 나타남으로 일사량과 온도상승도의 관계식을 추정하기 위해 도식하였다. Fig. 4-2의 (c)를 보면, 온도상승도의 이산화 정도가 상대적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 집열판 전면 외기 풍속에 의한 경계층 영역에서의 난류의 영향으로 인하여 집열판 전면에서 기공을 통해 유입되는 공기로의 열전달이 원활하게 이루어지지 않기 때문이다[1].

Fig. 4-3은 Fig. 4-2에 보여준 갈색 집열판의 일사량에 따른 온도상승도를 하나의 그래프에 나타낸 것이다. 그래프를 살펴보면 동일 일사 조건에 대해 유량이 가장 적은 $0.01\text{m}^3/\text{sm}^2$ 일 때의 기울기는 0.033이지만 유량이 많은 $0.04\text{m}^3/\text{sm}^2$ 일 때에는 0.0247로 기울기가 약 0.01정도로 낮아진 것을 알 수 있다. 이것은 유량이 증가할수록 온도상승선도의 기울기가 상대적으로 완만하게 형성된다는 것

을 보여주는 것이다. 이와 동일한 방법으로 검은색 집열판과 파란색 집열판에 대해서도 똑같은 실험을 수행한 결과 Fig. 4-4와 같은 결과를 구할 수 있었으며, 이는 동일 외기 조건하에서 복사 열물성치인 흡수율에 대한 온도상승도의 상대적인 크기를 나타내고 있다. 앞에서 검은색 집열판은 95%, 파란색 집열판은 85%의 흡수율을 나타내었는데, Fig. 4-4를 보면 검은색 집열판이 0.01, 0.02, 0.03 및 0.04m³/sm² 모든 유량에 대해서 온도상승도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 집열판의 흡수율이 온도상승도에 영향을 미치기 때문이며, 따라서 온도상승도를 높이기 위해서는 흡수율이 뛰어난 집열판을 사용하는 것이 적합하다는 것을 알 수 있다.



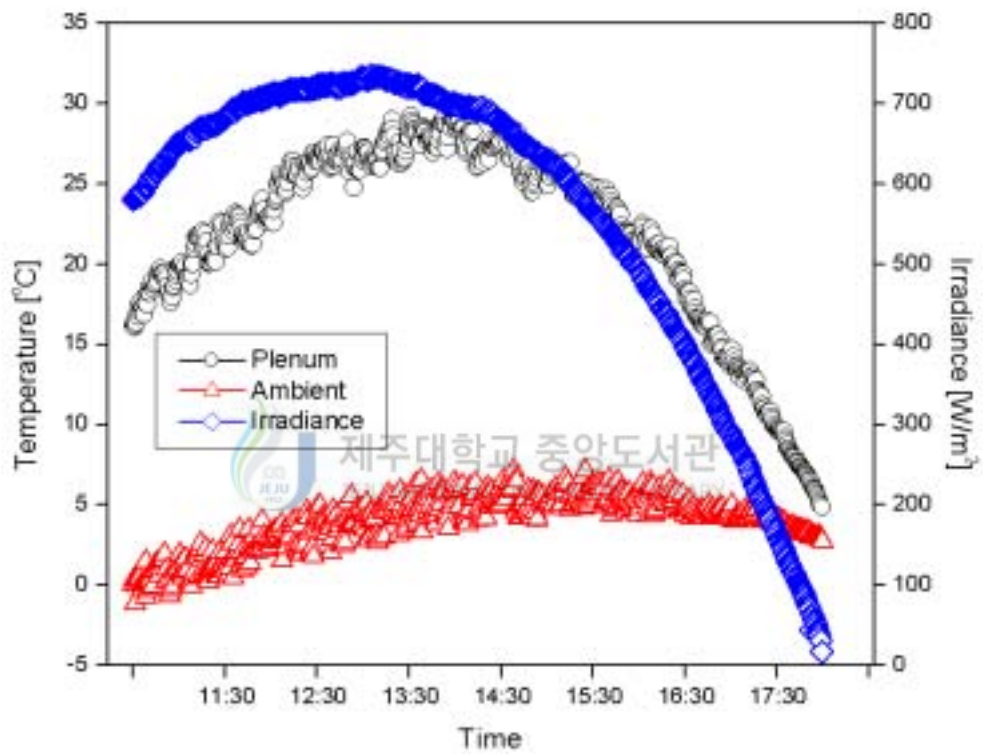
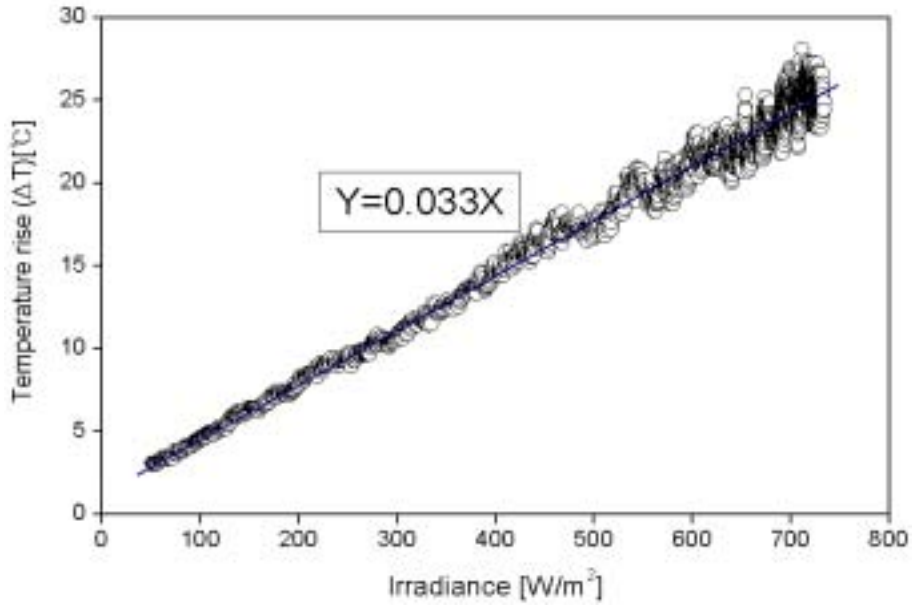
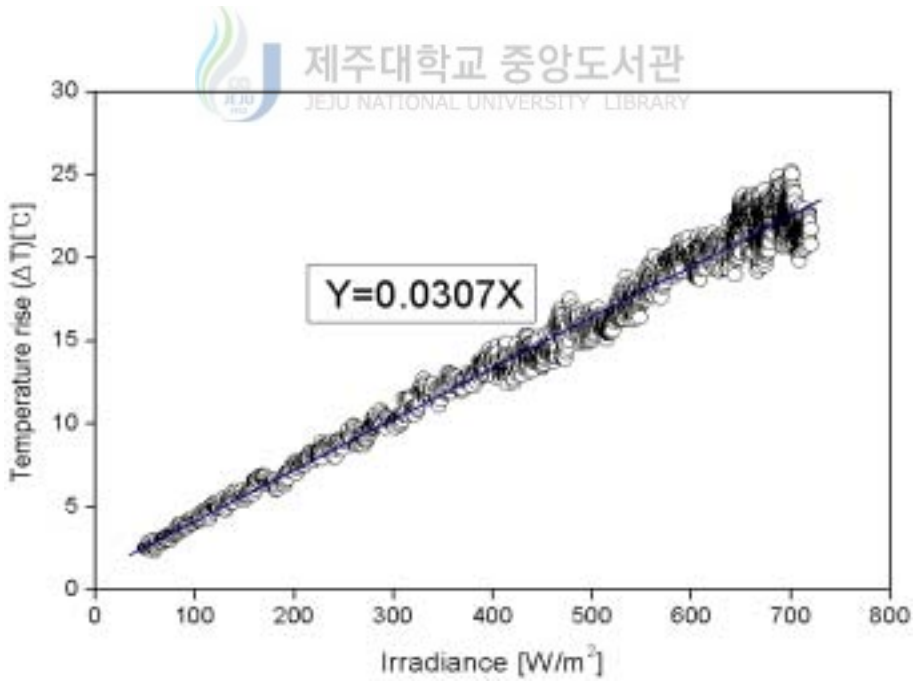


