

## 흡열다공판을 이용한 공기식 태양열 집열 유닛에 관한 연구 (실험 및 수치해석적 연구)

김명준†

(원고접수일 : 2011년 4월 20일, 원고수정일 : 2011년 7월 4일, 심사완료일 : 2011년 8월 30일)

### Study on Solar Air Collector with Perforated Endothermic Panel (Experimental and Numerical Study)

Myoung-Jun Kim†

**요약** : 최근 몇 년간 에너지 위기에 대한 우려가 급격히 증가하고 있으며, 방대한 에너지소비에 따른 환경오염도 큰 문제로 대두되고 있다. 사회적으로 에너지 위기가 고조되고 있는 가운데 새로운 에너지나 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 해결책으로 건물의 난방에 태양열을 적극적으로 이용하기 위한 태양열 흡열다공판을 외벽에 설치하여 실내의 온도를 상승시키기 위한 실험 논문이다. 그리고 태양전지판에 의해 구동되는 실내 공기 순환 팬은 실내의 대류 열전달을 상승시키기 위해 이용된다. 본 연구는 실험과 수치해석으로 구성되어 있다. 본 연구의 실험결과에서는 입구 공기 온도가 45[°C]까지 상승하는 것을 알 수 있었다. 이 온도는 겨울철 동안 실내 공기를 상승시키기에 충분하다. 그리고 수치해석을 이용하여 팬의 대류상승효과를 입증하였다.

**주제어** : 태양전지판, 팬, 흡열다공판, 신재생에너지, 수치해석

**Abstract**: In recent years, the crisis of energy is growing seriously and also the contamination of ecology has been reverberated as international problem. The social concerns on energy crisis have been growing for the last several years and also the interests in new and renewable energy have been increased. Therefore, in order to solving these problems, this study has dealt with the solar air collector with perforated endothermic panel to increase the indoor temperature. And also, the PV panel for running indoor air circulating fan has used to increase the convective heat transfer. This study is consisted with experiment and numerical parts. From this study, the experimentally result is indicated that the inlet air temperature is increased up to 45[°C]. This temperature is enough to heat the indoor air during winter season. And the numerical calculation results revealed that the mixing effect of convection is increased with increasing in fan circulating power.

**Key words**: PV Cell, Fan, Perforated Endothermic Panel, Renewable Energy, Numerical Analysis

### 1. 서 론

최근 들어 인구 증가 및 사회·경제적 여건의 변화와 도시화의 급속한 진전에 의한 무분별한 개발과 에너지 소비가 급속하게 확대되고 있다. 이러한 현상은 에너지의 과도한 소비를 유발하고 화석연료를 주된 연료로 사용하는 현재의 시스템에서는 필연적으로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 비롯한 각종 온실

가스를 배출하게 된다. 또한 실내 난방이나 냉방에 사용되는 프레온(Freon)계 가스의 누출 및 회수 시 발생하는 다양한 원인으로 인해 지구온난화와 오존층 파괴가 심각해지고 있다.

전술한 에너지의 무분별한 사용이 환경을 오염시키고, 오염된 환경으로 인한 각종 자연재해와 질병 등의 피해가 가속화됨과 동시에 경제성장과 국

† 교신저자(군산대학교 동력기계시스템공학전공, E-mail:mjkim@kunsan.ac.kr, Tel:063)469-1849)

민소득의 증가로 인한 쾌적한 삶에 대한 욕구가 증가하여 지구환경의 피해는 보다 심각한 문제를 야기할 것이다[1~2].

특히 우리나라의 인구는 4천 9백만명으로 세계 20위를 차지하고 있으며 수도권 면적은 국토의 11.7%에 불과하지만 인구의 45.3%가 집중되어 있어 좁은 국토와 높은 인구밀도에 기인한 도시화와 고층화에 따른 대규모 다중이용 시설의 지속적인 증가를 보이고 있다. 또한 우리나라는 국내 총에너지 소비량의 98%(240억 달러)를 수입에 의존하고 있어 무역적자의 요인이 되고 건축물 분야의 에너지 소비량은 전체에너지의 30%(72억 달러)에 해당되고 있는 실정이다[3].

