

태양열을 이용한 무동력 냉난방 겸용장치의 특성 비교 연구

이재한* · 전태규** · 양영준*†

*경남과학기술대학교 자동차공학과, **(주)GSE 태양열연구소
(2018년 10월 18일 접수, 2018년 11월 20일 수정, 2018년 11월 23일 채택)

Study on Characteristics Comparison of Unpowered Cooling and Heating Combined Device using Solar Heat

Jaehan Lee* · Taekyu Chun** · Youngjoon Yang*†

*Dept. of Automotive Eng., Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. and Tech.

**Research Institute of Solar Heat, GSE Co. Ltd.

(Received 18 October 2018, Revised 20 November 2018, Accepted 23 November 2018)

요 약

지구온난화 현상이 세계적으로 점점 심각해지고 있으며 이에 대한 대책으로 에너지 원천의 다양화, 에너지 절감 기술 등이 필요하다. 본 연구에서는 태양열을 이용한 무동력 냉난방 겸용장치를 실현하기 위하여 태양열 집열기 흡수판의 재질변화, 무동력과 최소의 동력을 사용하였을 때의 특성을 비교하고자 하였다. 그 결과로서 하절기에 태양열 집열장치를 부착한 경우는 부착하지 않은 경우보다 실내온도가 약 1℃ 낮았으며, 하절기에 냉원저장조가 없는 상태에서 태양열 집열장치에 의한 냉방효과는 적었다. 그러나 동절기에는 실내온도가 약 3℃ 높았으며 무동력에 의한 난방효과의 가능성이 있었다. 간접적인 측정방법에 의해, Cu 재질의 태양열 집열장치의 성능은 Al 재질과 비교하여 약 2배 높았다.

주요어 : 태양열, 냉난방 겸용장치, 태양열 집열장치, 무동력, 환기

Abstract - As the global warming due to greenhouse effect has become serious problem, it is necessary to introduce the technology, for instance, such as diversity or saving of energy to reduce the use of fossil fuel. The purpose of this study was to investigate the characteristics on materials of absorption plate, unpowered and minimum use of power in cooling and heating combined device. As the results, it was observed that, in case of summer, since temperature of absorption device of solar heat(ADSH) was lower than that of no ADSH, cooling effect was insignificant in case of being not installed cold-reservoir. However, in case of winter, heating effect was certified even though the power was not used. At secondhand, the performance of ADSH with Cu was higher 2 times than that of ADSH with Al.

Key words : Solar heat, Cooling and heating combined device, Absorption device of solar heat, Unpowered, Ventilation

1. 서론

이상 기온의 원인으로 지목되는 지구 온난화 문제로 인해 에너지 원천의 다양화 및 에너지 절감기

술이 꾸준히 주목받고 있다 [1]. 건축분야는 국가 온실가스 배출량의 약 30%, 국내 총에너지 소비의 약 23%를 차지하고 있기 때문에 신재생에너지 적용을 적극 권장하고 있다 [2],[3]. 태양열을 이용하여 투명한 유리 굴뚝 내의 상·하 공기에 밀도차를 발생시켜 지하공간 또는 지하주차장 등의 시설에 무동력으로 자연환기를 시키기도 한다 [4]. 근래 라

†To whom corresponding should be addressed.
Tel : +82-55-751-3646 E-mail : yangyj@gntech.ac.kr

돈(radon)의 위험성이 제기되고 있다. 라돈은 천연 방사성 물질로서 제거할 수 없으며 무색, 무미, 무취의 불활성기체로서 천연기체 중 가장 무겁다. 또한 적은 농도라도 장기간 노출되면 폐암에 걸릴 확률이 높아지는 것으로 알려져 있으며, 라돈 노출을 최소화하기 위한 방법은 자주 환기를 시키는 것이다 [5]. 그러나 자연환기가 어려운 경우도 많다. 이 경우에는 비교적 간단한 장치의 설치에 의해 즉 최소의 동력 사용에 의해 환기가 된다면 에너지 절약 측면에서 유용할 것이다. 신재생에너지를 난방에 적용하기 위한 기술은, 평판형 태양열집열기를 설치하여 태양열에 의해서 가열된 유체의 밀도차를 이용하여 자연순환식 급탕을 이루기 위한 연구 [6], 건물의 빈 벽면을 활용하기 위한 수직벽면형 태양열 시스템에 관한 연구 등 [7],[8]이 수행되어졌다. 그 외 태양열을 이용한 발전장치 및 지열을 활용하는 연구도 수행되어졌다 [9],[10]. 이와 같은 태양열에 의해 발생한 밀도차를 이용하는 자연순환식 난방에 관한 많은 연구가 이루어지고 있지만, 태양열을 이용하여 무동력으로 냉방과 난방을 한 개의 장치로 모두 얻고자 하는 시도는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 태양열을 이용한 무동력 겸용장치를 제작하여 냉난방의 실현 가능성을 조사하였다. 즉 태양열 집열기의 핵심부분인 태양열 흡수관의 재질변화에 따른 특성 및 무동력과 최소의 동력을 사용하였을 때의 특성을 서로 비교하고자 하였다.