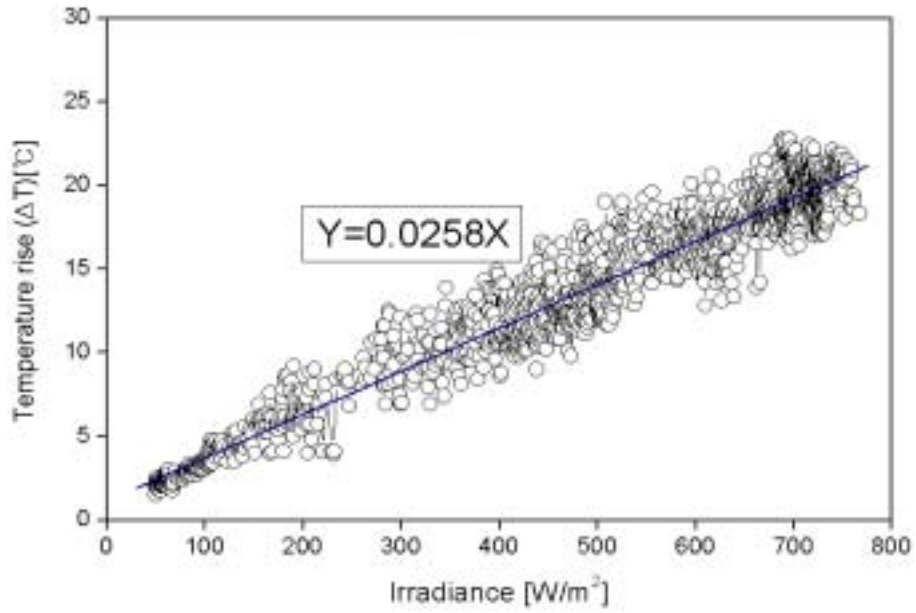
Fig. 4-1 Temperature and irradiance data for SW.100-1 panel with suction velocity $[V=0.01\text{m}^3/\text{sm}^2]$



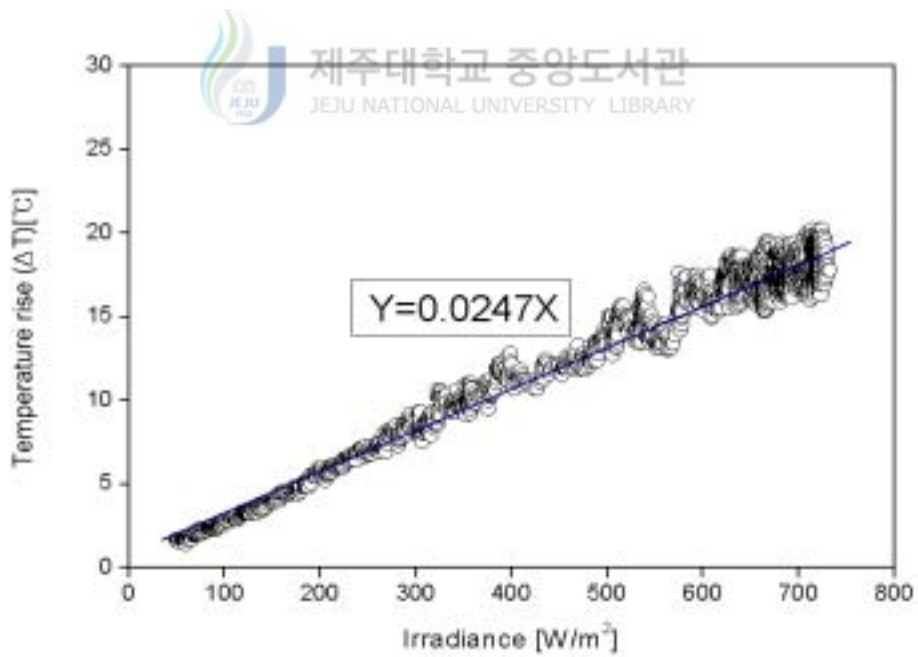
(a) $V=0.01m^3/sm^2$



(b) $V=0.02m^3/sm^2$



(c) $V=0.03m^3/sm^2$



(d) $V=0.04m^3/sm^2$

Fig. 4-2 Air temperature rise with solar irradiance for SW.100-2 panel with different suction velocity

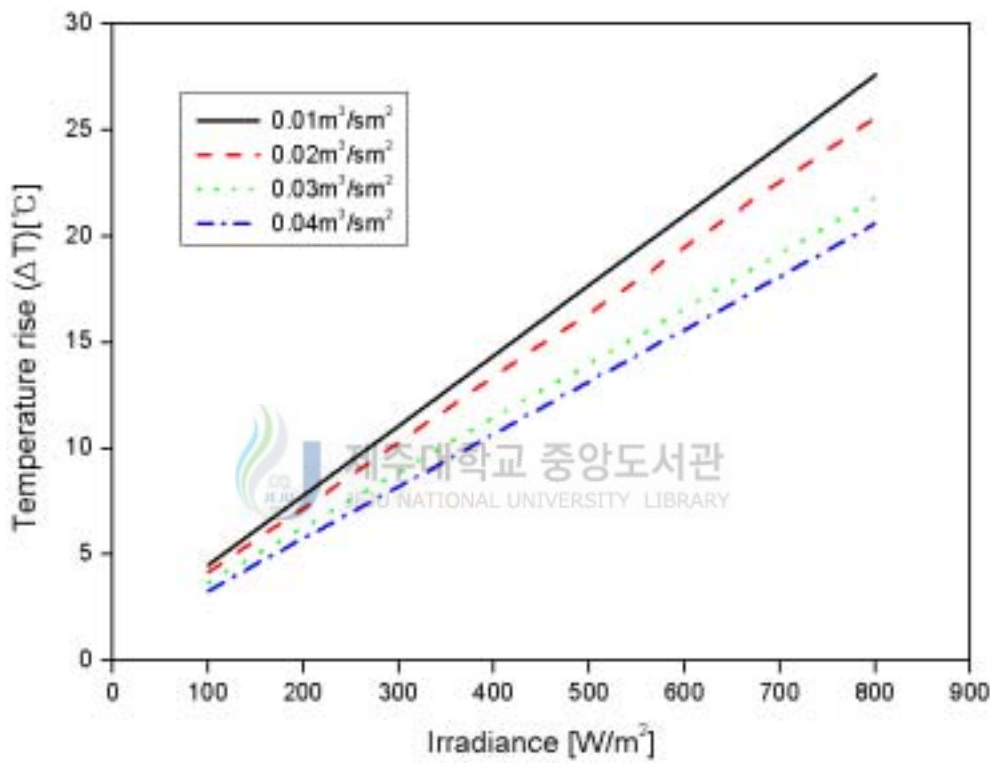


Fig. 4-3 Air temperature rise with solar irradiance at different velocity[SW.100-2]