에너지소비에서 비롯되는 지구온난화(Global Warming)가 기상이변, 해수면 상승, 생태계 파괴를 초래하고, 도시화가 심화 되면서 대형화 및 고층화 되는 건축물과 현대인의 실내 생활이 증가됨에 따른 실내의 공조 부분에 사용되는 에너지가 계속해서 증가하고 있고, 이러한 실내의 공조 부분에 사용되는 에너지를 저감시키기 위한 노력으로 제로 에너지 솔라하우스(ZeSH) 데모 주택으로써 주택에서 사용되는 에너지의 70%를 자립할 수 있도록, 태양에너지를 활용하려는 다양한 시스템의 연구가 이루어지고 있다[4~8].

본 연구는 이러한 국내외적인 에너지 문제 및 환경문제를 해결하기 위한 하나의 수단으로 신재생에너지인 태양열과 태양광을 이용하여 겨울철 실내의 난방 부하를 줄이기 위한 연구의 일환으로 외부벽체 흡열다공판을 통해 유입되는 공기의 현열가열에 의하여 공급 공기의 온도를 상승시키고, 공급 공기의 순환장치 전력은 태양전지판으로 부터 얻는다. 이러한 친환경 시스템을 실내 난방용으로의 적용에 목적을 두고 실험적 방법과 수치해석적 방법으로 연구를 수행한 것이다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

Figure 1은 본 연구에서 사용한 실험 장치의 개략도를 나타내고 있다. 실험 장치는 크게 공기가열 부분과 유동을 위한 부분으로 구성되어 있고, 공기

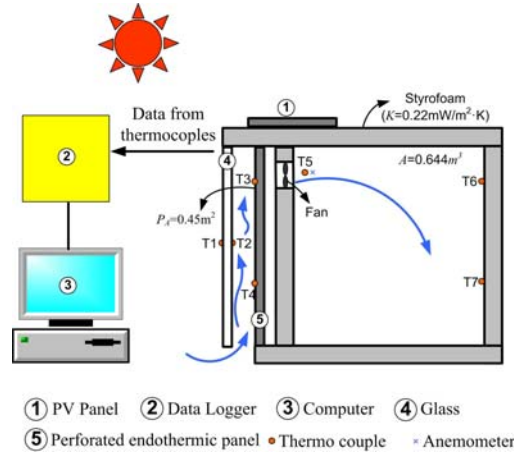


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus



Figure 2: Photo of Experimental apparatus

가열부분은 외부에 투명한 강화유리(900[mm] × 630[mm] × 5[mm]), 흡열을 위한 도포한 흡열다공판(950[mm] × 480[mm] × 150[mm])으로 구성되어 있고, 가열된 공기의 유동을 위한 부분은 소형의 DC팬(12[volt], 0.1[amp], 1.2[watt])을 가변저항기를 이용하여 유속을 조절할 수 있도록 설치하였다. 또한 이 팬의 구동은 솔라셀(PV cell, 20[watt], LG)을 이용하여 본 장치를 구동시키는데 있어 필요한 열원 및 전원은 모두 태양으로부터 얻고 있다.

일정한 체적을 가지는 가상의 공간을 위해서 고밀도 압축 스티로폼(900[mm] × 1100[mm] × 650[mm], Vol = 0.643[m<sup>3</sup>])을 이용하여 실험을 위한 챔버를 구성하였다. 실험데이터를 위한 계측부분은 일사량을 측정하기 위한 일사량측정기(아이에스테크, HD2302.0), 일사량계측프로브(LP471RAD, 스펙트럼 범위:400[nm] -1050[nm], 측정범위:0.1[mW/m<sup>2</sup>] -2000 [W/m<sup>2</sup>]) 온도계측을 위한 데이터로거(Yokogawa, MX-100)로 구성되어 있고 T-type 열전대를 이용하여 총 7개소에서 온도를 측정하였다. 또한 실내공기의 온도혼합을 위해 사용된 팬의 토출 유속을 측정하기 위해 열선풍속계(Delta, OHM)를 이용하였다.