2. 무동력 냉난방 겸용장치의 작동원리

본 연구에서 태양열 냉난방 겸용장치의 작동원리는 이전 연구 [8]와 동일하므로 이해를 위해 여기서는 간략히 설명하고자 한다. 하절기의 경우, 태양열 집열장치의 작동원리를 Fig. 1에 나타내었다. 자체 고안한 본 연구대상의 태양열 집열장치(absorption

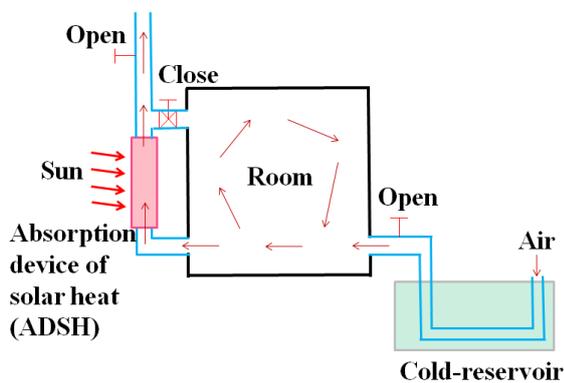


Fig. 1. Principle of absorption device of solar heat (ADSH) in case of summer[8].

device of solar heat, 이하 ADSH라 칭함)는 사람의 주택 또는 농축산 시설물 등과 같은 빈 벽면에 설치된다. 냉원저장조(cold-reservoir)는 주택 및 시설물 근처의 지표보다 저온의 지면을 굴착하거나 또는 저온의 연못, 하천 등과 같은 장소에, 열전달이 양호하고 충분한 전열면적을 갖는 재질의 배관 형태로 설치할 수 있다.

본 실험에서는 위와 같은 냉원저장조를 실험실 규모에서 제작할 수 없었기 때문에 하절기의 경우에는 태양열 집열장치를 이용하여 냉방 대신에 환기성능으로 대체하였다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이, 냉원저장조를 통과한 공기는 주위온도보다 저온의 상태로 실내로 유입된다. 이때 공기가 자연적으로 실내로 유입되는 원리는 다음과 같다. 태양열 집열장치에 의해 집열되어진 태양열 집열장치 내부의 공기 온도가 상승한다. 온도가 상승된 공기는 밀도가 낮아 태양열 집열장치의 상부로 이동하는 부력(buoyance)을 갖게 되며 온도가 상승된 공기는 외부로 방출된다. 따라서 부력에 의해 외부로 방출되어지는 공기의 체적만큼 냉원저장조에서 실내로 계속하여 공기가 유입된다. 즉 냉원저장조로부터 유입되어지는 저온의 공기로 실내의 공기를 일정 온도만큼 자연적으로 낮추는 원리이다.

Fig. 2에 공기 통로를 간단히 변경함에 의해 동절기의 난방장치로 사용되는 원리를 나타내었다. 냉원저장조로부터 유입공기와 태양열집열기로부터 가열되어진 공기가 외부로 빠져나가는 통로를 차단함에 의해 동절기 난방장치로 변경 가능하다. 태양열 집열장치에서 흡수된 열에 의해 가열된 공기는 실내로 유입되어 실내 천장에서 바닥으로 순환하며 점진적으로 실내 공기의 온도를 상승시키는 원리이다.

