

단일진공관 태양열집열기의 형상변화 및 접촉저항에 따른 집열효율 연구

최보원 · 양영준[†]

경남과학기술대학교 자동차공학과 대학원 · [†]경남과학기술대학교 자동차공학과
(2014년 6월 30일 접수, 2014년 11월 26일 수정, 2014년 11월 28일 채택)

Study on Thermal Efficiency according to Configuration Change and Contact Resistance of Solar Collector with Single Evacuated Tube-type

Bo-Won Choi, Young-Joon Yang[†]

Graduate School, Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. and Tech.

[†]Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. and Tech.

(Received 30 June 2014, Revised 26 November 2014, Accepted 28 November 2014)

요 약

신재생에너지 분야 중 특히 태양에너지를 이용하는 분야는 자원의 무한 및 청정성 때문에 그 사용량이 증가 추세에 있다. 우리나라에서 태양열에너지의 이용률이 전체 에너지 사용량 중 아직 미미한 실정이지만, 근래 정부의 정책적 지원에 힘입어 이 분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구는 태양열집열기의 형상 변화에 따른 집열효율을 조사하기 위하여 단일진공관 태양열집열기를 이용한 실험 및 이중진공관 태양열집열기와의 비교 실험을 수행하였다. 그 결과, 본 실험장치에서 히트파이프의 최고온도의 차이로부터 태양열집열기 형상 변화에 따른 집열효율의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 본 연구대상 태양열집열기의 히트파이프의 온도가 비교대상 태양열집열기보다 높음에도 불구하고 방열핀의 온도가 낮게 관측되었다. 이것은 본 연구대상의 태양열집열기는 히트파이프 방열부인 헤드부와 방열핀 사이의 접촉저항이 비교대상의 접촉저항보다 크다는 것을 나타내며, 집열효율을 높이기 위해서는 태양열집열기의 여러 부분의 성능개선뿐만 아니라 접촉저항에 의한 집열손실도 감소시켜야 함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 태양에너지, 태양열집열기, 집열성능, 접촉저항, 집열손실

Abstract - The use of solar energy among renewable energy tends to increase because of its infinity and cleanness of resources. Even though the consumption rate of solar energy in our country is still low, however, in recent years, the research for solar energy have been widely conducted due to policy support of government. This study was performed to investigate the efficiency of heat collection using solar collector with single evacuated tube-type. As the results, the temperature of radiation fin for solar collector with single evacuated tube-type was lower in spite of high temperature of heat pipe compared that of double evacuated tube-type. In order to increase the efficiency of heat collection, it was confirmed that the loss of heat collection due to contact resistance as well as performance improvement for solar collector should be decreased.

[†]To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam National
University of Science and Technology, 150 Chilam-dong,
Jinju, Gyeongnam, Korea
Tel : 055-751-3646 E-mail : yangyj@gntech.ac.kr

Key words : Solar energy, Solar collector, Efficiency of heat collection, Contact resistance, Loss of heat collection

1. 서 론

우리나라를 비롯한 세계 각국은 여전히 화석연료 소비가 많으며 이 때문에 지구온난화 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이의 해결책으로 신재생에너지 분야가 대안으로 떠오르고 있으며, 정부의 정책적 지원에 힘입어 많은 연구가 이루어지고 있다. 우리나라는 친환경·저탄소 배출에너지로서 신재생에너지 분야에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있음에도 불구하고 이 분야가 전체 에너지 사용량 중에 차지하는 비율은 현재 약 2%에 불과하다[1]. 특히 태양열에너지 분야는 태양광에너지 분야와 함께 신재생에너지 분야의 핵심 중 하나이다. 태양열에 관한 연구는 워(wick)의 형상[2], 비유리식 집열기[3], 태양열집열기의 구리-유리 접합기술[4], 태양열집열기의 히트파이프[5]에 관한 연구 등이 있으나 태양열집열기의 열성능[6-7]에 관한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있다. 태양열 집열기에 사용되어지는 선택흡수막은 태양열 집열기의 집열효율을 결정하는 가장 중요한 요소임에도 불구하고, 분야의 특수성 때문에 태양열집열기에서 상대적으로 연구가 적은 편이다. 이러한 선택흡수막은 일반적으로 태양열집열기 소재에 도금(plating) 또는 코팅(coating) 되어 사용되어진다. 또한 태양열 집열기의 주요 구성요소 중 하나인 히트파이프에 관한 연구도 수행되어 왔다. 태양열집열기의 효율을 향상시키기 위하여 집열기 내 히트파이프의 재질, 형상 및 내부구조를 변화시키는 연구도 진행되어 왔다