Figure 2는 실험장치의 실제 사진으로 건물의 옥상(높이≃20[m])에 설치하였고, 정남향에 위치시켰다. 실험한 지역의 좌표는 35° 56' 28, 07" N, 126° 40' 57, 37" E로, 일조시간은 실험기간월 기준 평균 211[hr]으로, 일일기준으로 환산하면 7[hr]정도에 해당하며, 이러한 데이터를 기준으로 09[hr]에서 17[hr]까지 8[hr]동안 실험을 수행하였다.

## 2.2 실험방법

본 실험은 건물의 난방에 신재생에너지인 태양열 및 태양광의 이용 가능성을 검토해 보기 위한 실험으로 공기가열부분과 실내공기의 온도를 안정화시키기 위한 유동부분으로 나눌 수 있다. 공기가열부분은 벽체의 정면부분(정남향)에 설치한 수광을 위한 강화유리와 흡열을 위한 다공판으로 구성되어 있고, 태양열을 받아 가열된 공기는 자유롭게 이동할 수 있는 벽면 틈을 통해 상승하면서 가열되고, 다공판을 지나면서 더욱 가열되어 상부에 설치한 팬에 의해 실내로 강제 순환하도록 되어 있다.

순환되는 공기의 대류영향을 파악하기 위해, 소형 DC팬에 가변저항기를 설치하여 유입되는 풍속을 3단계인 0[m/s], 0.3[m/s], 0.7[m/s]으로 조절하여 공급하였다.

태양으로부터 얻은 열에너지량을 산출하기 위해 입구 공기의 온도를 측정하였고, 온도는 Figure 1에 나타낸 바와 같이 T-type 열전대를 설치하여 측정하였다. 그리고 태양의 일사량 역시 일사량계를 이용하여 30분 간격으로 측정하였다.

2.1절에서 전술한 바와 같이, 실험지역(군산)의 일일 평균 일조시간을 기준으로 실험은 총 4월 중순부터 10일에 걸쳐 수행 하였으며, 일일 실험 시간은 일사량 측정이 양호한 시간인 09시부터 17시까지 8시간에 걸쳐 실험을 수행하였다.

본 연구와 같은 신재생에너지에 대한 실험은 기상의 영향을 매우 크게 받기 때문에 데이터의 정리에 주의가 필요하며, 일관성을 확보하기 위해 같은 조건에서의 실험을 3회 정도 실시하여 평균값을 데이터로 이용하였다. 따라서 3장에서 다루는 그래프는 3일간 측정된 데이터의 평균으로 간주할 수 있다.

흡열다공판의 경우 열의 흡수를 위해 흡열도료를 도포하여 사용하였고, 흡열다공판의 유무에 대한 실험도 수행하였다. 또한 자유로운 공기의 유로를 확보하기 위해 실험 장치를 반개방형태(Semi-opened type)로 제작하여 흡입되는 공기는 항상 신선한 외기가 출입할 수 있도록 장치를 구성하였다.

실내에 공급되는 외기는 태양열로 가열되어 공급되기 때문에 실내 공기와의 밀도차가 발생하여 실내의 상부에 정체될 우려가 크다. 따라서 전술한 소형의 직류팬을 이용하여 공기를 강제순환 시켜, 실내 공기의 온도편차를 줄일 수 있도록 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 각부온도 및 일사량에 따른 영향

Figure 3은 실험 시간별 일사량에 따른 온도변화를 나타낸 것이다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 일사량의 증가와 함께 흡열다공판 배면의 온도가 상승함에 따라 외부 공기가 흡열다공판 배면을 통함에 따라 현열 가열에 의하여 온도가 상승된 외부 공기가 공급되는데 실내 온도는 외부 공기 온도보다 17[°C] 정도 높은 것을 알 수 있다. 또한 정오를 기점으로 일사량과 실내온도가 감소하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 이유는 태양의 고도가 정오를 기점으로 하여 고도가 최정점에 도달하고 시간이 지남에 따라 하강하기 때문이다. 즉, 정오 이후의 실내공기가열은 대부분 흡열체에서의 직접일사량이 거의 존재하지 않고, 소량의 확산일사량만이 존재한다는 것을 알 수 있다.