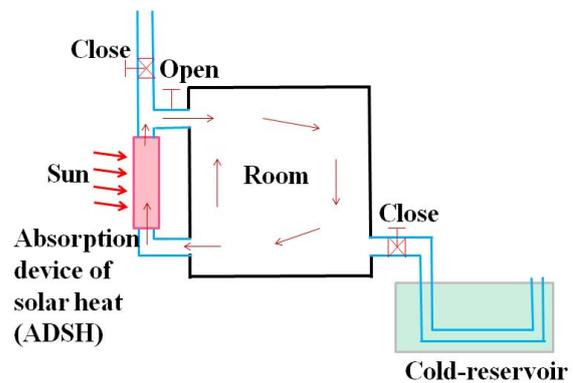


Fig. 2. Principle of absorption device of solar heat (ADSH) in case of winter[8].

3. 실험장치 및 방법

Fig. 3에 태양열 흡수판 및 집열장치를 나타내었다. Fig. 3(a)는 태양열 집열장치의 핵심부분인 Al 재질의 태양열 흡수판(가로×세로×폭 : 700×450×100mm)이며, Fig. 3(b)는 Cu 재질의 태양열 흡수판이며 Al과 동일한 외각치수를 갖는다. Fig. 3(c)는 Al과 Cu의 태양열 흡수판을 지지하며 태양열을 가두는 역할을 하는 SUS 재질의 외각지지대(가로×세로×폭 : 750×600×150mm)와 투명유리로 구성되어 있다. Al 태양열 흡수판의 표면적을 최대한 늘리는 것이 좋으나 가공비용 등을 고려하여, 본 실험에서는 높이 65mm, 두께 5mm의 직선형 흰(straight fin)을 5mm 간격으로 가공 후 표면처리(surface treatment)를 하였다. Cu 태양열 흡수판은 높이 65mm, 두께 1mm의 Cu 박판을 9.7mm 간격으로 배치하였다. 표면처리 순서로는 Al 및 Cu 표면 위에 용제탈지→알칼리탈지→에칭→디옥사다이징(dioxidizing)→본달처리(bondal treatment)→동도금→흑크롬도금 작업을 실시하였다.

Table 1에 태양열 흡수판인 Al과 Cu의 재질 물성치를 나타내었다. 태양열 흡수판을 선택할 때 재질의 물성치 뿐만 아니라 재료가격 및 가공비 등 여러 요인을 고려해야 한다.

Fig. 4에 태양열 집열장치를 실험용 집에 설치한

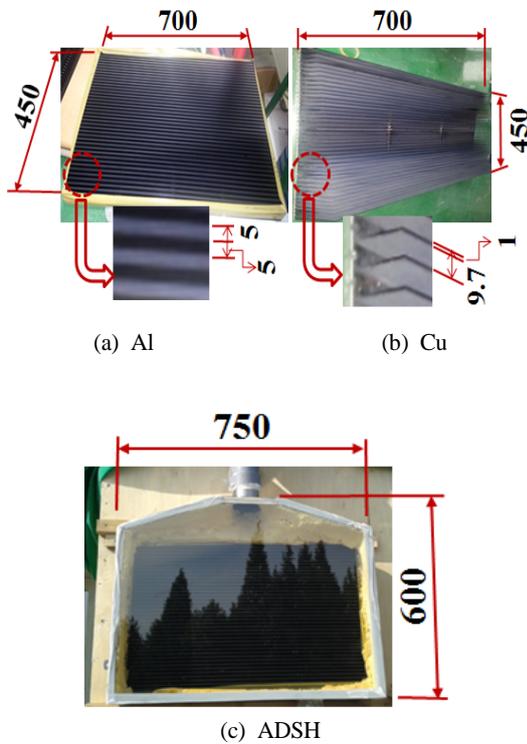


Fig. 3. Set-up of ADSH using Al and Cu.

모습을 나타내었다. 태양열 집열장치의 설치 유무에 따른 비교를 위하여, 그림에서 태양열 집열장치를 설치한 좌측(Attached ADSH) 및 설치하지 않은 우측(No attached ADSH)은 동일한 크기(가로×세로×폭 : 900×2400×1800mm)이며, 실험용 집의 제작은

Table 1. Material properties of Al and Cu.