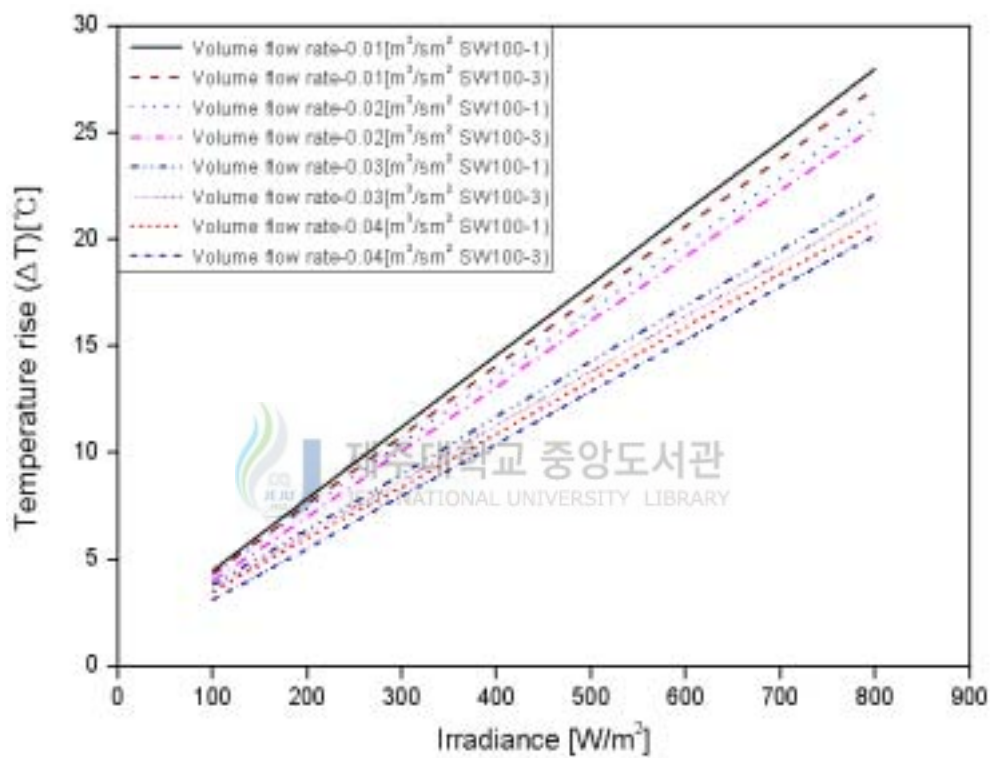
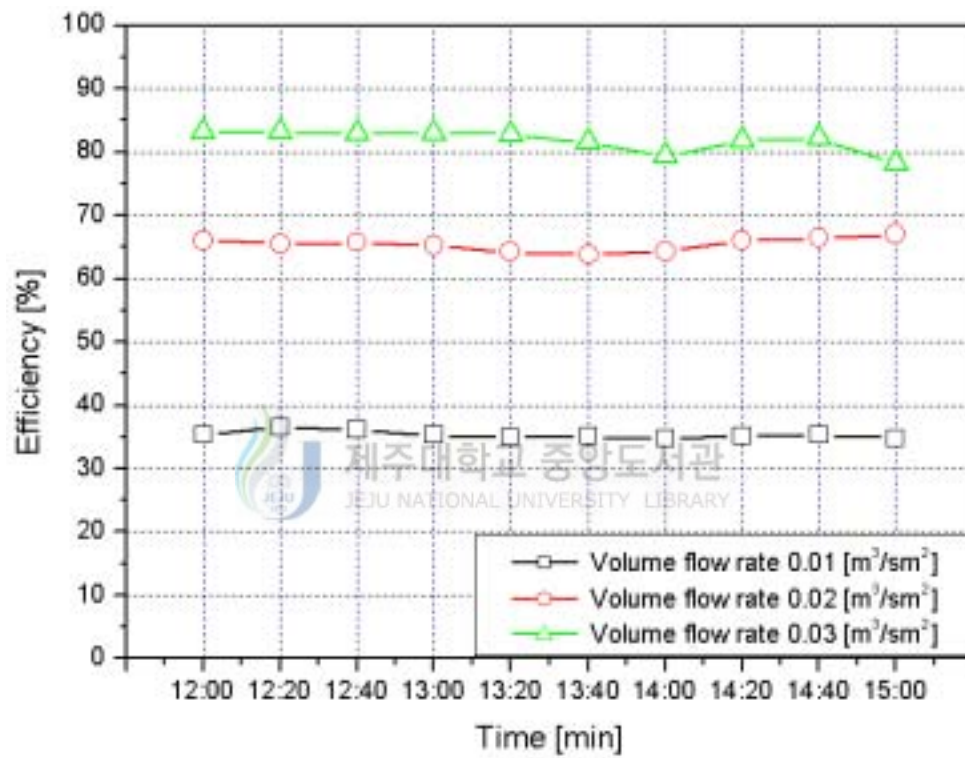