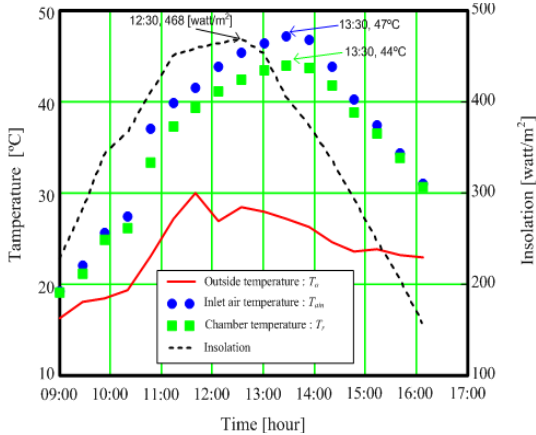


Figure 3: Temperature profiles of test section

그래프를 보면 일사량의 최고점 도달 시각과 실내온도의 최고점 도달 시각과는 대략 1[hr]의 차이가 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 벽 자체의 열용량에 의한 현상으로 설명할 수 있다. 전체적인 데이터를 살펴보면 앞서 기술한 바와 같이 벽 자체의 열용량에 의한 현상으로 일사량의 최고점 도달 시각과 실내온도의 최고점 도달 시각의 시간 차이가 존재하고, 일사량의 증가와 동시에 유입되는 공기 및 실내 공기의 온도는 증가하고 있는 것으로부터 실험 장치의 정확도는 충분하다고 말할 수 있다.

Figure 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, 실내로 공급되는 공기의 외기온도는 평균 22[°C]정도를 나타내고 있고 가열되어 실내로 유입되는 공기의 온도는 평균 38[°C] 정도로 평균 16[°C]정도 증가하고 있음을 알 수 있고, 실내공기는 충분히 가열되고 있으며, 겨울철 적정난방온도인 22[°C]를 훨씬 상회하고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 흡열 다공판의 유·무에 따른 영향

본 연구에서는 태양열을 보다 많이 흡수할 수 있도록 하기 위하여 SUS 재질의 다공판(950[mm] × 480[mm] × 150[mm], Φ = 8[mm], 1800[Ea/m<sup>2</sup>])에 검정색의 페인트를 도포한 흡열다공판을 사용하였다.

Figure 4는 흡열다공판을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 유입공기의 온도분포를 나타낸 것이다.

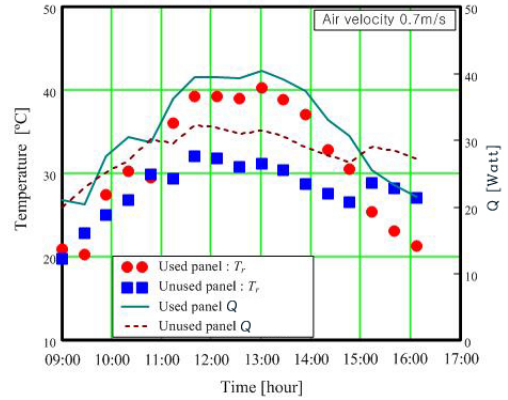


Figure 4: Effect of endothermic panel

그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 흡열다공판을 설치한 경우의 온도 증가가 설치하지 않은 경우와 비교해 최대 9[°C]정도의 온도 상승이 존재함을 알 수 있다. 즉, 흡열다공판을 설치함으로써 인해 태양으로부터의 복사에너지를 더욱 흡수하여 온도가 상승함을 알 수 있다.