	Al	Cu
Specific gravity	2.7	8.93
Thermal conductivity (k, W/mk)	200~300	350~450
Thermal diffusivity (α , m^2/s)	86	114
Melting point ($^{\circ}C$)	660.32	1084.6

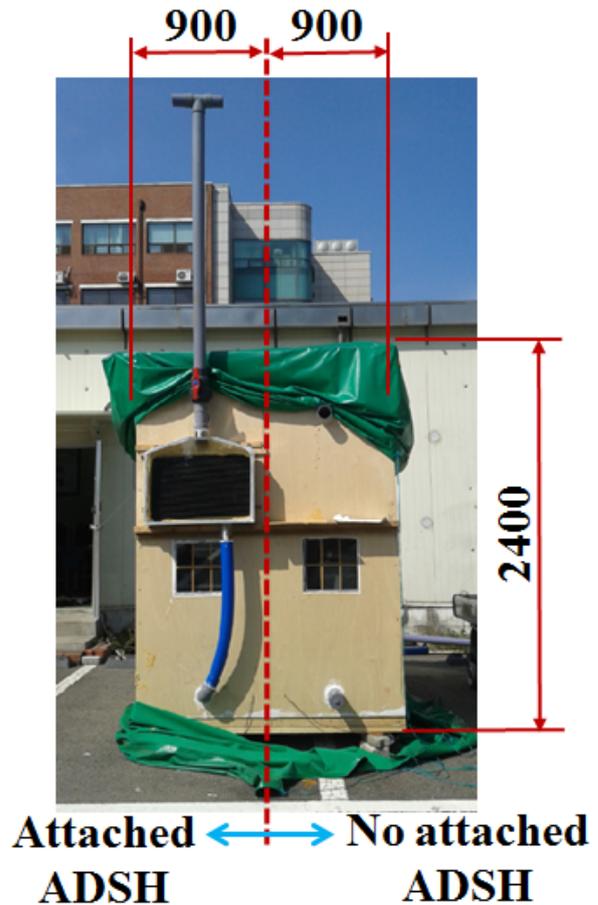


Fig. 4. Experimental house fixed ADSH[8].

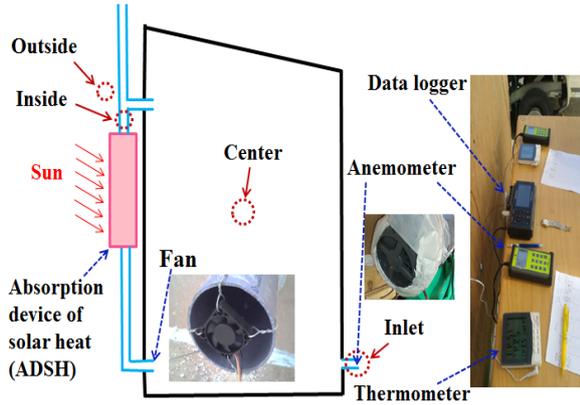


Fig. 5. Location of measurement.

합판, 목재, 스티로폼, 우레탄 등을 사용하였다. Fig. 5에 태양열 집열장치 및 실험용 집의 측정 위치를 나타내었다. 태양열 집열장치의 상부 배관(내경 90mm, 그림에서 Inside 표시) 내부에 열전대(thermocouple)를 약 45mm 삽입하여 온도를 측정하였으며 또한 동시에 실외온도(그림에서 Outside 표시)와 실험용 집의 내부 중앙온도(그림에서 Center 표시)를 측정(Data logger, GL220 820APS)하였다. 실험용 집의 내부 하부 좌측에 태양열 집열장치로 공기가 유입되는 입구 배관에 소형팬(그림에서 Fan 표시, Computer Cooler, DC12V-0.05A, 5.6CFM)를 설치하여 무동력이 아닌 최소의 동력을 가했을 때의 변화를 고찰하고자 하였다. 또한 실험용 집의 외부 공기 유입 배관(그림에서 Inlet 표시)에 풍속계(그림에서 Anemometer 표시, TPI556)를 설치하여 유입 공기의 속도 변화를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 하절기(8월 4일)에 오전 8시 25분부터 다음날 오전 8시까지 약 24시간 무동력의 상태에서 AI 재질의 태양열 집열장치를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우에 대해, 실험용 집의 실내 중앙온도(Center)와 실외온도(Outside)를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 오전 8시 25분부터 오후 약 1시 30분 전까지는 태양열 집열장치를 부착하지 않은 실험용 집 중앙온도(Center(No attached ADSH))와 실외 온도(Outside)는 서로 유사한 경향을 보인다. 이것은 태양열 집열장치를 부착하지 않은 실험용 집 내부는 온실효과와 같이 열이 외부로 빠져나가지 못하고 실내에 축적되기 때문인 것으로 예상된다. 낮 동안의 실외온도는 밤의 경우와 상이하게 바람 등에 의해 큰 온도편차가 관측된다. 태양열 집열장치를 부착한 경우의 실내온도(Center(Attached ADSH))는

