

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 22, No. 1, 2002

## 무창 기공형 태양열 공기 난방 모듈 성능 모니터링 연구

강은철\* · 현명택\* · 이의준\*\*

\* 제주대학교  
\*\* 한국에너지기술연구원

## Performance Monitoring Study of Unglazed Transpired Solar Air Heating Module

Eun-Chul Kang\*, Myung-Taek Hyun\* and Euy-Joon Lee\*\*

\* *Cheju National University*  
\*\* *Korea Institute of Energy Research*

### Abstract

Solar Air Systems(SAS) have unique advantages for space heating and tempering ventilation air. Air, unlike water, needs no protection against freezing nor are leaks damaging to the building structure or its contents. In contrast to glazed collector, unglazed steel solar collector may have higher efficiencies over glazed flat collector due to the absence of the glass. Therefore, the monitoring of SAS is so important to evaluate actual performance of SAS for right applications. This study is to provide a testing method with a movable test cell developed in KIER to evaluate the thermal performance of SAS based on international standard method ASHRAE 93-86, "Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors". The monitoring tool used advanced technique LabVIEW 6i with portable notebook computer. Sample results have been obtained to access the performance of a reference and a target SAS module. The process and tool introduced here could be used to provide a performance verification data for future implementation study applications.

**Key Words** : *Unglazed Transpired Collector(UTC), Solar Air Systems(SAS), module, performance verification, LabVIEW*

■ 기호 설명 ■

- A : 집열판의 면적 [m<sup>2</sup>]
- m : 덕트내를 통과하는 공기유량 [kg/s]
- D : 덕트의 지름 [m]
- d : 오리피스 목의 지름 [m]
- Re<sub>D</sub> : 덕트의 지름에 관한 레이놀드 수
- Δh : 수두차 [m H<sub>2</sub>O]
- I<sub>T</sub> : 일사량 [W/m<sup>2</sup>]
- P<sub>1</sub> : 오리피스 상류부 압력 [kg/m/s]
- P<sub>2</sub> : 오리피스 하류부 압력 [kg/m/s]
- ΔP : 차압 [kg/m/s]
- ΔT : 온도차 [°C]
- T : 온도 [°C]
- V : approach velocity [m/s]
- c<sub>p</sub> : 정압비열 [kJ/kg/°C]
- g : 중력가속도 [9.81m/s<sup>2</sup>]
- α : 유량보정계수
- β : 지름비 β=d/D
- ε : 기체의 팽창보정계수
- η : 집열판의 효율 [%]
- ρ<sub>air</sub> : 공기의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]
- ρ<sub>water</sub> : 물의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]
- ambient : 외기
- plenum : 플레넘 내부

1. 서론

최근 국제유가 상승과 지구환경오염문제로 화석연료에 대한 에너지의존도가 크게 떨어지고 있으며 이러한 에너지 및 환경문제를 해결하기 위한 방안으로 환경친화형 대체에너지 응용 기술 개발이 시급한 실정이다. 대체에너지원 중에서 태양은 다른 에너지원에 비해 무한한 이용 가치를 가지고 있으며 그중 태양열을 이용한 에너지 기술 개발은 중요한 과제로 떠오르고 있다.

한국에너지기술연구원에서 수행중인 태양열 공기 난방시스템 개발 과제중 일부인 UTC (Unglazed Transpired Collector) 시스템은 태양열을 이용한 난방 개발 기술에 하나로써 겨울철 실내난방 및 신선 외기 유입을 위한 시스템이다. 이 시스템의 장점은 기존에 사용하던 물 대신에 공기를 작동유체로 사용하므로 겨울철 동파의 위험이 없다는 것이다. 게다가 건물외벽에 직접 설치할 수 있고, 유리커버대신 집열판을 사용하기 때문에 초기 설치비용이 저렴하고 설치도 용이하다는 것이다.

그렇지만 건물 외벽에 설치된 집열판은 복사 및 대류 손실을 최대한으로 줄일 수 있으면서 색상의 변화를 줄 수 있는 집열판 개발이 필요하다. 그러나 이미 건물에 설치된 UTC 시스템을 이용하여 이러한 실험을 하기에는 많은 문제가 따른다. 무엇보다도 같은 조건상태에서 똑같은 형태의 실험장치가 적어도 둘 이상 있어야 한다. 본 실험에 사용되는 실외 이동형 Twin Test Cell monitoring 기술은 UTC 집열판의 성능평가를 위한 여러 가지 parameter를 비교 실험할 수 있도록 설계한 장치이다.