이 그래프로부터 흡열다공판의 설치 유무에 따른 열량변화가 존재한다는 것을 알 수 있으며, 실내공기의 체적 및 공기의 밀도와 비열을 이용하여 아래의 수식 (1)을 이용하여 흡열다공판에 의한 실내공기의 상승열량을 시간에 대하여 계산한 것을 Figure 4의 Y2축에 나타내었다. 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 실내 공기의 온도는 흡열다공판의 유무에 따라 크게는 흡열다공판을 설치한 경우 9 [°C]정도 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 태양으로부터 입사되는 복사에너지의 흡수율이 증가하여 실내 공기의 온도가 상승에 의해 열량이 상승하는 것을 알 수 있다.

$$Q = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \tag{1}$$

### 3.3 유입 공기의 유속에 따른 영향

Figure 5는 실내로 공급되는 가열된 공기의 유속에 따른 영향을 나타낸 그래프로서 시간에 따른 온도의 변화를 나타내었다. 태양열로 가열된 공기가 실내로 유입되는 입구는 실험 장치의 상부에 설치되어 있고, 이러한 이유는 가열된 공기의 밀도변화를 유효하게 이용하기 위해서 상부에 설치하였다.

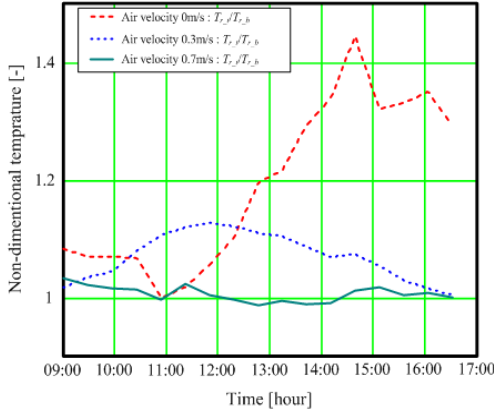


Figure 5: Effect of air velocity

하지만, 유입되는 공기의 온도가 실내에 정체하고 있는 공기의 온도보다 상대적으로 높기 때문에 결과적으로 실내공기는 실험장치의 수직방향으로 온도구배가 존재한다.

본 연구에서는 실내공기 온도의 편차를 줄이기 위해 소형 DC팬을 설치하여 유입공기를 혼합시키는 부분을 설치하였다. 즉, 순환공기의 유속에 따른 영향을 알아보기 위하여 유속을 0[m/s], 0.3[m/s], 0.7[m/s]로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 또한 기상상태(태양의 고도, 입사각, 외기온도 등)가 자주 변하기 때문에 그래프를 무차원 온도화하여 그래프로 나타내었다(수식 (2)참조).

Figure 5에 나타낸 바와 같이 유속에 따른 실내 온도 변화는 풍속이 증가할수록 1에 가까운 값을 나타내는 것으로부터 강제대류에 의한 열전달이 상승하여 실내의 상부와 하부에서의 온도차가 작아짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 실내온도를 안정시키기 위해서는 순환장치가 필요하다는 것을 알 수 있다.

$$\frac{T_{up}}{T_{down}} \tag{2}$$

전술한 2.1절에 기술한 바와 같이, 실내공기 순환을 위한 팬의 구동은 태양광으로부터 직접 얻은 직류전원을 사용하고 있다. 따라서 본 시스템을 구동하기 위한 에너지는 모두 태양으로부터 얻고 있다.

3.4 수치해석

본 연구에서는 실내공기의 온도편차를 줄이기 위해 순환팬을 사용하였다. 즉, 실내 공기의 수직방향에 대한 속도차이가 크게 될수록 대류에 의한 열전달이 강하게 일어나기 때문에 결과적으로 실내공기의 상부 및 하부의 온도편차는 줄어들게 된다.

실험의 경우 실내의 온도변화 및 외기조건 변화는 시간에 따라 변화하는 비정상상태이지만, 수치해석의 간단성을 도모하고, 실내의 강제순환에 의한 온도변화를 살펴보기 위해 본 절에서는 정상상태의 수식들을 사용하였으며 또한 에너지방정식의 계산은 수행하지 않았다. 즉, 수치해석의 목적이 전술한 실내의 순환효과를 규명하기 위한 것이기 때문에, 에너지방정식 및 자연대류를 무시한 정상상태의 조건으로 계산하여도 무방할 것으로 판단하여 수치해석을 수행하였다.