Fig. 4-4 Comparison temperature rise between SW.100-1 and SW.100-3

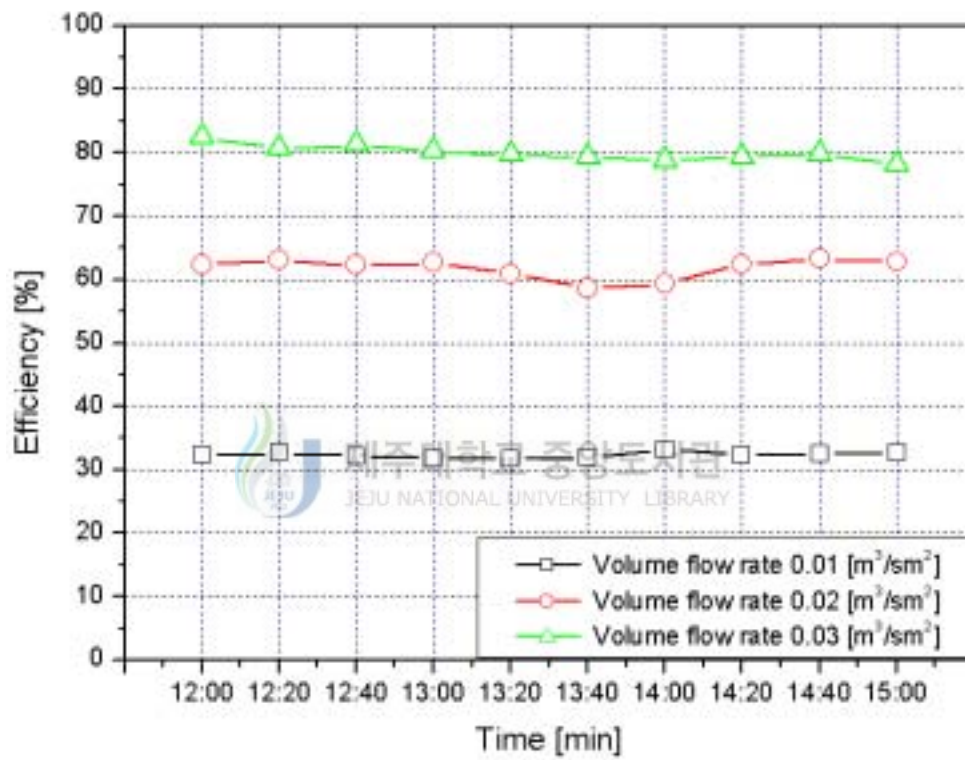
2) 집열판 효율

Fig. 4-5에는 유량 0.01, 0.02, 0.03 m^3/sm^2 에 대하여 검은색 집열판, 갈색 집열판 및 파란색 집열판의 유량별 x-축 독립변수 시간 변화에 대한 y-축 집열판 효율을 나타내었다. 실험 결과를 보면 집열판은 시간 변화 즉, 외기 변화에 따른 조건에 관계없이 거의 동일한 효율을 나타내고 있는데, 이것은 앞에서 실험한 결과 일사량 대비 공기 상승도가 비례관계에 있으며 효율을 구하는 식 (3-3)에서 동일 유량 조건인데다가 집열판의 면적은 일정하고, 공기의 정압비열은 공기의 온도에 따라 조금씩 다르지만 상온에서는 거의 동일한 값을 가지므로 일사량과 온도상승도를 제외한 나머지는 일정한 값이라고 가정할 수 있기 때문이다. 그림에 나타난 바와 같이 동일 집열판에서의 효율은 단위면적당 외기 유입 유량이 증가할수록 그 값에 비례하여 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 집열판에서의 작동 유량이 동일할 경우에는 흡수율이 가장 좋은 검은색 집열판의 효율이 가장 높게 나타나고 있으며 갈색 집열판, 파란색 집열판 순서대로 효율이 낮아지고 있다. 실험결과 유입 유량이 $0.01m^3/sm^2$ 로 동일한 조건에서 검은색 집열판의 효율은 평균 약 35%를 보인 반면 갈색 집열판의 효율은 33%, 파란색 집열판은 30%의 효율을 보여주고 있으며, 유입 유량이 $0.03m^3/sm^2$ 에서는 검은색 집열판의 효율은 약 82%, 갈색 집열판은 80%, 파란색 집열판은 77%의 효율을 보여주고 있다.

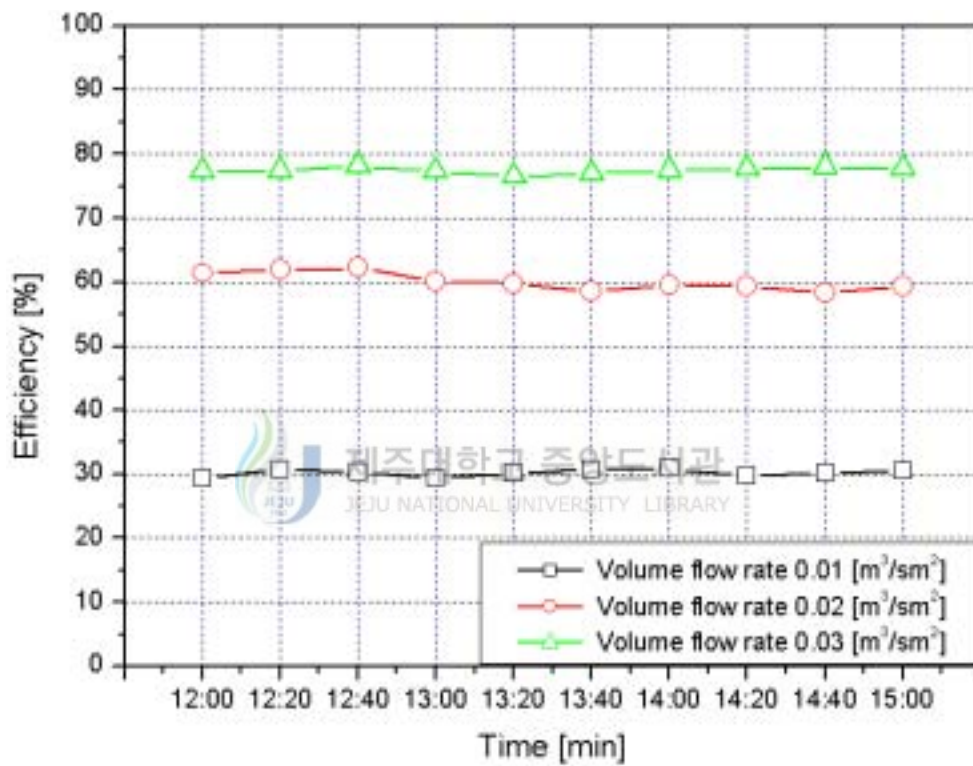
위 실험결과를 통해서 유입 유량이 증가할수록 집열판의 효율은 증가하지만 온도상승도는 떨어지는 반면, 유량이 작아지면 집열판의 효율은 감소하지만 온도상승도는 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉 집열판에서의 온도상승도와 효율은 반비례관계에 있다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 집열판을 건물에 적용할 때에는 집열판의 효율과 온도상승도와의 관계를 적절하게 유지하여 집열판을 선정해야 할 필요가 있다.



(a) SW.100-1 (black panel)



(b) SW.100-2 (brown panel)



(c) SW.100-3(blue panel)

Fig. 4-5 Efficiency variation with solar irradiance of UTC panels

4-2 시스템 실험건물 열성능 평가 실험

1) 시스템 실험건물의 온도상승도 및 효율

두 개의 실험용 건물에 하나는 태양열 신선외기 난방시스템을 설치하고, 다른 하나는 설치하지 않은 상태에서 일사량이 좋은 조건에서 하루를 기준으로 시간에 따른 온도 및 일사량데이터를 획득하여 분석해 보았다. Fig. 4-6은 태양열 신선외기 난방시스템의 실험건물에서의 일사량 변화와 온도분포를 보여주고 있다. 태양열 신선외기 난방시스템이 설치된 Fig. 4-6의 (b)의 경우 일사량에 비례하여 공기층온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 태양복사에너지가 흡수율이 뛰어난 집열판에 도달하면 집열판의 온도가 상승하여 공기층에 있는 공기와 열교환을 하기 때문이다. 그림에서 보면 일사량이 약 800W/m^2 로 가장 좋은 낮 시간에 태양열 신선외기 난방시스템이 설치된 건물에서의 공기층온도는 45°C 이상으로 상승하는 것을 나타내고 있다. 외기 온도가 10°C 이하인 것을 감안한다면 약 35°C 이상의 온도차를 보이고 있다. 반면에 Fig. 4-6의 (a)에서 보여주는 태양열 신선외기 난방시스템이 설치되지 않은 건물에서는 공기층온도가 일사량에 크게 영향을 받지 않은 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 4-6의 (b)에서는 공기층온도가 45°C 이상임에도 불구하고 실내온도에는 영향을 못 미치고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 시스템 내의 공기층에 있는 공기를 실내로 보내줄 수 있는 장치가 되어 있지 않기 때문이다. 따라서 태양열 신선외기 난방시스템이 설치된 건물에 공기의 유동을 정할 수 있는 팬을 설치하여 공기층의 따뜻한 공기를 실내로 강제 유입시키는 실험을 하였다. 실내 유입 유량은 터빈형 유량계를 이용해서 측정된 결과 약 $0.012\text{m}^3/\text{sm}^2$ 로 낮은 유량이 실내로 유입되었다.