본 연구에서는 SAS UTC 모듈에 대해서 실외 이동형 Twin Test Cell monitoring 기술을 이용하여 집열판의 실제 성능을 향상시킬 수 있는 집열모듈 개발 및 모델링 방안을 제시하는 것이다. 이 방안을 근거로 본 고에서는 집열판의 색상에 따른 성능변화를 분석하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 측정방법

2.1 시스템구성

2.1.1 실험장치

집열판의 색상을 비교 분석하기 위해서 똑같은 사양을 이용한 2개의 Test Cell을 제작하였다. 이 Test Cell은 이동이 용이하고 자연상태

에서 쉽게 변형이 되지 않도록 설계하였으며 태양열을 잘 받도록 정남쪽을 향하여 지표면과 수직으로 설치하였다. 이 지지대들은 같은 위치에 나란히 설치하여 똑같은 외기 조건을 만족하도록 하였다.

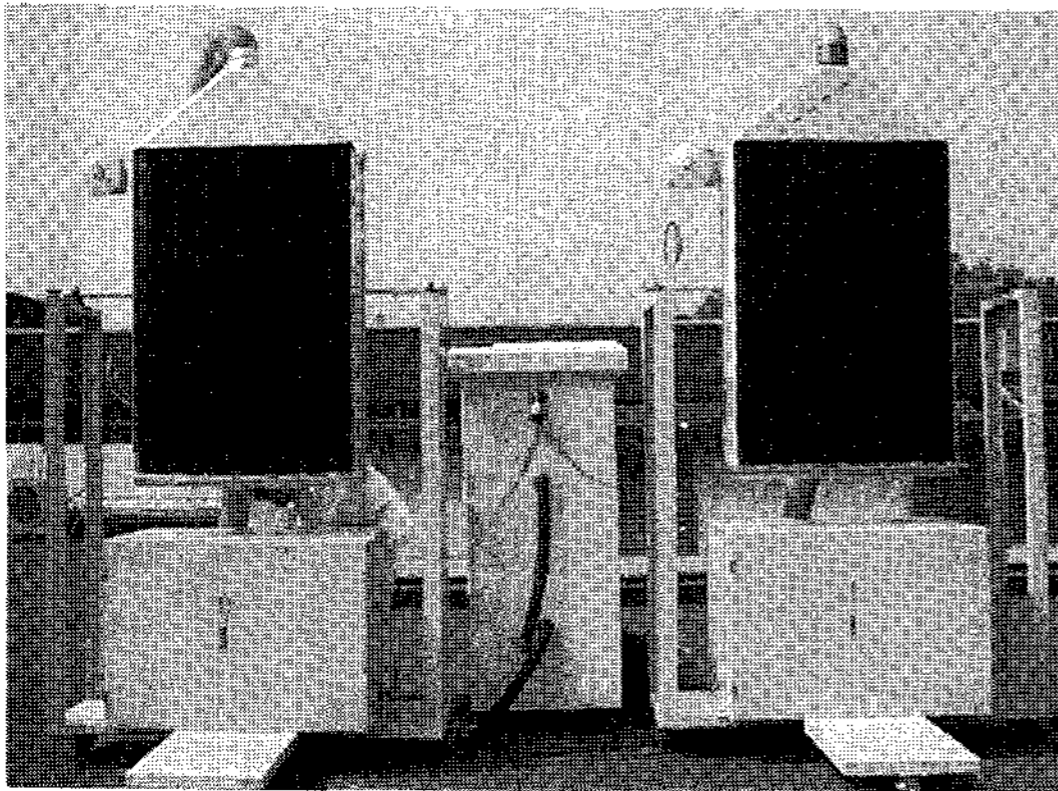


Fig. 1 UTC SAS movable twin test cell at KIER.



Fig. 2 Monitoring with notebook and LabVIEW.