열유체 해석에서 사용되는 S/W는 여러 종류가 있지만, 본 연구에서는 계산의 간편성을 고려하여 Micro Soft사의 Excel(Ver. 2002)을 이용하여 계산하였다. 또한 수치해석에서 다루는 물리량의 변화한도는 10<sup>-4</sup>으로 하였다. 경계조건으로는 모든 벽에서의 점착조건(Nonslip)을 적용하였다.

연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

운동방정식

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{5}$$

상기의 수식 (3)~(5)은 일반적인 참고서적에 나와 있는 수식이기 때문에, 여기서는 기호의 설명을 생략한다.

Figure 6은 Excel을 이용하여 상기의 지배방정식을 계산하는 과정을 나타낸 것이고, Figure 7은 계



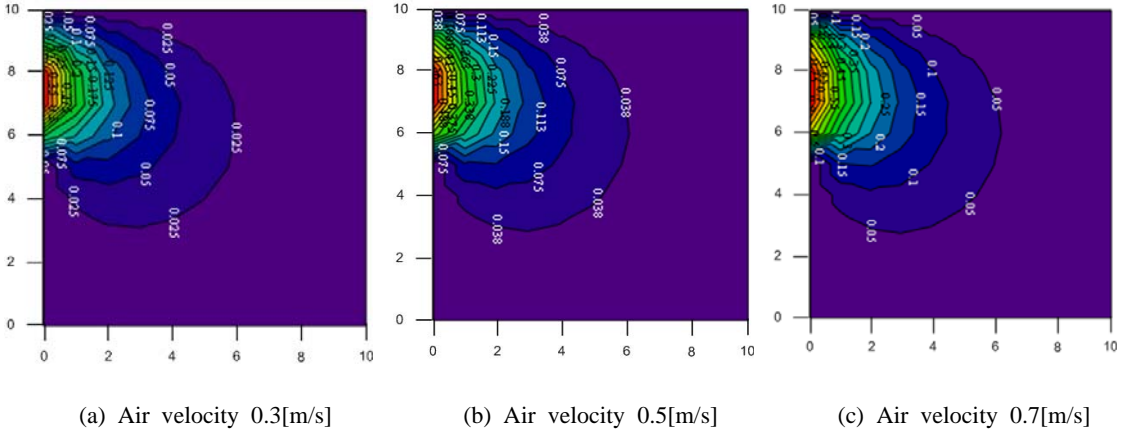


Figure 7: Numerical analysis result with air velocity 0.3[m/s], 0.5[m/s], 0.7[m/s]

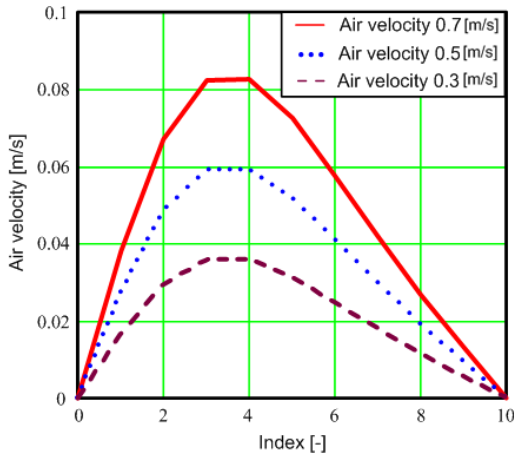


Figure 8: Difference in velocity distribution

산결과를 등고선형태인 유선으로 나타낸 것이다. Figure 7로부터 알 수 있는 바와 같이 입구 측 유속이 증가함에 따른 유속의 등속분포가 일정한 경향을 가지고 증가하고 있음을 알 수 있고 또한 계산의 오류로 인한 발산은 보이지 않는 것으로부터 계산은 원활히 수행되었다고 할 수 있다.