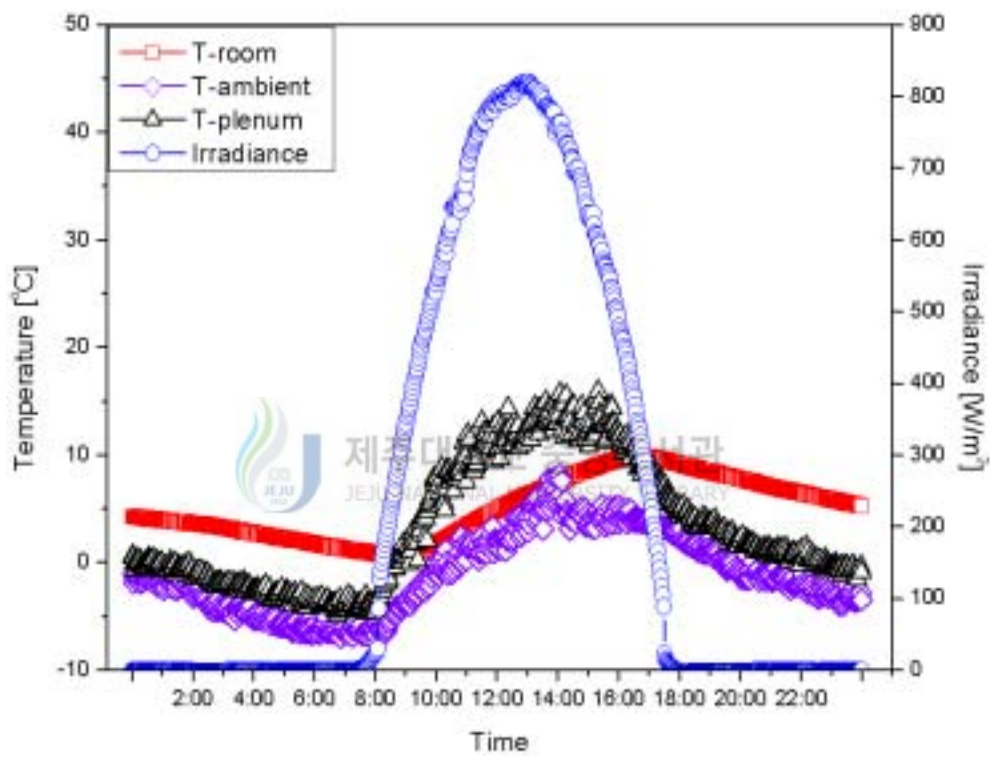
Fig. 4-6의 (c)는 태양열 신선외기 난방시스템이 설치된 건물에서 공기층 상부중앙에 팬을 설치하여 실내로 공기를 강제 유입시켰을 때의 결과 값을 보여주고 있다. 그림에서 보면 공기층온도에 따라 실내온도가 변해가는 것을 볼 수 있으며, 그 값은 일사량에 비례한다는 것을 알 수 있다. 일사량이 750W/m^2 로 가장 좋은 낮 시간 때의 공기층온도는 외기 온도 15°C 일 때 47°C 로 약 32°C 정

도의 온도차를 보이고 있으며, 이 값은 팬이 미 작동되는 Fig. 4-6의 (b) 그림에서의 35℃이상의 온도차를 보인 것보다 약 3~5℃가 낮은 값으로, 그 이유는 팬 작동으로 인하여 온도차가 감소했기 때문이다. 그러나 실내온도는 공기층온도에 비례하여 최대 35℃까지 올라가는 것을 볼 수 있으며, 이것은 Fig. 4-6의 (b)에서 공기층온도가 실내에 영향을 거의 못 미치는 것과 비교해보았을 때 팬의 작동 여부가 실내온도를 증가시키는데 얼마나 중요한 역할을 하는가를 잘 보여주는 것이라 할 수 있다.

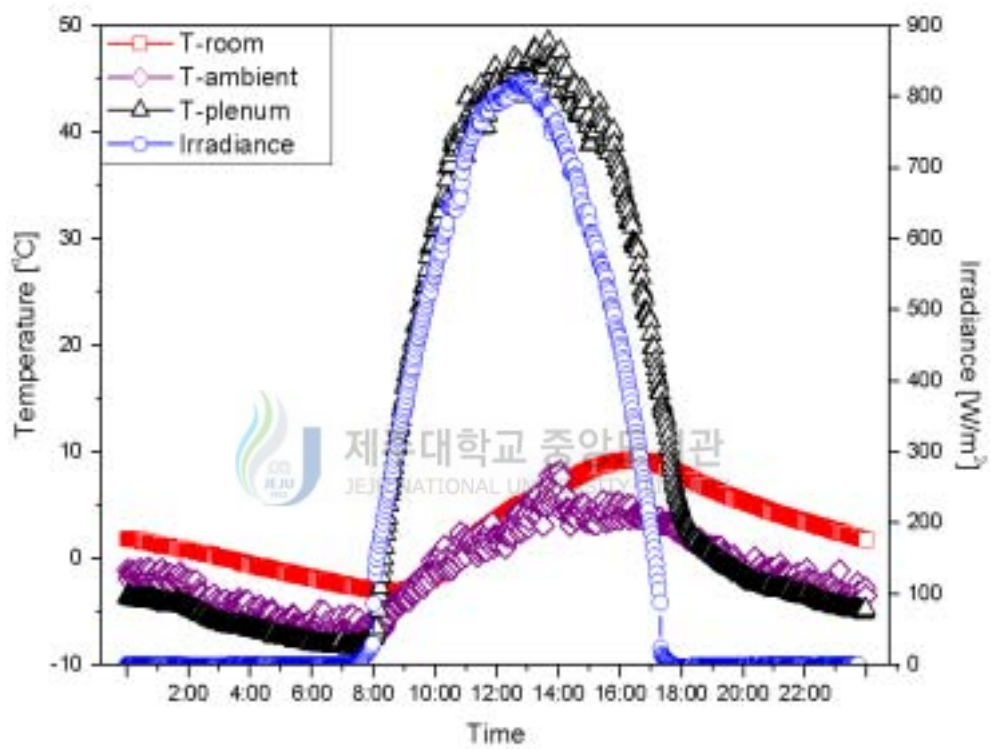
Fig. 4-7은 태양열 신선외기 난방시스템이 미 설치된 건물 Fig. 4-6의 (a)와 태양열 신선외기 난방시스템이 설치되어 작동되는 건물 Fig. 4-6의 (c)에서의 일사량 대비 온도 증가 그래프를 1분 간격으로 측정된 값으로 보여주고 있으며, 온도상승도는 x축의 일사량에 대한 일차원 방정식으로 나타내 주었다.

시스템 실험 건물에서 태양열 신선외기 난방시스템의 효율은 실내 유입 유량과 일사량에 따른 시스템에서의 온도상승도를 구하여 식 (3-3)에 대입하여 계산되어지고 산출 결과 약 60%의 효율을 얻을 수 있었다.