(Fig. 1 참조) 여기에 유량측정을 위한 오리피스를 설치하였고 MODUS를 이용하여 오리피스 내의 압력차를 구하여 유량을 계산하였다. 그밖에 PSP(Precisions Spectral Pyranometer)

일사량계를 이용하여 일사량을 측정하였고, 온도측정은 OMEGA사의 T-type 열전대를 사용하였다.

### 2.1.2 시스템 모니터링

데이터 측정기기로는 Agilent사의 HP34970A 본체와 HP34901A 20채널 모듈, HP34902 16채널 모듈을 사용하였으며 Fig. 2와 같이 인터페이스 케이블을 이용하여 Notebook PC에 연결하였다.

데이터 획득은 National Instruments사에서 제공되는 LabVIEW 프로그램을 사용하였으며 이 프로그램에서 지원되는 GPIB통신용 Sub VI에 각 채널을 입력하여 Excel 프로그램으로 받아볼 수 있게 설정하였다.

프로그램 구성은 Fig. 3, Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

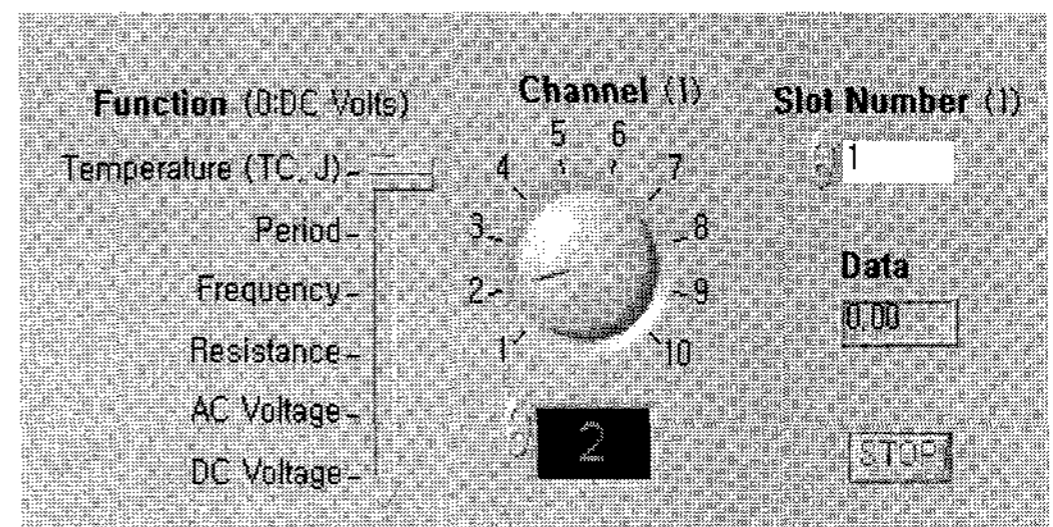


Fig. 3 LabVIEW front panel.

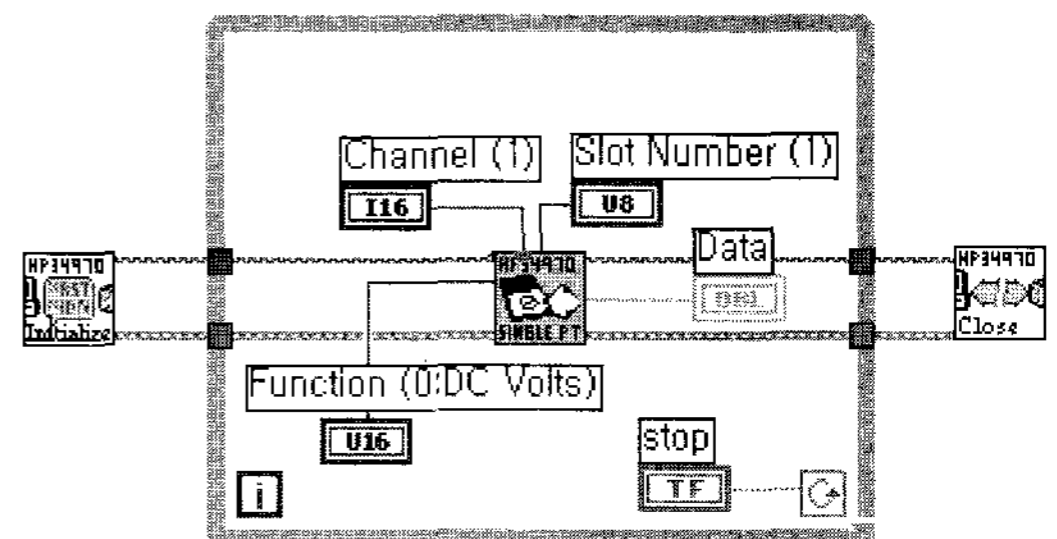


Fig. 4 LabVIEW block diagram.

