

# 태양열을 이용한 무동력 냉난방 겸용장치의 실현 가능성 연구

양영준<sup>1)\*</sup>

## Study on Feasibility for Combined Device of Unpowered Cooling and Heating Using Solar Heat

Youngjoon Yang<sup>1)\*</sup>

Received 20 August 2015 Revised 24 September 2015 Accepted 24 September 2015

**ABSTRACT** It will be desirable things that if cooling and heating can be obtained simultaneously with one device without using power. This study was tried to investigate the feasibility for combined device of unpowered cooling and heating. The absorption device of solar heat was contrived to perform natural cooling in case of summer and natural heating in case of winter, respectively. For these purposes, experimental structure (house) and absorption device of solar heat, which was performed surface treatment, were manufactured and tested over summer and winter. As the results, in summer, inlet flow rates of air in case of installing absorption device of solar heat were increased about 12 to 20 times compared with those of no installing. In winter, the case of installing absorption device of solar heat showed maximum 6°C high temperature in day time and 1~3°C high temperature in night time compared with those of no installing. Furthermore, inside temperature of experimental structure showed maximum 14°C higher than outside temperature in day time.

**Key words** Renewable energy(신재생에너지), Solar heat(태양열), Absorption device of solar heat(태양열흡수장치), Unpowered cooling and heating(무동력 냉난방)

### 1. 서론

사람의 거주지 및 시설물 등에서 에너지 소비를 줄이기 위해 2008년 이후 우리나라는 정부의 저탄소 녹색성장 정책을 실시하여 왔으며 2009년 녹색성장위원회에서 2020년까지 건축물에 의한 온실가스 배출량을 2005년 대비 31% 감축한다는 계획을 발표하였다. 정부는 가능한 화석에너지의 사용을 줄이고 적은 운전비용으로 냉난방 및 급탕 공급을 위해 주택부하 구성비에 맞는 건물에너지 저감기술

과 신재생에너지 기술을 조합하여 제로에너지주택 개발에 힘을 쏟고 있으며, 이에 관한 많은 연구가 수행되어지고 있다.<sup>1-4)</sup> 이와 관련된 기존 연구로서, 초고층 공동주택의 실내 환경 측정 및 에너지 시뮬레이션을 통해 세대별 냉난방 부하특성 분석<sup>5)</sup>과 수평형 지중 열교환기를 적용한 지열 히트펌프 시스템을 대상으로 지중 열교환기의 열전달 성능 및 시스템에너지 소비량 측정을 통한 시스템의 냉난방 성능 분석<sup>6)</sup>에 관한 연구가 수행되었다. 하천수, 지하수, 해수 등의 수(水) 열원을 열펌프 열원으로 이용하는 냉난방 시스템의 경우 넓은 부지 면적이 필요 없기 때문에 농업 시설물(특히 원예시설)의 냉난방시스템으로 관심을 받았다. 이 시설은 주로 강가에 위치하고 있어 지하수 또는 강변 여과수

1) 국립경남과학기술대학교 자동차공학과

E-mail: yangyj@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3646 Fax: +82-55-751-3649

이용이 쉬운 편이므로 온실 냉난방을 위한 수열원 히트펌프의 열원으로 여러 연구가 수행되어 왔다.<sup>7)</sup> 또한 최소의 에너지로 건축물에 쾌적한 환경을 주기 위해 수평 루버형 외부차양을 이용한 건축물의 냉·난방용 연구도 수행되었다.<sup>8)</sup> 이와 같이 사람의 거주지 또는 농축산 시설물 등에 소비되는 냉·난방 에너지를 절감하기 위한 많은 연구가 수행되어져 왔다.

본 연구에서는 신재생에너지의 한 분야인 태양열을 사람의 거주지 및 농축산 시설물 등에 적용하기 위하여 하절기에는 자연냉방이 이루어지고 동절기에는 자연난방이 이루어지는, 즉 한 개의 장치로 자연 냉난방이 모두 가능한 무동력 태양열 흡수장치의 실현 가능성을 조사하였다. 이를 통해 태양열 흡수장치를 적용한 사람의 거주지 및 농축산 시설물 등에서 냉난방을 위해 소비되는 전기 및 연료의 소비량을 일부분 절감하는 것을 본 연구의 목표로 하였다.