상기에 전술한 실내공간에 대한 수치해석의 결과를 실내공간의 중간부분을 관통하는 지점에서의 속도분포를 나타낸 것이 Figure 8이다. 이 그래프로부터 유속이 증가함에 따라 실내의 중앙부에 해당하는 위치에서의 유속차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 입구유속이 증가할수록 실내

의 상부 및 하부에서의 운동량(유속)차가 크게 발생하여, 강제대류에 의한 열교환이 활발하게 일어남을 알 수 있다. 본 수치해석의 결과로부터도 팬에 의해 입구공기가 교반되면 실내의 상부 및 하부에서의 온도차는 줄어들어 전술한 무차원 실내 온도가 1에 가까운 값으로 접근함을 수치해석을 통해 알아 볼 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 흡열다공관을 이용한 공기식 태양열 집열 유닛에 대한 기초자료를 제공하기 위한 목적으로 실험 및 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 벽 자체의 열통과율에 의해 일사량 증가시간 보다 실내온도 증가시간이 지연되는 현상이 존재함을 알았다.

(2) 실내 공기의 온도는 흡열다공관을 사용한 경우가 사용하지 않은 경우에 비하여 온도가 최대 9[℃]정도 증가한다. 즉, 태양으로부터 입사되는 복사에너지의 흡수율이 증가하여 실내 공기의 열량을 상승시키는 역할을 한다.

(3) 실내 공기 온도의 위치에 대한 편차를 줄이기 위해 태양광으로 구동되는 소형 팬을 설치한 결과, 효과적으로 실내 공기의 불균일한 온도분포를 해소시킬 수 있다는 것을 알았고, 이러한 결과는 무차원온도의 그래프로부터도 알 수 있었다.

(4) 실내 공기의 속도편차를 살펴보기 위해 간단한 수치해석을 수행한 결과 입구유속이 증가할수록 실내공간의 중앙부분에서 발생하는 속도편차가 증가하여 강제 대류에 의한 열전달이 향상됨을 알 수 있었고, 이러한 결과로부터 실내의 상부 및 하부면의 온도는 균일하게 됨을 알았다.

### 참고문헌

- [1] 김종서, 윤영채, 지구온난화 방지를 위한 실효적 방안 연구, 사회과학연구, 제20권, 제1호, pp.58-114, 2009.
- [2] 유권중, 박경은, 지구환경과 태양에너지, 대한전기학회, 제54권, 제2호, pp.11-22, 2005.
- [3] 양현섭, 주문창, 이동원, 복합식 집열기에 관한 이론해석 및 성능실험 대한건축학회, 논문집, 제5권, 제3호, pp. 151-156, 1989.
- [4] 김용기, 이태원, 윤광은, 지붕대체형 집광집열기를 이용한 태양열 난방 시스템의 동절기 성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 제27권, 제2호, pp. 61-69, 2007.
- [5] 生田紀夫, 柏瀬芳昭, 古衫淳, 小金井眞, 桶野泰廣, 鈴木松三朗, アルミ多孔板を用いた空氣成太陽熱集熱ユニットに関する研究, JSES/JWEA Join Conference, pp. 293-296, 2003.
- [6] 윤형상, 강병복, 임중열, 윤필현, 차인수, 계절 및 지역적 특성을 고려한 태양광발전 태양열 시스템의 원격제어에 관한 연구, 전력전자학회 2003년 학술대회논문집, pp. 938-941, 2003.
- [7] 이경희, 자연형 태양열 건물의 국외 이용기술 현황, 이경희 대한건축학회, pp. 65-69, 1987.
- [8] 백남춘, 윤중호, 윤응상, 유창균, 주문창, 손선우, 제로에너지 태양열 주택의 실증시험 연구, 한국태양에너지학회 2007년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 48-53, 2007.

## 저 자 소 개



### 김명준(金明俊)

1971년 3월생. 1994년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(학사), 1998년 한국해양대학교대학원 기관공학과 졸업(석사), 2002년 일본 오카야마대학 기계공학과 졸업(박사). 2002~2003년 일본 오카야마대학 기계공학과 외국인 객원 연구원. 2003년~현재 국립 군산대학교 동력기계시스템공학과 재직 중(부교수). [주 관심분야] 열 및 물질전달, 신재생에너지 등