### 2.2 유량측정 및 효율계산 이론식

#### 2.2.1 유량 측정

오리피스를 이용한 덕트내의 유량 측정 관계식은 KS A 0612 "조임기구에 의한 유량 측정 방법"을 사용하여 나타내었다.

$$\dot{m} = \alpha \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \rho_{air} \Delta P} \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 유량계수를 나타내며  $Re_D$ 와  $\beta^4$ 의 관계식으로 구할 수 있다.  $\varepsilon$ 은 기체팽창보정계수를 말하며  $p_2/p_1 \geq 0.75$ 의 범위에서  $p_2/p_1$ 와  $\beta^4$ 의 관계식으로 구할 수 있다.<sup>4)</sup>

$\Delta P$ 는 오리피스의 상류부와 하류부사이의 압력차를 작동유체가 물인 마노미터를 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta P = \rho_{water} g \Delta h \quad (2)$$

따라서 유량  $\dot{m}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서  $\Delta h$ 는 Northboro사의 MODUS를 이용하여 측정한 값이다.

#### 2.2.2 효율계산식

본 실험에 사용된 집열판 효율계산식은 다음과 같이 나타내었다.

$$\eta = \frac{\rho V c_p (T_{plen} - T_{amb})}{I_T} \quad (4)$$

여기서 밀도와 비열은 온도에 따라 변하지만

각각  $1.20 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ,  $1007 \text{ (J/kg/}^\circ\text{C)}$ 로 일정한 값을 주었다. approach velocity(공기접근 속도)  $V$ 는 집열판의 기공을 통해 들어가는 공기 유량  $\dot{m}$  ( $\text{kg/s}$ )을 집열판 면적  $A$ 로 나눈 값으로 다음 식에 의해 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )로 나타내어 계산한다.