## 2. 태양열 이용 냉난방장치 개념 및 작동원리

Fig. 1에 하절기 경우, 태양열 흡수장치의 작동원리에 관한 개략적 그림을 나타내었다. 연구 대상의 태양열 흡수장치(Absorption device of solar heat)는 사람의 거주지 및 농축산 시설물 등의 벽면 또는 경사 지붕면과 같이 태양열 흡수가 양호한 곳에 설치되어진다. 냉원 저장조(Cold-reservoir)는 거주지 및 시설물 근처의 지면을 굴착하거나 연못 또는 하천 등과 같이 주위보다 낮은 온도를 가지는 장소에 열전달이 양호한 재질의 배관 형태로 매몰될 수 있다. 이때 배관은 지상보다 낮은 온도와 서로 많은 열교환이 일

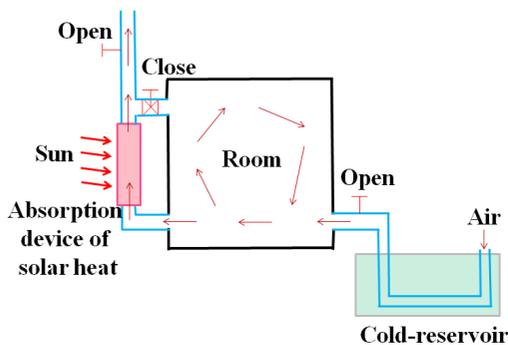


Fig. 1. Principle of absorption device of solar heat in case of summer

어날 수 있도록 가능한 표면적을 늘려준다. 지면을 굴착하여 배관을 설치하는 것 보다 정지 또는 흐르는 물이 있다면 자연 냉원저장조로서의 효율은 더 양호할 것으로 판단된다. 냉원저장조를 통과한 공기는 주위온도보다 저온의 상태로 실내로 유입된다. 이때 공기가 자연적으로 실내로 유입되는 이유는 다음과 같다. 태양열 흡수장치에 의해 집열되어진 태양열 흡수장치 내부의 공기는 온도가 상승한다. 온도가 상승된 공기는 밀도가 낮아 태양열 흡수장치의 상부로 이동하는 부력(buoyance)을 갖게 되며 온도가 상승된 공기는 외부로 방출된다. 따라서 부력에 의해 외부로 방출되어지는 공기의 체적만큼 냉원저장조에서 실내로 계속하여 실내에서 태양열 흡수장치로 공기가 유입되어진다. 즉 냉원저장조로부터 유입되어지는 저온의 공기로 실내의 공기를 일정 온도만큼 자연적으로 낮추어 주는 원리이다.

동일한 장치를 사용하면서 단지 공기 통로의 개폐를 변경함에 의해 동절기의 난방장치로도 사용할 수 있다. 그 작동원리를 Fig. 2에 나타내었다. 냉원저장조의 통로 및 외부 통로를 차단하고 실내방향의 통로를 개방함으로써 태양열 흡수장치로부터 가열된 공기가 다시 실내로 유입되도록 한다. 태양열 흡수장치에서 흡수된 열에 의해 가열된 공기는 실내로 유입되어 실내 천장에서 바닥으로 순환하게 되는 구조로 되어 있다. 이와 같은 순환이 반복됨에 따라 모든 실내 온도가 점진적으로 상승되어지는 원리이다. 이와 같이 본 장치는 하절기 및 동절기 모든 경우에 대해 외부 동력을 전혀 사용하지 않는 무동력의 자연대류(Natural convection) 방식을 채택하여 하절기에는 자연냉방, 동절기에는 자연난방이 가능한지 그 실현가능성에 대해 알아보 고자 하였다.