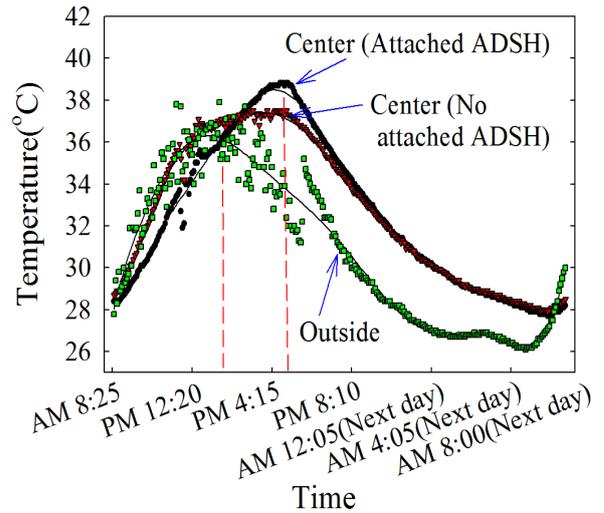


Fig. 6. Temperature distribution in case of summer(8/4, AI, no fan).

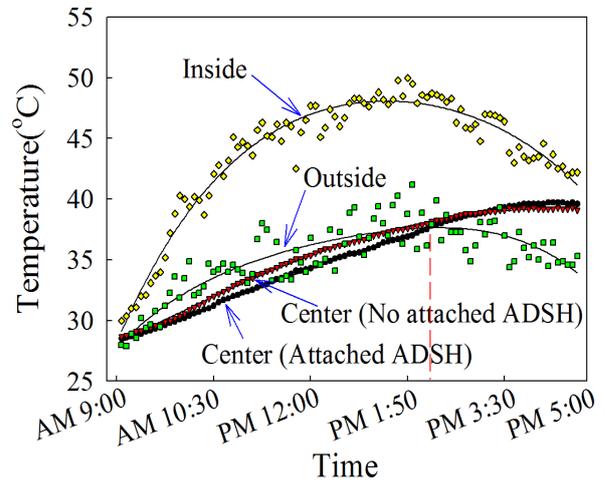


Fig. 7. Temperature distribution in case of summer(8/10, AI, no fan).

오후 약 3시 이전까지는 태양열 집열장치를 부착하지 않은 경우와 실외온도보다 온도가 더 낮다. 이것은 태양열 집열장치에 의해 가열되어진 공기가 밀도차에 의해 외부로 빠져나가고 새로운 공기가 실내로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 오후 약 3시가 경과함에 따라 온도가 더 높게 됨에 따라 환기 효과가 없어진다. 이것은 여름철에 실외온도가 계속 증가함에 따라 실내에도 계속 열이 축적됨으로서 실내의 열이 외부로 원활히 빠져나가지 못하기 때문인 것으로 예상된다.

Fig. 7은 하절기(8월 10일)에 오전 9시부터 오후 5시 까지 무동력 상태에서 AI 재질의 태양열 집열장치를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우, 실험용

집의 실내 중앙온도(Center)와 태양열 집열장치의 상부 배관 내부온도(Inside) 및 실외온도(Outside)를 나타낸 것이다. 오전 9시부터 오후 약 2시 30분경까지 태양열 집열장치를 부착한 경우가 부착하지 않은 경우보다 온도가 약 1°C 낮은 것은 환기에 의해 온도가 떨어졌기 때문인 것으로 예상된다. 이것은 냉방목적으로 하절기에 태양열 집열장치를 부착하는 것은 그 효과가 작으며, 즉 본 태양열 집열장치를 설치하여 하절기에 실내의 온도를 크게 떨어뜨리기 위해서는 실험용 집의 공기 유입구에 냉원 저장조와 같은 설비가 필요하다는 것을 나타내는 것으로 판단된다.