$$\dot{m}(\text{kg/s}) = \dot{m}/1.2(\text{m}^3/\text{s}) \quad (5)$$

### 3. 실험 결과 및 분석

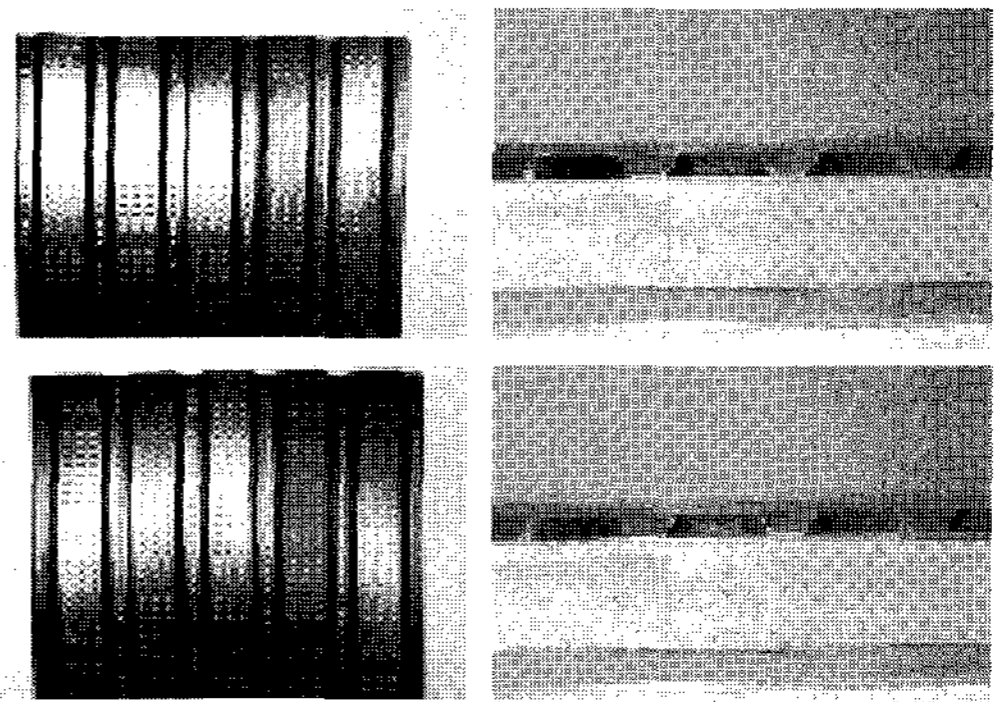


Fig. 5 Test samples with different colors.  
(Up) Brown sample.  
(Down) Black sample.

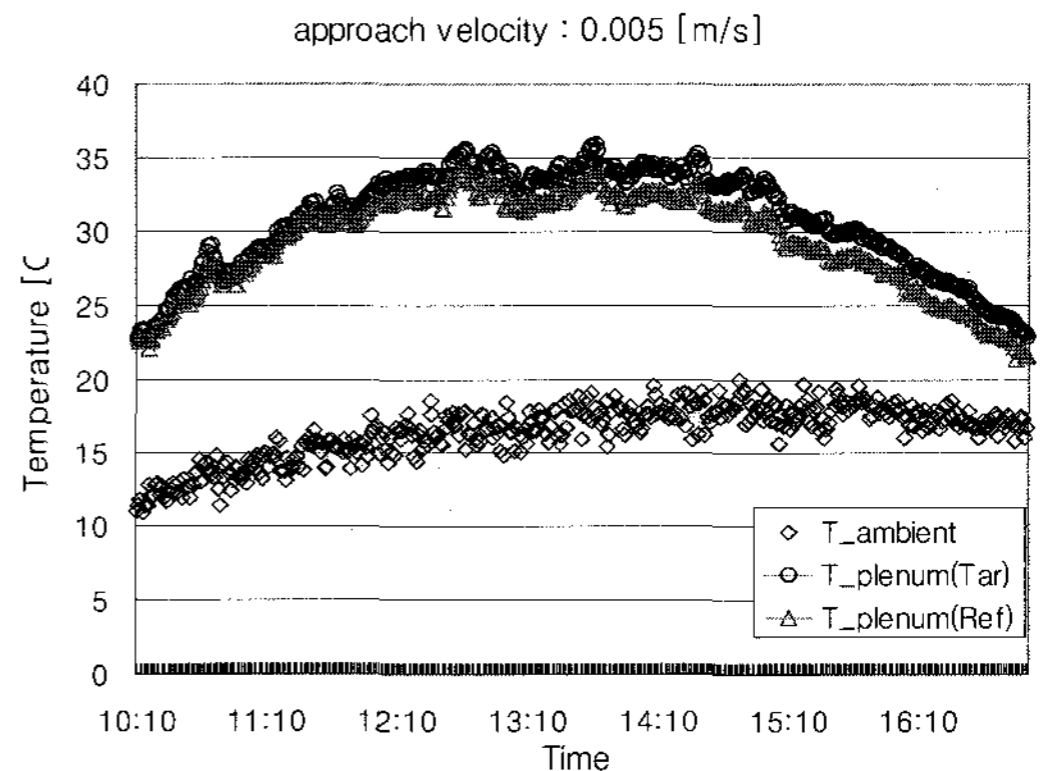


Fig. 6 Ambient and plenum temperature variations.