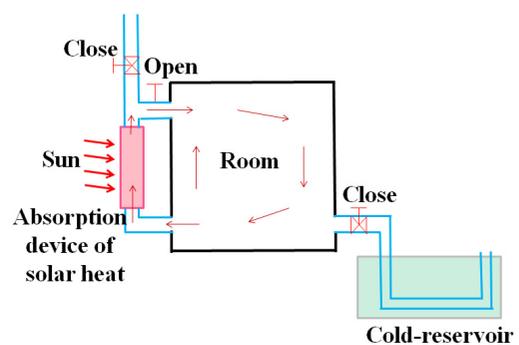


Fig. 2. Principle of absorption device of solar heat in case of winter

### 3. 실험장치 및 방법

Fig. 3에 태양열 흡수장치(Absorption device of solar heat)의 사진을 나타내었다. (a)는 SUS로 제작된 외각 지지대(가로×세로×폭 : 750×600×150mm)이며, (b)는 외각 지지대 내에 삽입되는 Al 재질의 태양열 흡수판(가로×세로×폭 : 700×450×100mm)을 나타내었다. 태양열 흡수판의 형상은 태양과의 접촉면을 최대한 증가시켜야 하는 것이 바람직하나 가공 비용 등을 고려하여 본 실험에서는 5mm 간격의 직선형 흰(Straight fin)으로 제작하였으며 직선형 흰 가공 후, 표면처리(Surface treatment)를 실시하였다. (c)는 외각 지지대에 태양열 흡수판을 삽입한 태양열 흡수장치의 최종 형상을 나타낸 것이다. 위에서 표면 처리 순서로는 Al 표면 위에 용제탈지 → 알칼리탈지 → 에칭 → 디옥사다이징(dioxidizing) → 본달처리(bondal treatment) → 동도금 → 흑크롬도금 작업을 실시하였다. 지면상의 관계로 흑크롬도금 작업 모습만을 Fig. 4에 나타내었다.

태양열 흡수장치의 적용 가능성을 검증하기 위해 제작한 가건축물을 Fig. 5에 나타내었다. (a)는 가건축물의 내부, (b)는 외부모습이다. (a) 및 (b) 그림에서 태양열 흡수장치의 설치유무에 따른 정확한 비교를 위하여 그림에서 좌측 및 우측은 동일한 크기(가로×세로×폭:900×2400×1800mm)

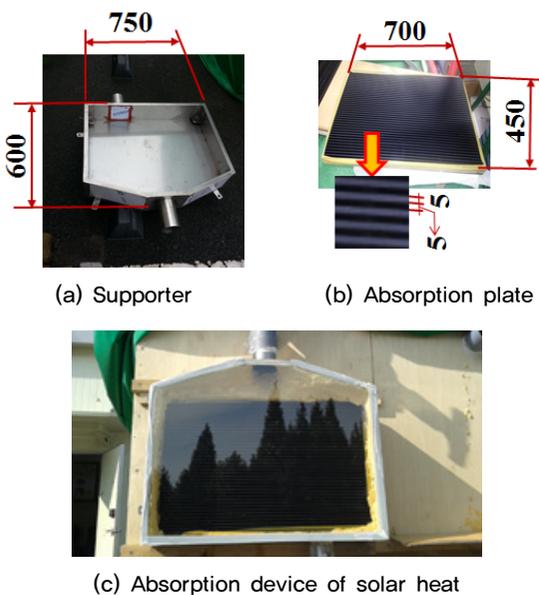


Fig. 3. Set up of absorption device of solar heat

제작하였으며 가건축물 제작은 합판, 목재, 스티로폼, 우레탄 등을 사용하였다. (a) 및 (b) 그림에서 좌측에 태양열 흡수장치를 설치한 것("Attached"로 표시)과 우측에 설치하지 않은 것("No attached"로 표시)의 모습을 나타내었다.

Fig. 6의 상부 그림은 가건축물의 후면 하부로서 실내로 유입되는 공기의 통로를 나타낸 것이다. 본 실험에서 하절기용 냉원저장조를 만들기 위해 지면을 굴착하거나 또는 하천 근처까지 가건축물을 이동시키는 것이 여건상 쉽지 않았기 때문에 여기서 하절기용 냉원저장조를 이용한 실험은 수행하지 않았다. 그러나 그 대안으로서 가건축물의 후면 하부에 풍속계(Anemometer) 및 열전대를 각 2개씩 설치하여 태양열 흡수장치의 영향에 의해 자연적으로 실내에 유입되어지는 공기의 유량변동과 온도를 동시 측정하는 것