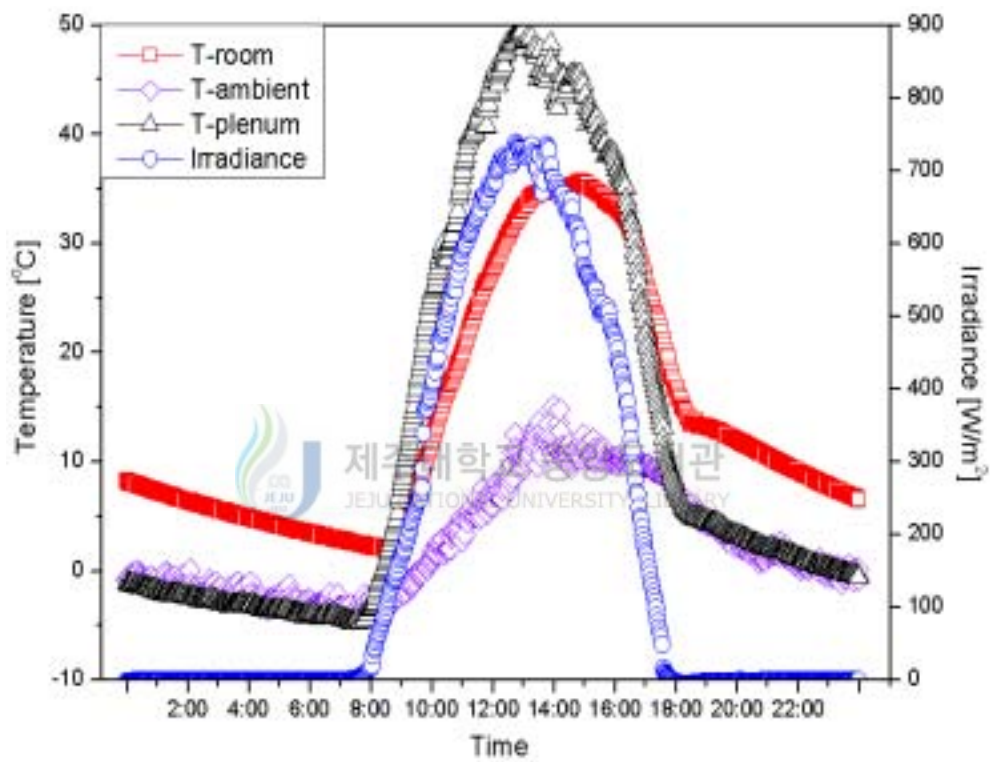




(a) Without Solar Air Heating System



(b) With Solar Air Heating System and without fan



(c) With Solar Air Heating System and with fan

Fig. 4-6 Variation of air temperature and solar irradiance

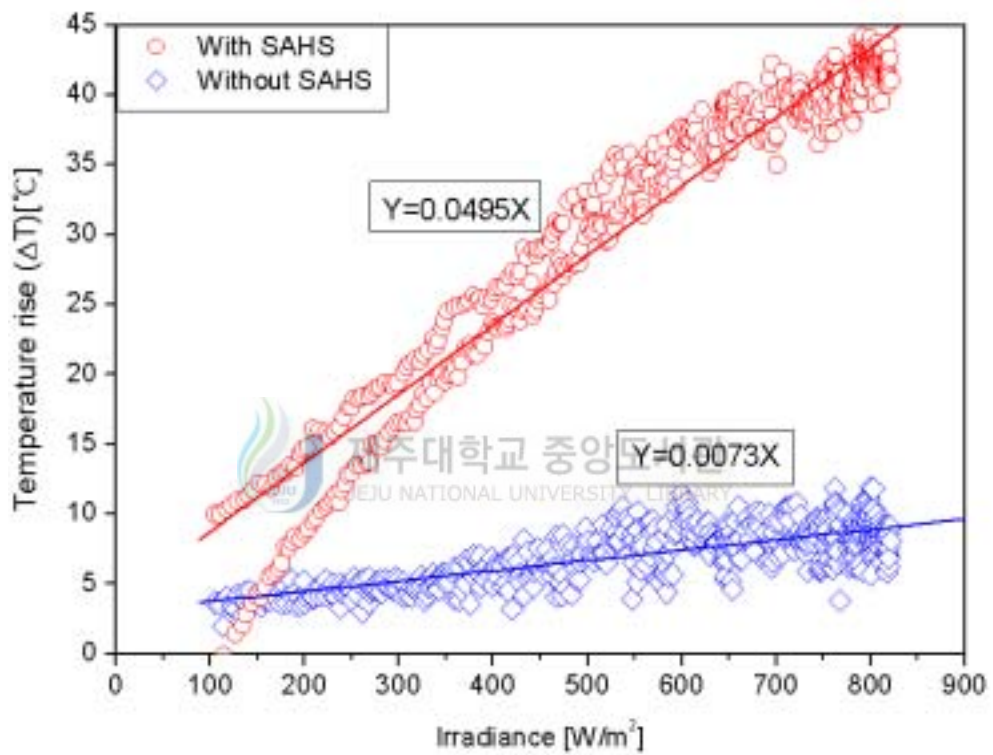
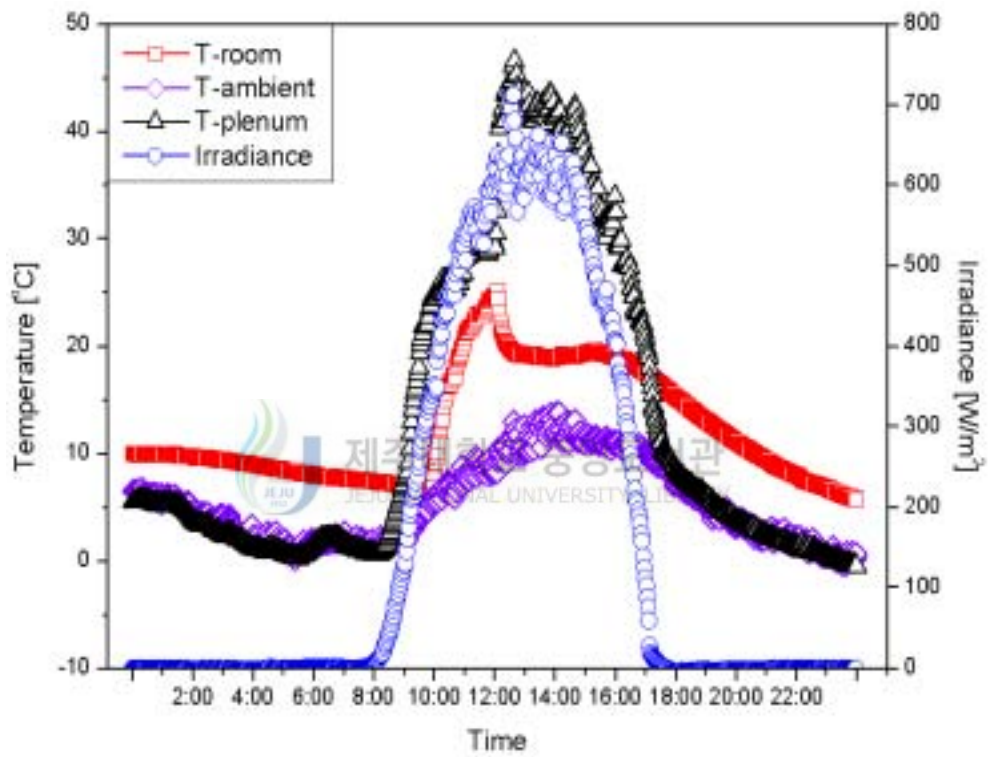