환풍 시스템의 영향을 알아보기 위해 Fig.7과 동일 조건에서, 하절기(8월 14일)에 소형팬을 연속 가동한 경우를 Fig. 8에 나타내었다. 이와 같은 조건을 부여한 이유는 본 실험장치와 같은 조건에서 무동력일 때 환기정도와 최소의 동력을 가했을 때의 환

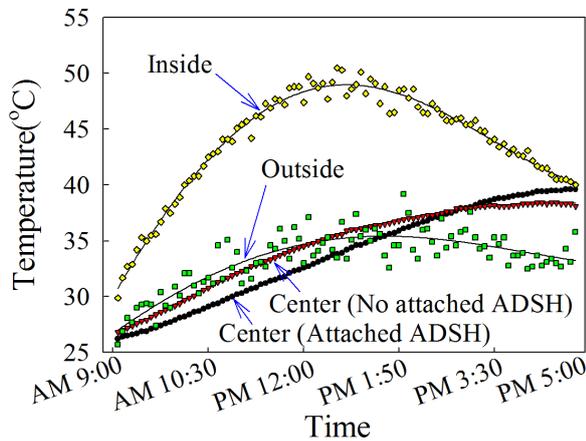


Fig. 8. Temperature distribution in case of summer(8/14, Al, fan).

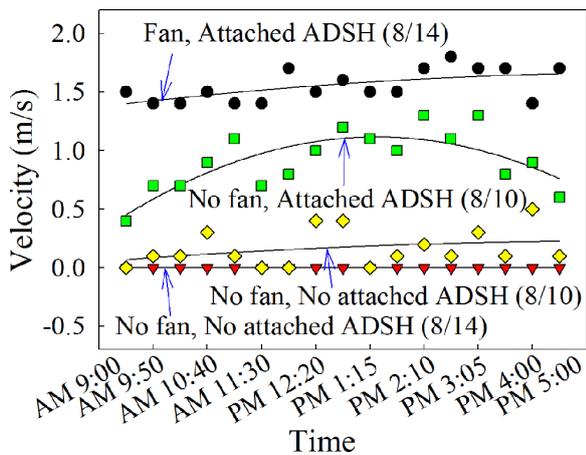


Fig. 9. Variation of inlet velocity.

기정도의 차이를 알고자 했기 때문이다. 결과를 관측하면 그 경향이 Fig. 7과 유사함을 알 수 있다. 차이점은 태양열 집열장치를 부착한 곳에 소형팬을 가동시킨 경우가 태양열 집열장치를 부착하지 않은 경우보다 온도가 약 3°C 낮다. 이것은 소형팬을 가동함에 의해 환기를 촉진시켜 실험용 집의 실내온도를 감소시켰기 때문이다. 이것은 최소의 동력 사용으로 실내의 온도를 약 3°C 낮출 수 있음을 확인할 수 있었다는 것에 의미가 있는 것으로 판단된다.

태양열 집열장치가 실험용 집에 유입되는 공기에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 한다. Fig. 9는 Fig. 5의 Inlet 부분에서 풍속계(Anemometer)를 이용하여 측정된 유입공기의 속도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 8월 14일의 경우를 서로 비교하면 소형팬과 태양열 집열장치가 부착된 경우는 그렇지 않은 경우와 비교하여 속도변화가 크다. 소형팬 및 태양열 집열장치가 없는 경우의 속도변화는 거의 없다. 8월 10일의 경우도 소형팬 및 태양열 집열장치가 없는 경우의 속도변화는 평균 약 0.2m/s 이하의 값을 보인다. 그러나 소형팬은 없으나 태양열 집열장치를 부착한 경우는 평균 약 0.9m/s의 값이 관측된다. 이 결과로부터 태양열 집열장치에 의해 실험용 집의 유입공기의 속도변화가 발생하며, 태양열 집열장치가 없는 경우와 비교하여 약 4배 이상의 유입공기의 속도변화가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 동절기(11월 10일)에 오전 9시부터 오후 5시 까지 무동력 상태에서 Cu 재질의 태양열 집열장치를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우의 실험용 집의 실내 중앙온도(Center)와 태양열 집열장치의 상부 배관 내부온도(Inside) 및 실외온도(Outside)를 나타낸 것이다. 이 경우는 동절기 난방 목적이므로 실험용 집의 공기 통로인 배관을 Fig. 2와 같이 개폐하였다. 하절기인 Fig. 7과 비교하면 전

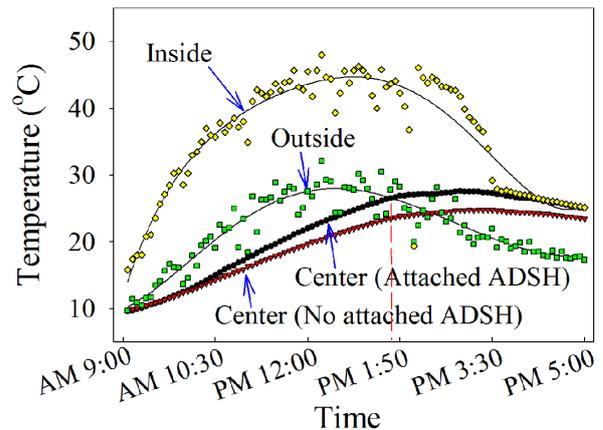


Fig. 10. Temperature distribution in case of winter (11/10, Cu, no fan).