Fig. 4. Black chrome plating for surface treatment

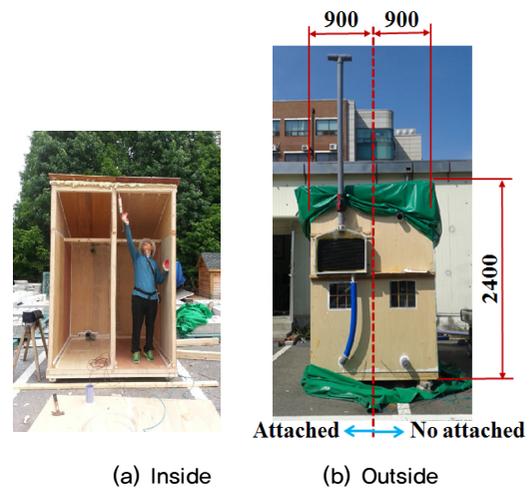


Fig. 5. Experimental structure (house) for absorption device of solar heat

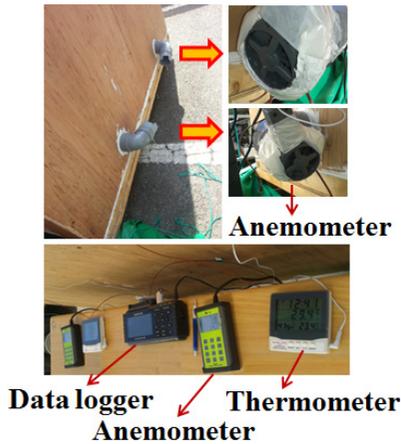
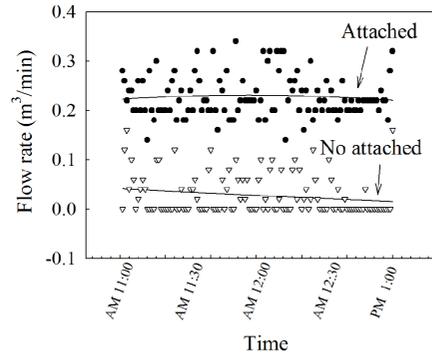


Fig. 6. Location of measurement

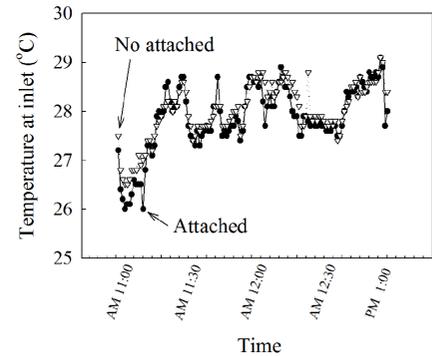
으로 대체하였다. 본 방법은 정확하지는 않지만 그 경향은 파악할 수 있을 것으로 판단하였다. 또한 가건축물의 실내 온도를 측정하기 위하여 가건축물내부지점(가로×세로×폭: 450×1700×9000mm, 즉 사람의 평균신장 높이에서 실내의 중앙지점)까지 열전대를 삽입하여 데이터로거(Data logger, GL220 820APS)로 온도를 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 가건축물의 후면 하부에서 측정한 결과이며 (a)는 시간에 따른 유량의 변화 (b)는 유입온도의 변화를 태양열 흡수장치가 설치된 경우(Attached)와 설치되지 않은 경우(No attached)를 각각 나타내었다. 위의 실험은 하절기를 가정하여 2014년 8월 경(여름)에 측정한 것으로서 오전 11시부터 오후 1시까지 데이터로거를 이용하여 1분 간격으로 총 120개의 데이터를 취득하였다. 그림 (a)에서 알 수 있는 바와 같이, 태양열 흡수장치를 설치한 가건축물의 유입 공기량은 평균 약  $0.23\text{m}^3/\text{min}$ 이다. 그러나 미설치한 가건축물의 유입 공기량은 평균 약  $0.02\text{m}^3/\text{min}$ 이다. 설치한 경우와 미설치한 경우 모두 데이터의 분포가 큰 흐트러짐을 보이는 것은 갑자기 부는 바람의 영향으로 관측되었다. 여기서 태양열 흡수장치를 설치하는 것이 미설치하는 것보다 평균적으로 유량이 약 12배 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 전술한 바와 같이 태양열 흡수장치에서 흡수한 태양열에 의해 가열되어진 공기가 부력에 의해 외부