[8-9]. 그러나 히트파이프의 기하학적 구조만을 변경하는 것으로 태양열집열 시스템의 효율을 증가시키는 것에는 한계가 있다. 따라서 히트파이프뿐만 아니라 태양열집열기 외경을 포함한 전체적인 형상의 변화를 고려한 연구도 필요하다.

본 연구에서는 실내연구가 가능하도록 인공태양으로서 할로겐램프를 이용하여 단일진공관 태양열집열기의 형상변화 및 접촉저항에 따른 집열효율을 조사하였다. 즉 연구 대상의 단일진공관 태양열집열기의 흡수관과 히트파이프에 표면처리를 적용하였을 때와 또한 흡수관을 부착하지 않고 히트파이프에만 표면처리를 한 단일진공관 형상 및 히트파이프와 방열핀 사이의 접촉저항에 따른 집열효율의 관계를 조사하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1에 본 연구의 대상인 2가지 형태의 태양열 집열기를 나타내었다. (a)는 흡수관과 히트파이프에 집열효율성이 양호한 것으로 알려져 있는 블랙크롬도금(black chrome plating) 표면처리를 한 것이며, (b)는 흡수관과 히트파이프에 효율 대비 경제적인 것으로 알려져 있는 동 흑착(copper coating) 표면처리를 한 것이다.

Fig. 2에 4가지 형상의 단일진공관식 태양열 집열기를 나타내었다. 이 실험장치에서는 흡수관은 설치하지 않고 히트파이프만 사용함으로써 가능한 내부구조를 단순화시켜 태양열집열기의 외경의 변화만을 관측하고자 하였다. 원래의 태양열집열기에서는 단일



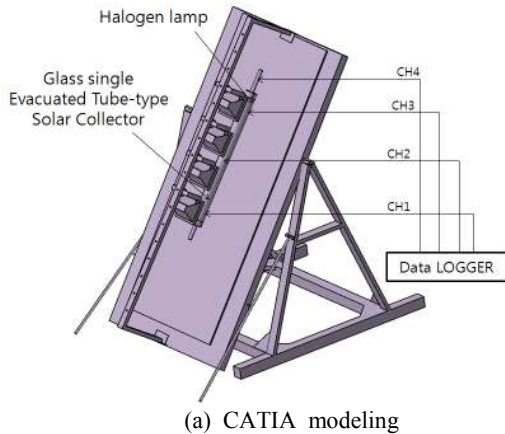
(a) Black chrome plating (b) Copper coating
Fig. 1. Surface treatment of absorber plate and heat pipe.



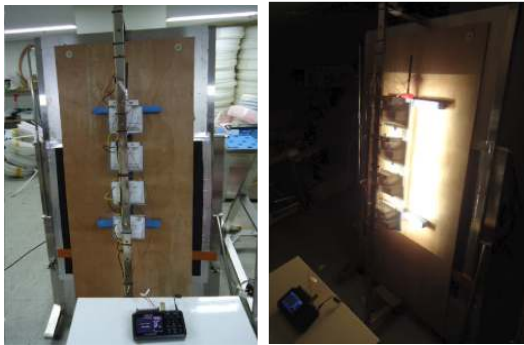
Fig. 2. Comparison of 4 solar collectors.



Fig. 3. Radiation fin.



(a) CATIA modeling



(b) Measurement

Fig. 4. Set-up of experimental apparatus.