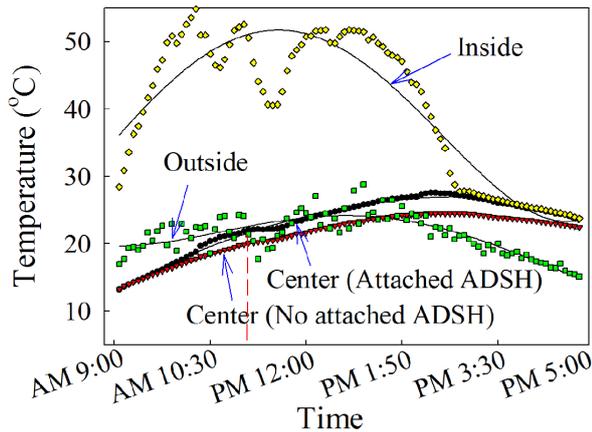


Fig. 11. Temperature distribution in case of winter (11/20, Cu, fan).

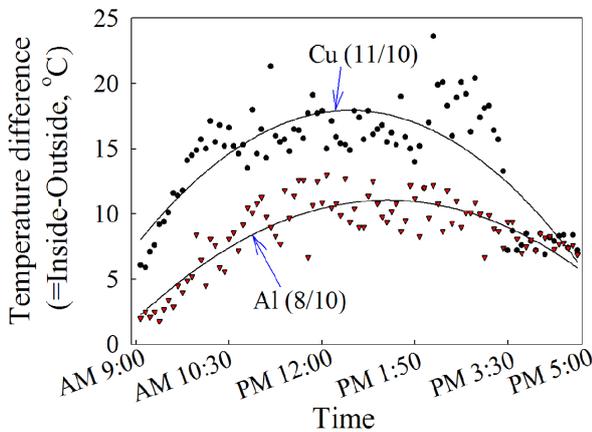


Fig. 12. Comparison for absorption plate of solar heat Al and Cu (no fan).

반적으로 온도가 모두 감소하였음을 확인할 수 있다. 여기서 흥미로운 것은 오전 9시부터 오후 약 1시 30분까지 범위에서는 난방목적으로 태양열 집열장치를 부착한 실험용 집의 실내 중앙 온도(Center (Attached ADSH))가 실외온도(Outside) 보다 더 낮다는 것이다. 이것은 겨울철 태양 직사광선을 곧바로 받는 실외가 실내보다 온도상승이 빠르다는 것을 의미한다. 그러나 오후 약 2시를 경과함에 따라 실내온도가 더 상승한다. 여기서 태양열 집열장치를 부착한 경우(Center(Attached ADSH))가 부착하지 않은 경우(Center(No attached ADSH))보다 모든 낮 시간 동안 높은 온도를 유지하며 최대 약 3°C 높다. 이와 같은 결과는 동절기에 태양열 집열장치의 설치에 의해 난방효과가 있다는 것을 나타내며, 어느 정도 태양열 집열장치에 의해 온도가 상승할 것인가 하는 것은 태양열 집열장치의 성능에 좌우될 것으로 판단된다.

Fig. 11은 Fig. 10의 조건에서 오전 10시 30분경에 약 30분 동안 소형팬을 가동시켜 태양열 집열장치의 열을 실내로 전달하고자 수행한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 11의 태양열 집열장치가 부착된 실험용 집의 중앙부 온도를 Fig. 10의 결과와 비교하면 온도가 적게 변화하는 것이 관측된다. 이것은 소형팬을 구동함에 의해 태양열 집열장치의 열은 영향을 받지만 이 열이 실내로 충분히 전달되지 못하기 때문인 것으로 예상된다. 이와 같은 현상은 소형팬의 용량을 증가시킴에 의해 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