(a) Variation of flow rate

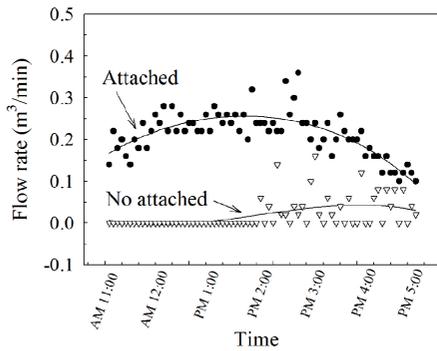


(b) Variation of temperature

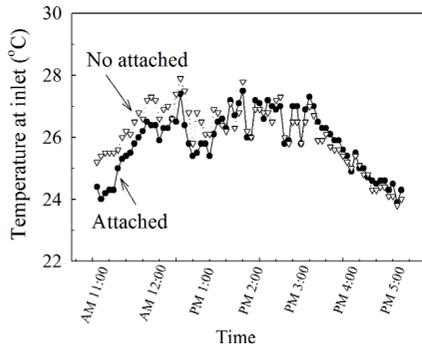
Fig. 7. Variations of flow rate and temperature of inlet in case of summer

로 방출되어짐에 따라 그 공간을 메우기 위해 가건축물 후면 하부에서 공기가 유입되어지기 때문인 것으로 판단된다. 그림 (b)는 유입 공기 온도를 나타낸 것으로서 태양열 흡수장치를 설치한 것과 미설치한 것 사이의 큰 차이는 관측되지 않는다. 이것은 가건축물의 하절기 외부 온도로서 최대 약  $29^\circ\text{C}$ 까지 상승하며 실험 측정일의 시간 경과에 따른 외부 온도의 변화를 알 수 있다.

Fig. 7과 동일한 조건이지만 다른 날짜(2014년 10월 경, 가을)이며 측정시간을 늘린(오전 11시부터 오후 5시까지 5분 간격으로 측정)시킨 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림 (a)를 관측하면, 태양열 흡수장치를 설치한 가건물의 유입 공기량은 평균 약  $0.2\text{m}^3/\text{min}$ 이며 미설치한 가건축물은 평균 약  $0.01\text{m}^3/\text{min}$ 를 나타내었다. 데이터 분포의 흐트러짐은 Fig. 7의 (a)의 경우보다 적으나 이와 같은 영향은 갑자기 부는 바람에 기인하는 것을 확인할 수 있었다. 여기서 태양열 흡수장치를 설치한 경우가 미설치한 경우보다 유입 공기의 유량이 평균적으로 약 20배 증가하는 것을 알 수 있



(a) Variation of flow rate



(b) Variation of temperature

Fig. 8. Variations of flow rate and temperature of inlet in case of fall

다. 그림 (b)에서도 태양열 흡수장치를 설치한 것과 미설치한 것 사이의 유입 공기 온도 또한 큰 차이를 보이지 않는다. 결론적으로, 태양열 흡수장치를 설치한 경우의 유입공기량은 평균 약  $0.2\text{m}^3/\text{min}$  이상이며, 제작한 가건축물의 체적(가로×세로×폭 :  $900\times 2400\times 1800\text{mm}$ )은 약  $3.888\text{m}^3$ 이다. 따라서  $3.888/0.2=19.4$  min, 이므로 본 장치의 경우 이론상 약 20분 경과 후에 실내의 모든 곳에 열이 전달될 수 있다는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 지면상 2일 분의 데이터만을 제시하였으나 수십일 간의 데이터의 장기 수집 결과 중에서 대표적인 경우만을 나타내었으며 모든 결과가 대동소이한 경향을 관측할 수 있었다. 본 연구에서 하절기의 경우, 정확한 실험 결과를 얻기 위해서는 지면을 굴착하거나 하천 및 물이 있는 장소로 가건축물을 이동시켜 냉원저장조에 배관을 설치한 후 실험을 수행하는 것이 타당하다. 그러나 경제적인 면을 고려하여 공기 유입구에서 유량의 변동 측정만으로 대체하였으나 차후 추가 검증 연구가 필요한 것으로 판단된다.