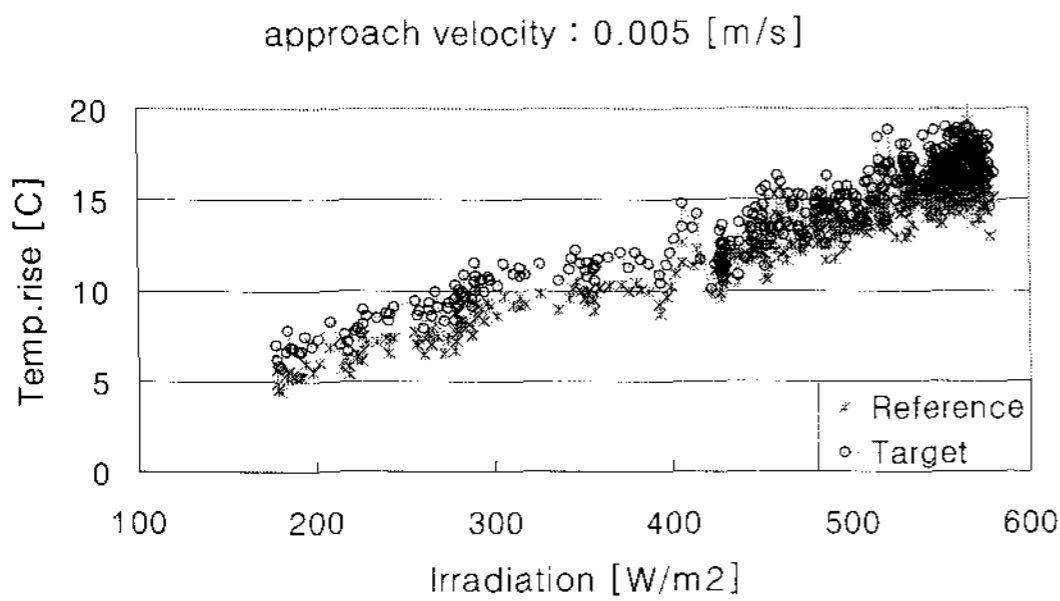


Fig. 7 Temperature rise at V=0.005 [m/s].

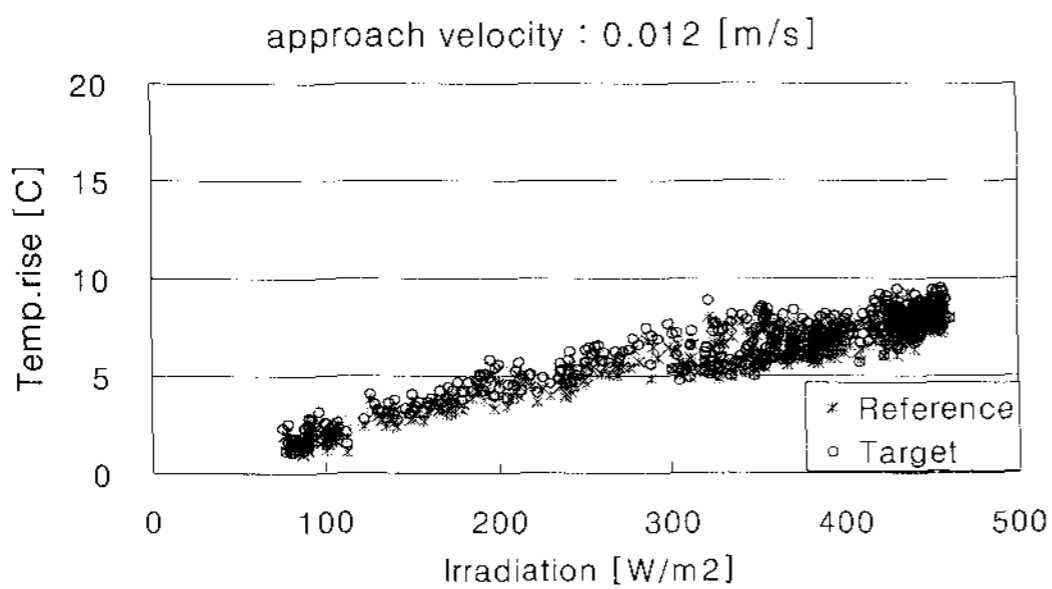


Fig. 8 Temperature rise at V=0.012 [m/s].

Fig. 5와 같이 색상이 서로 다른 두 개의 집열판(Brown 판넬을 Reference로 하고 Black 판넬을 Target으로 했음)의 성능분석을 위하여 공기접근속도(V)를 변화시키면서 실험을 한 결과 Fig.6과 같은 온도변화그래프를 얻을 수 있었다.

Fig. 7, Fig. 8은 일사량에 따른 두 집열판의 온도증가량을 나타내고 있다. Fig. 9는 Fig. 7, Fig. 8의 내용을 한눈에 볼 수 있도록 하나의 그래프 상에 나타낸 것이다.