Fig. 4-7 The impact of SAHS on air temperature rise for given solar irradiance

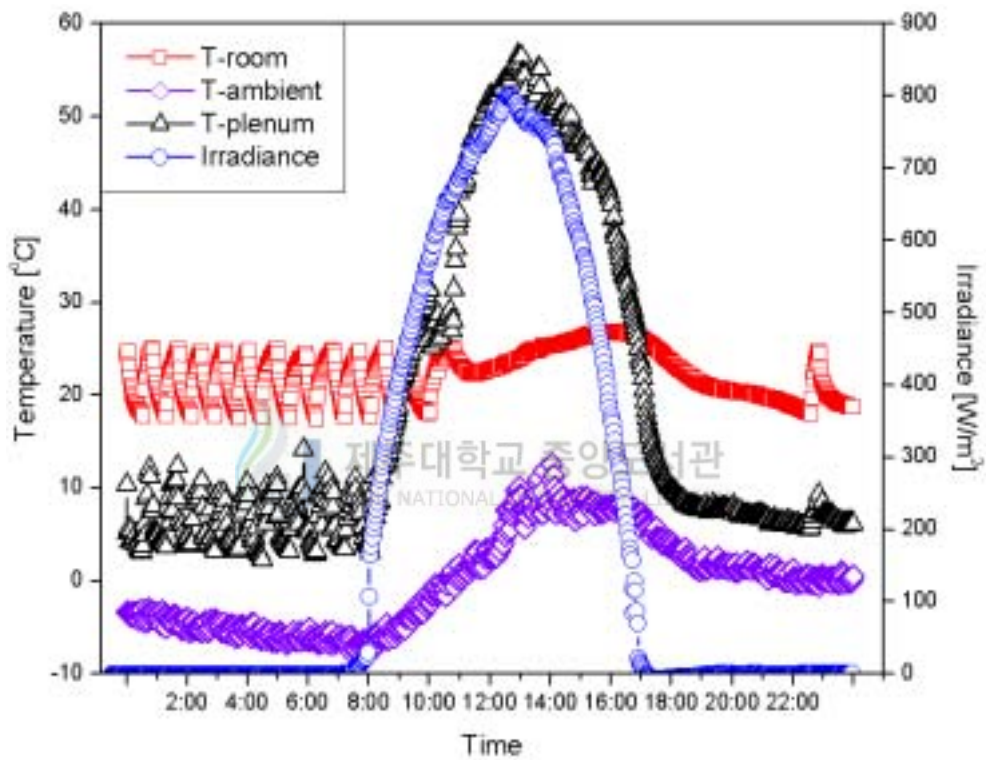
2) 시스템 실험건물 제어

Fig. 4-8은 실내온도를 18℃~25℃로 유지하도록 제어시스템을 가동하였을 때의 결과 값을 보여주고 있다. Fig. 4-8의 (a)는 태양열 신선외기 난방시스템이 건물내에서 작동되는 유일한 난방장치일 때의 결과값으로, 일사량이 증가하면서 실내온도가 비례적으로 증가하다 25℃를 기점으로 태양열 신선외기 난방시스템이 작동을 멈추고, 그로 인해 실내온도가 서서히 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 실내온도가 18℃이하로 떨어지게 되면 팬은 다시 가동되어 실내온도를 상승시키게 되는데, 실험결과를 보면 실내온도가 25℃를 넘어선 이후부터 오후 5시까지 실내온도가 18℃보다 높은 상태로 유지되고 있었기 때문에 더 이상의 팬의 작동은 없는 것으로 나타나고 있다. Fig. 4-8의 (b)는 건물 내에 난방장치가 태양열 신선외기 난방시스템과 전기히터가 있을 때의 적정 실내온도를 유지하는 결과를 보여주고 있다. 태양이 없는 시간에는 전기히터를 통해 실내난방을 하고, 태양이 비취는 주간에는 태양열 신선외기 난방시스템을 이용하여 실내난방을 하였다. Fig. 4-8의 (b)에서 10시를 전후로 일사량은 일정하게 변하는 반면, 공기층온도가 급격히 감소하다가 상승하는 것을 볼 수 있는데 이는 그 시간에 태양열 신선외기 난방시스템이 가동되어 실내온도를 높이다가 실내온도가 25℃를 넘어설 때에 태양열 신선외기 난방시스템 가동이 중단되면서 다시 공기층의 온도가 올라가는 것을 보여주는 것이다. 그 이후로 오후 10시까지의 더 이상의 난방장치 작동은 없는 것으로 나타났다.

본 실험을 통해서 SC-2345 제어기와 LabVIEW에 의한 태양열 신선외기 난방시스템의 팬 및 보조히터의 작동제어를 통하여 건물 실 쾌적 조건 유지를 위한 제어방법은 실증실험을 통해서 그 기능을 확인할 수 있다.



a) With Solar Air Heating System



(b) With Solar Air Heating System and auxiliary heater

Fig. 4-8 Indoor temperature control with Solar Air Heating System and auxiliary heater system

V. 결 론

본 연구에서는 건물에서의 난방부하를 줄임과 동시에 신선한 외부 공기를 실내로 유입시키는 난방에너지 저감 기술에 하나으로써, 건물의 남측 벽에 유리커버가 아닌 기공형 철판식 집열판을 설치하여 태양복사에너지를 흡수하고, 이 흡수된 열을 이용하여 실내난방에 이용하는 친환경 에너지 절약 기술인 신선외기 난방시스템(Solar Air Heating System)에 대한 전반적인 열성능 평가 분석을 수행하였다.

태양열 신선외기 난방시스템 열성능 평가를 위해 수행된 연구 내용으로는 먼저 태양열 신선외기 난방시스템 적용 가능성 평가를 위하여 집열판에서의 일사량 대비 외기온도 및 공기층온도에 대한 일일실험 데이터를 분석하였다. 그리고 집열판의 열성능을 분석할 수 있는 단위모듈 실험장치를 제작하여 이 시스템을 활용하여 검은색 집열판(SW.100-1), 갈색 집열판(SW.100-2), 파란색 집열판(SW.100-3)에 작동유량 0.01, 0.02, 0.03 및 0.04 m^3/sm^2 에서의 일사량 대비 온도상승도 및 집열판 효율을 평가하였고, 태양열 신선외기 난방시스템을 건물에 적용하기 위한 시스템 실험건물을 제작한 후, 실험을 통해 갈색 집열판을 설치한 시스템 실험건물에서의 일사량 대비 온도상승도 및 효율을 평가하였다. 또한 시스템 실험건물에서의 실내온도 제어시스템을 구현하여 태양열 신선외기 난방시스템과 보조난방기 작동 조건에 따른 건물 실내온도 특성을 도출하였다.