동절기의 경우에는 Fig. 2에서 기술한 바와 같이 배관의

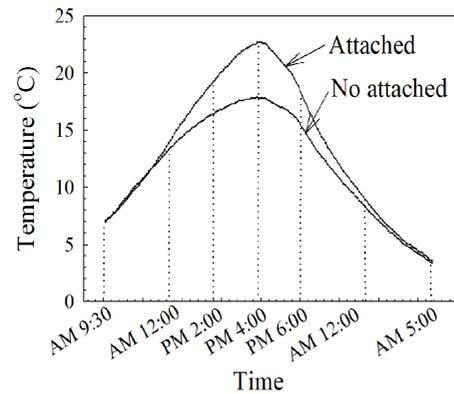


Fig. 9. Variations of temperature of inside in case 1 of winter

개폐를 변경함에 의해 가능하며 태양열 흡수장치에서 가열되어진 공기는 실내에서 순환되어지며 실내 전체온도를 상승시키게 된다. 동절기를 가정하여 Fig. 9에 2015년 1월 경 오전 9시 30분 부터 다음날 새벽 5시 까지 측정된 실내 온도를 나타내었다. 전술한 바와 같이 “Attached”는 태양열 흡수장치가 설치된 경우, “No attached”는 태양열 흡수장치가 미설치된 경우이며, 측정위치는 사람이 기립 시 체감할 수 있는 실내 중앙지점의 온도이다. 오전 9시 30분에는 양쪽 모두 약  $7^\circ\text{C}$ 로서 동일한 온도를 나타내지만 시간이 경과함에 따라 점진적으로 태양열 흡수장치를 설치한 경우의 온도가 더 상승하였으며 오후 4시에 약  $6^\circ\text{C}$ 의 최대온도차를 나타내었다. 이것으로부터 동절기에 태양열 흡수장치의 효과가 있는 것을 확인할 수 있다. 오후 4시경에 최대온도차를 보이는 이유는 이론상으로는 약 20분 경과 후에 실내의 모든 곳에 열이 전달되지만 실제로는 당일 오후 약 2시경에 가장 기온이 높았던 것으로부터 가열되어진 공기의 순환이 약 2시간 정도 걸렸기 때문인 것으로 판단된다. 즉 실험용 가건축물에 태양열 흡수장치를 설치한 경우의 온도는 미설치한 경우보다 주간에 최대 약  $6^\circ\text{C}$  높았으며 야간(취침) 시간인 오후 6시부터 다음날 새벽 5시 까지도 약  $1\sim 3^\circ\text{C}$ 의 높은 온도를 보였다. 따라서 본 태양열 흡수장치를 적용한다면 동절기의 주간 시간 뿐만 아니라 야간 시간에도 난방의 효과를 일부 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

동절기에 태양열 흡수장치의 설치 및 미설치한 경우의 실내온도와 함께 외부온도를 동시 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다(2015년 1월 경). 실험 당일의 기온이 낮았기

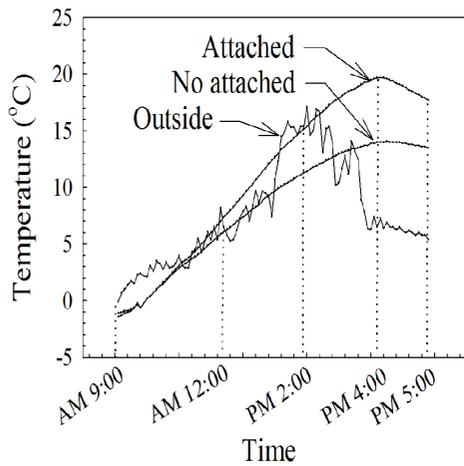


Fig. 10. Variations of temperature of inside in case 2 of winter

때문에 태양열 흡수장치의 설치 및 미설치한 경우의 전체적인 온도는 Fig. 9과 비교하여 모두 감소하였지만 그 경향은 동일한 것을 알 수 있다. 오전 9~10시 사이에는 태양열의 영향으로 가건축물 실내온도보다 외부의 온도가 더 높다. 그러나 시간이 경과함에 따라 가건축물의 실내 온도는 모두 일정하게 증가하나 외부온도는 구름 및 바람 등의 영향으로 변동하고 있음을 보여준다. 외부온도는 오후 2시경에 최대온도를 나타낸 후 오후 3~4시 사이에 급격하게 온도가 감소한다. 그러나 가건축물의 온도는 오후 4시에 최대온도를 나타낸 후 시간의 경과에 따라 완만하게 감소하는 것을 관측할 수 있다. 여기서 태양열 흡수장치의 효과는 오후 2시경부터 나타나기 시작하며 오후 4시경 태양열 흡수장치를 설치한 가건축물의 실내온도는 실외온도(실험용 가건축물의 외부온도)보다 약 14°C 높은 온도를 나타내었다. 이것은 태양열 흡수장치에 의해 흡수된 열이 가건축물의 실내에 축적된 결과라 판단되며 이 열이 Fig. 9의 실험 결과와 같이 저녁 시간뿐만 아니라 다음날 새벽(AM 5:00)까지 남아있는 것으로 예상된다. 따라서 동절기에 무동력의 태양열 흡수장치를 설치함에 의해 자연 난방을 함으로서 일정부분 난방비 절감 효과가 있을 것으로 판단된다. 동절기의 경우에도 하절기와 같이 수십일 간의 축적된 데이터 중에서 2일 분만을 나타내었다.