Brown에 비해 Black 집열판의 온도상승이 높게 나타난 것은 집열판 색상에 따른 흡수율  $\alpha$  와 관계된다.(Brown : 0.85~0.90, Black : 0.90~0.95)

공기접근속도가 0.005(m/s) [ $\approx 18\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ] 일 때의 효율은 식(4)을 이용하여 구한 결과 Reference case는 평균16%이었고 Target case

는 Reference case보다 조금 높은 평균20%로 나타났다. 같은 방법으로 0.012(m/s) [ $\approx 43\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ]일 때의 효율을 구한 결과 Reference case는 평균26%이었고 Target case는 Reference case보다 조금 높은 평균28%로 나타났다.

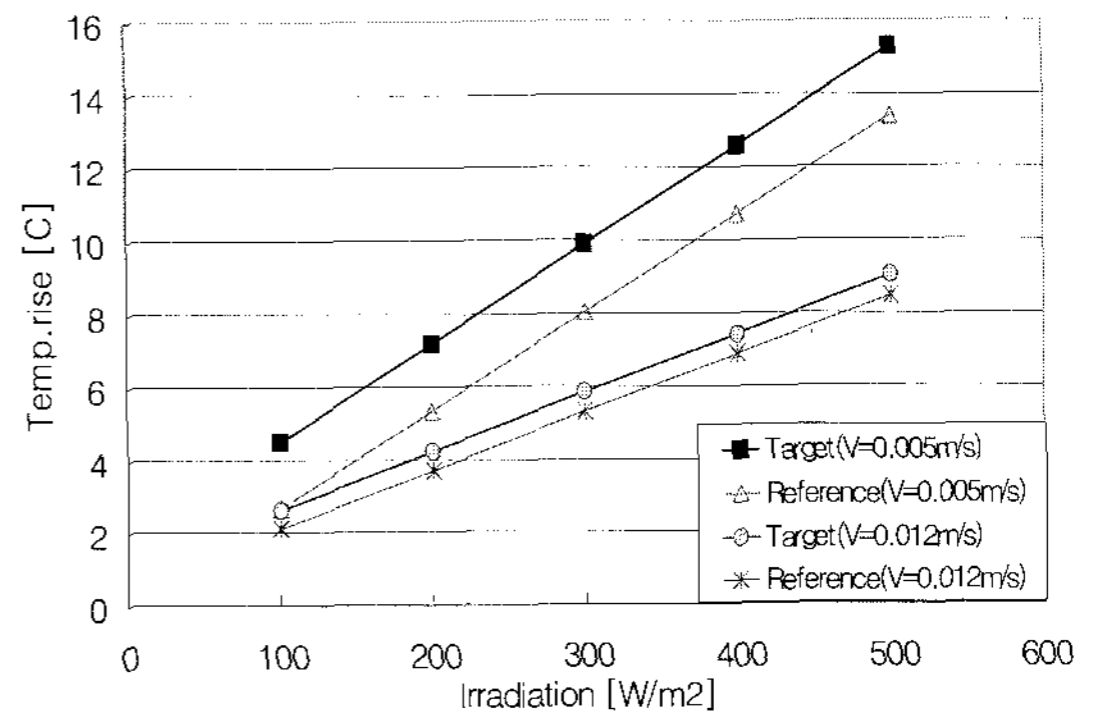


Fig. 9 Temperature rise at different approach velocities.