태양열 집열장치 내 흡수판 재질의 영향을 나타낸 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 본 실험장치에서 Al 재질과 Cu 재질의 영향을 알 수 있는 가장 좋은 방법은, 동일한 실험용 집을 2개 제작하여 각각 Al과 Cu 재질의 태양열 흡수판을 설치하고 동시에 실험하는 방법일 것이다. 그러나 비용 등 여러 여건상 불가능하였기 때문에 다른 방법을 사용하였다. 즉 하절기의 8월 10일(Fig. 7)과 동절기의 11월 10일(Fig. 10)의 결과에서 태양열 집열장치의 온도(Inside)와 실외온도(Outside)의 차이를 이용하였다. 태양열 집열장치 내의 온도는 실외온도 즉 태양열의 강도에 비례하므로 그 차이(Inside-Outside) 또한 태양열의 강도에 비례할 것으로 예상되기 때문에 계절에 관계없이 재질의 특성을 나타낼 것으로 판단하였다. 그림을 고찰하면, Al 재질의 경우는 평균 약 8°C이었으며 Cu 재질의 경우는 평균 약 15°C로서 Cu가 Al보다 약 2배 정도 높은 온도를 나타내었다. 태양열 집열장치의 성능은 태양열 흡수판 재질 외에 표면처리 방법 및 태양열 집열장치 형상 등 많은 변수가 있다. 여기서는 간접적인 방법을 이용함에 의해 본 실험장치의 Cu 및 Al 재질에 의한 성능 차이를 확인한 것에 의미가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 태양열을 이용한 무동력 냉난방 겸용장치의 흡수판 재질 및 무동력과 최소동력 사용 시의 특성을 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 실험장치에서 하절기에 태양열 집열장치를 부착한 경우는 부착하지 않은 경우보다 실내온도가 최대 약 1°C 낮았으며, 하절기에 냉원저장조가 설치되지 않은 상태에서 태양열 집열장치에 의한 난방효과는 적다.
- (2) 태양열 집열장치에 의한 유입공기의 속도변화는 태양열 집열장치가 없는 경우보다 약 4배 크다.
- (3) 동절기에 태양열 집열장치를 부착한 경우의

실내 온도는 부착하지 않은 경우보다 모든 낮 시간 동안에 높았으며 최대 약 3°C를 나타낸 것에 의해 무동력 난방효과의 가능성이 있다.

(4) 본 실험장치에서 간접적인 방법에 의해, Cu 재질의 태양열 집열장치의 성능은 Al 재질의 태양열 집 열장치보다 약 2배 높다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

1. Cha, I. S., Ha, M. H. and Jung, G. H., 2016, Study on the energy-saving constant temperature and humidity machine operating characteristics, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 25, No. 3, pp. 27-33
2. Lim, H. T. and Kim, S., 2011, The Socio-technical constituency behind new & renewable energy technology development in a latecomer : The case study on new & renewable technology program of Korea, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 267-277
3. Jang, H. I. and Suh, S. J., 2010, Application of solar chimney system for natural ventilation in underground space, *J. of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 2, pp. 87-95
4. Seo, J. M., Lee, J. H., Song, J. E., Jung, J. H. and Song, D. S., 2011, A strategies to improve the natural ventilation performance at underground parking lot in multi-residential buildings, *The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea*, Vol. 23, No. 2, pp. 153-163
5. Min, T. U., Chung, K. W. and Kim, Y. I., 2015, A study on the variation of indoor radon concentration due to the ventilation rate in apartment housing, *Summer Conference of The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea*, pp. 431-434
6. Yoon, S. B. and Chun, M. H., 1985, Performance of natural circulation hot water system with flat-plate solar collectors, *Transaction of the Korea Society of Mechanical Engineers*, Vol. 9, No. 5, pp. 579-589
7. Baek, N. C., Lee, W. J., Lee, J. K. and Lee S. M., 2015, An experimental study on the operating performance of facade installed natural circulation type solar thermal system, *J. of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 35, No. 4, pp. 1-7
8. Yang, Y. J., 2015, Study on feasibility for combined device of unpowered cooling and heating using solar heat, *New & Renewable Energy*, Vol. 11, No. 3, pp. 45-51
9. Chun, T. K. and Yang, Y. J., 2014, Study on power device using solar collector, *New & Renewable Energy*, Vol. 10, No. 4, pp. 22-28
10. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and An, H. J., 2005, Cooling and heating performance evaluation of a GSHP system, *The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea*, Vol. 17, No. 1, pp. 71-81