이러한 내용의 연구를 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저, 태양열 신선외기 난방시스템 적용 가능성 평가를 위한 일일실험 데이터를 분석한 결과 일사량이 증가할수록 외기 온도 대비 공기층온도가 일사량에 비례하여 높은 온도차를 보이는 것을 정량적으로 확인할 수 있었고, 단위모듈 실험장치를 통하여 일사량 대비 온도상승도 및 집열판 효율을 평가한 결과 작동유량이 증가할수록 일사량 대비 온도상승도는 감소하지만 집열판의 효율은 작동유량에 비례하여 증가한다는 것을 알 수 있었다. 실제로 일사량 $700\text{W}/\text{m}^2$

일 때의 갈색 집열판의 경우 유량이 $0.01\text{m}^3/\text{sm}^2$ 에서 $0.03\text{m}^3/\text{sm}^2$ 로 증가하면 온도상승도는 23°C 에서 18°C 로 감소하는 반면, 집열판 효율은 33%에서 80%로 증가하였다. 또한 시스템 실험건물에서의 일사량 대비 온도상승도 및 효율을 평가한 결과 일사량이 $750\text{W}/\text{m}^2$ 로 가장 좋은 낮 시간 때의 공기층온도는 외기 온도 15°C 일 때 47°C 로 약 32°C 정도의 온도차를 보였으며, 이때의 실내온도는 35°C 까지 상승함을 확인하였고, 효율은 약 60%로 나타났다. 마지막으로 시스템 실험건물에 적용된 실내온도 제어시스템에서의 태양열 신선외기 난방시스템의 팬은 공기층온도 25°C 을 기준으로 작동하고, 보조난방장치로 전기히터를 사용하여 실내온도 유지를 위한 제어시스템을 가동한 결과 실내온도는 항상 $18^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$ 를 유지하였다.



참 고 문 헌

- [1] 박준연, 2002, "무창 기공 집열기 단위 모듈 및 태양열 공기 가열 시스템의 열성능 평가 방안과 모델 개발", 박사학위논문, 영남대학교 대학원.
- [2] 강동연, 2000, "태양열 공기난방 건축외장판넬 시스템의 열성능 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 제주대학교 대학원.
- [3] 이의준, 2001, "공간 에너지 절약형 태양열 공기 집열 UTC 팬-덕트 공조 시스템 개발에 관한 연차중간보고서", 산업자원부.
- [4] 최성주, 1999, "Graphical Programming LabVIEW 입문", 동일출판사, pp. 257-265.
- [5] 이택식, 이재현, 이준식, 1993, "열전달", 희중당, p. 740.
- [6] 한국공업규격(KS A 0612), 1976, "조임기구에 의한 유량 측정 방법".
- [7] Kutscher, C.F., 1992, "An Investigation of Heat Transfer for Air Flow Through Low Porosity Perforated Plates", Ph.D. Thesis, Univ. Colorado.
- [8] Keith M.G., 1995, "A Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer Issues in the Practical Utilization of Unglazed Transpired Solar Air Heaters", Ph.D. Thesis, Univ. Colorado. pp. 1-11.
- [9] Kutscher, C.F., 1994, "Heat Exchange Effectiveness and Pressure Drop for Air Flow Through Perforated With and Without Crosswind," Transactions of the ASME, J. Heat Transfer, vol. 116, pp. 391-399.
- [10] Kutscher, C.F., Christensen, C.B. and Barker, G.M., 1993, "Unglazed Transpired Solar Collectors : Heat Loss Theory," Transactions of the ASME, J. Solar Energy, vol. 115, pp. 182-188.
- [11] Philip M.G., Richard J.G. and John I.H., 1998, "Fundamentals of Fluid Mechanics", Addison-Wesley Publishing Company, p. 500.

- [12] David N.S., 1995, "Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector Systems", University of Wisconsin-Madison.
- [13] Doug M.C., 1994, "Performance of the perforated-plate/canopy solarwall at GM Canada", Oshawa.
- [14] Alfred P.B., 1999, "Low Cost, High Performance Solar Air-Heating Systems Using Perforated Absorbers", International Energy Agency.
- [15] Frank P.I. and David P.D., 1996, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," Wiley Book Company, pp. 443-444.
- [16] John A.D. and William A.B., 1991, "Solar Engineering of Hermal Processes," John Wiley & Sons, Inc., pp. 78-119.



감사의 글

지난 2년이라는 시간은 저에게 배움에 있어서 너무나도 짧고 아쉬운 시간이었지만, 제 주위에 계신 분들과의 만남에 있어서는 너무나도 값지고 소중한 시간이었습니다. 이제는 지난 시절 아름다운 추억들을 마음속에 간직한 채 새로운 출발을 위한 첫걸음을 내디뎌야 할 때인가 봅니다. 많은 분들을 통해 얻은 삶에 지혜와 경험은 제 앞길에 새로운 지침이 될 것입니다.

본 논문이 완성되기까지 항상 저를 응원해주시고 사랑해 주신 수많은 분들께 감사의 글을 올립니다. 언제나 저의 곁에서 수많은 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 이의준 박사님, 글로 표현하기에는 턱없이 부족하지만, 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 부족한 저에게 항상 따뜻한 격려의 말 한마디와 질책을 아끼시지 않으셨던 권기린 교수님, 현명택 교수님께 진심으로 감사의 글을 올립니다. 바쁘신 와중에도 제 논문에 많은 관심을 가져주시고, 심사까지 맡아주신 허종철 교수님과 박윤철 교수님께 마음깊이 감사에 뜻을 전합니다. 학연생이란 이유로 학교에 자주 갈 수는 없었지만, 학교에 있을 때마다 저에게 따뜻한 위로와 격려의 말씀을 해주셨던 김귀식 교수님, 조경호 교수님, 임종환 교수님, 정동원 교수님, 최경현 교수님, 강철웅 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 대학원 생활 동안 제가 속한 열전달 & 열시스템설계 실험실에 많은 일들을 함께 해오신 김성만 선생님, 이동원 선배님, 김석우 선배님 외 실험실 선후배님들과 대학원 선후배님들께 고마움에 뜻을 전합니다.

한국에너지기술연구원에서의 생활은 저에게 또 다른 새로운 삶이었습니다. 이곳에서 생활하면서 학문과 인생에 있어서 여러 가지로 도움을 주셨던 강용혁 박사님, 백남춘 박사님, 김홍제 박사님, 곽희열 박사님, 이동원 박사님, 조덕기 박사님, 김기세 박사님, 한발대 윤종호 교수님을 비롯한 여러 선생님들께 감사드리며 하시는 일마다 무궁한 발전을 기원합니다. 논문을 쓰면서 학문적으로 어려울 때마다 많은 도움과 지식을 주셨던 박준언 박사님께도 이 자리를 빌어 감사드립니다.

먼 타향에서 함께 고향에 향수를 그리워하며 외로움을 달래주던 기계연구원에 김양훈 선배님, 강병수 선배님, 예기원에 이동현 선배님과 같은 팀에서 함께 생활해온 강명철 선배님, 이동규 선배님, 현성택 선배님, 박상현 님, 김진호 님, 김종희 님, 신유수 님, 장호원 님, 윤정은 님께 고맙다는 말을 전합니다.

끝으로 저에게 편안한 안식처가 되어준 매형과 누나, 그리고 내가 없는 동안 나의 빈자리를 잘 채워준 동생들에게 고마움을 전하고, 지금의 제가 있기까지 저를 항상 바른길로 이끌어주시고 늘 지켜봐주신 아버지, 어머니에게 제 작은 결실과 함께 머리 숙여 감사의 마음을 전합니다.

2002년 12월 강 은 철