본 실험에서는 비교적 간단한 원리의 장치를 사람의 거주지 또는 농축산 시설물 등에 설치함으로써 여름에는 냉방, 겨울에는 난방이 일부만 가능한 무동력 태양열 흡수장

치의 실현가능성을 조사하였다. 본 실험에서 냉방 및 난방용 태양열 흡수장치의 겉보기 면적은 가건축물 바닥면적의 약 1/4에 해당하게 제작하였다. 이렇게 함으로서 태양열 흡수장치의 제작 비용과 얻을 수 있는 냉방 및 난방 효과를 서로 연관지어 경제성을 예측할 수 있도록 하고자 하였다. 태양열 흡수장치의 설치장소로서 벽면 뿐만 아니라 경사 지붕 등을 사용한다면 태양열 흡수장치의 면적을 더 늘릴 수 있기 때문에 냉난방의 효과를 더 증진시킬 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구의 결과만으로 무동력 태양열 흡수장치가 냉방 및 난방장치로서 실현가능할 것으로 단정할 수 없지만, 일정 부분 효과가 있는 것을 확인 할 수 있었으며 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서 사람의 거주지 및 농축산 시설물 등에 냉난방비를 일부 절감할 수 있는 방법을 알아 보기 위하여 무동력 태양열 흡수장치의 실현 가능성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 하절기를 가정한 경우에 자연냉방을 위해 태양열 흡수장치를 설치한 것은 미설치한 것보다 공기의 유입유량이 약 12~20배 증가하였다.
- 2) 동절기에 태양열 흡수장치를 설치한 경우는 미설치한 경우보다 주간에 최대 약 6°C, 야간시간에 약 1~3°C의 온도가 높다.
- 3) 동절기에 태양열 흡수장치를 설치한 경우의 실내온도는 실외온도보다 최대 약 14°C 높다.
- 4) 본 연구에서 무동력 태양열 흡수장치의 냉난방 효과를 단정할 수 없지만, 일정부분 효과가 있으며 추가 연구가 필요하다.

## References

- [1] 백남춘, 정선영, 윤응상, 이경호, 2012, “콤팩트형 태양열/지열 히트펌프 하이브리드 냉난방 및 급탕시스템 개발 및 성능분석”, 한국태양에너지학회, Vol. 32, No. 5, pp.

- 59-67.
- [2] 문종철, 2005, “태양열이용 Hybrid 냉난방시스템 실증연구”, 한국신재생에너지학회, Vol. 2, pp. 363-372.
- [3] Mohsen, M., 2009, “Thermal analysis of compact solar water heater under local climatic conditions”, Elsevier Science. B.V., Amsterdam, Vol. 36, No. 9, pp. 962-968.
- [4] 이권형, 류정립, 추승연, 2013, “시뮬레이션 기반 타워형 업무시설의 형태별 창면적비와 냉난방 부하간의 상관관계 분석에 관한 연구”, 대한건축학회, Vol. 29, No. 9, pp. 15-24.
- [5] 서혜수, 김병선, 2011, “초고층 공동주택의 세대별 냉난방 부하 시뮬레이션 결과 및 에너지 실사용량과의비교분석”, 한국태양에너지학회, Vol. 31, No. 4, pp. 34-40.
- [6] 손병후, 2012, “수평형 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 성능분석”, 설비공학회, Vol. 24, No. 3, pp. 230-239.
- [7] 조용, 김대근, 김형수, 문종필, 1012, “지속가능 온실 냉난방을 위한 강변 여과수 취수 및 회수 시스템 개발”, 유체기계저널, Vol. 15, No. 2, pp. 20-29.
- [8] 김진아, 윤성환, 1012, “사무공간의 냉난방 및 조명부하 저감을 위한 수평루버형 외부차양에 관한 연구”, 대한건축학회, Vol. 28, No. 10, pp. 345-352.