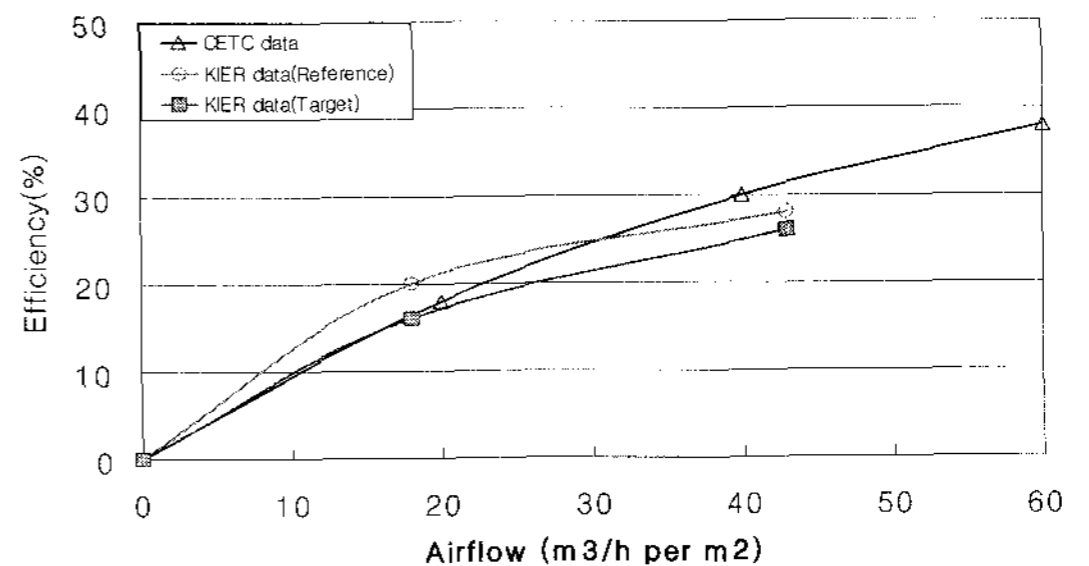


Fig. 10 Efficiency verification with solarwall low airflow rates.

본 실험은 집열판으로 흡입되는 공기가 저유량인 조건을 기준으로 수행되었으며, Fig. 10은 Canada Energy Technology Center (CETC)에서 발표한 논문<sup>3)</sup>중에 저유량 상태에서의 집열판 효율결과와 본 실험결과의 효율을 나타내는 그림이다.

본 실험에서 우리는 일사량과 온도상승률은 비례관계에 있다는 것을 알 수 있었으며 흡수율

이 큰 집열판이 온도상승도 높게 나타난다는 것을 정량적으로 알 수 있었다. 또한 공기의 흐름이 저유량일 때에는 온도 상승은 높게 나타나지만 집열판 효율이 상대적으로 낮게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 그러나 유량이 많을 때에는 효율은 높게 나타나지만 온도 상승은 떨어진다는 것을 알 수 있다. 또한 공기접근속도가 커지면 온도증가율은 감소하지만 집열판의 효율은 속도에 비례하여 커진다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론 및 향후 과제

본 실험에서는 UTC SAS 집열판 단위 모듈의 에너지 성능분석을 위한 Twin Test Cell 모니터링 기술을 제시하였다. 그리고 이 기술을 통해서 집열판의 색상에 따른 성능비교분석을 해보았다. 실험은 공기접근속도가 0.005(m/s), 0.012(m/s)인 저유량에서 이루어졌으며 이 때의 집열판의 효율은 30%이하로 나타났다. 그러나 고효율 설계 조건하에서 공기접근속도 범위는 0.02~0.05(m/s)이므로 유량을 좀더 높여 이 범위에서 실험을 계속 진행할 필요가 있다.<sup>5)</sup> 그리고 모듈별 실제 성능 data를 근거로 시스템의 통합설계와 해석이 수행되어서 연간에너지저감량이 정량적으로 평가되어야 한다. 본 실험에 이어 집열판의 형상, 기공율, 기공형상에 따

른 성능실험도 이루어져야 할 것이다. 이 기술에 근거하여 향후 여러 SAS 모델의 실외 성능 평가를 통한 시험성적서 도출이 가능해 졌다. 따라서 이러한 모든 parameter에서 얻어낸 결과를 종합하면 최적의 집열판을 제시할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. S. Robert Hastings, Solar Air Systems ; Built Examples, IEA., 1999.
2. David N. Summers, Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector Systems, University of Wisconsin-Madison, 1995.
3. Doug McClenahan, Performance of the perforated-plate/canopy solarwall at GM Canada, Oshawa, 1994.
4. Korean industrial standards(KS A 0612), Measurement of Fluid by Means of Orifice plates and Nozzles, 1976,
5. Keith michael gawlik, A Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer Issues in the Practical Utilization of Unglazed Transpired Solar Air Heaters, 1995, chapter 1.