진공관 내부에 진공을 형성시켜 집열효율을 높이거나 엄격하게 진공도를 모두 동일하게 만드는 것이 불가능하기 때문에 4가지 태양열집열기를 모두 비진공 상태에서 실험하였다. 위의 방법은 진공보다 집열효율은 떨어지지만 4가지 태양열집열기의 상대적 비교에는 정확할 것으로 판단된다. 비진공 단일진공관식 태양열집열기의 길이는 750mm로 4 경우 모두 동일하며, 외경을 각각 60, 45, 30mm로 하였다. 동축착을 모두 동일하게 수행하였으며 히트파이프의 길이는 980mm, 외경은 13mm이다. 또한 우리나라에서 높은 시장점유율을 차지하고 있는 중국의 태양열집열기와 비교하기 위해 수입한 외경 60mm 제품과 집열효율

을 비교하였다. 히트파이프의 온도를 측정하기 위해 T-type 열전대(thermocouple)를 히트파이프의 하부지점, 중간지점, 상부지점, 집열기 유리관 외부지점 즉 총 4곳의 온도를 동시 측정하였다.

본 연구의 태양열집열기의 방열핀 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 방열핀은 길이 270mm, 외경 50mm, 내경 15mm, 두께 1mm인 총 66개의 환형핀 구조이다. 수조의 하부에 T-type 열전대를 설치하고 데이터 로거(data logger, GL220 820APS)와 연결하여 온도를 측정하였다.

Fig. 4에 실험장치를 나타내었다. (a)는 실험장치의 CATIA 모델링으로서 T-type 열전대(thermocouple)를 히트파이프 하부지점에 CH1, 중간지점 CH2, 상부지점 CH3, 외부지점에 CH4로 설정하여 온도를 측정하였다. (b)에 인공태양으로 4개의 할로겐램프(DIMMER, 소비전력 Min.0 ~ Max.1 kW/EA)를 사용한 형상이며, 4개의 태양열집열기를 교대로 설치하여 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5에 흑크롬으로 표면처리가 된 연구대상의 단일진공관식 태양열집열기와 앞에서 언급한 것과 같이 국내에서 높은 시장점유율을 차지하고 있는 외국 수입품인 이중진공관식 태양열집열기의 수조 내의 온도측정 결과를 나타내었다. 물탱크의 하부지점 A1의 최초온도는 34℃이고 120분 경과 후 최고온도 56.6℃상승하며, 물탱크 상부지점 A2는 최초온도가 34.4℃이고 120분 경과 후 53.2℃상승하는 것을 알 수 있다. 물탱크 하부지점 B1은 34.1℃에서 120분 경과 후 47.1℃상승하고, 물탱크 상부지점 B2는 34.4℃에서 120분 경과 후 47.6℃로 상승하는 것을 알 수 있다. 데이터는 1분 간격으로 측정 되었으며 약 10분 경과 후 물의 온도가 변화하는 것으로 관측되었으며 물탱크 물의 온도가 상부지점 A2와 물탱크 하부지점 A1은 물탱크 상부지점 B2와 물탱크 하부지점 B1보다 단시간에 상승하는 것으로 관측된다. 물탱크 상부지점 A2는 하부지점 A1보다 물의 온도가 높은 것으로 나타났으며 상부지점은 하부지점보다 물의 온도는 5.6℃로 상승하였다. 이는 수조 내 상부지점이 방열핀과 접촉하는 면적이 크며 또한 물의 온도 차에 의한 대류현상 때문인 것으로 판단된다. 연구 대상의 단일진공관식 태양열집열기는 수입 이중진공관 태양

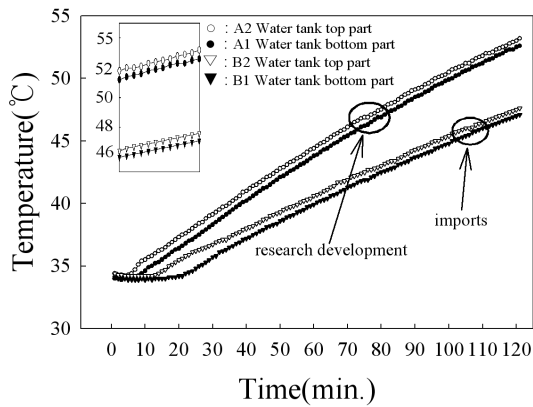


Fig. 5. Temperature distribution in water tank

열집열기보다 상부 및 하부지점 모두 약 9.5°C 높게 나타났으며 이것은 연구 대상 태양열집열기의 열효율성을 향상시키고자 보조장치로 사용한 방열핀의 효과 및 히트파이프의 성능향상에 따른 것으로 판단된다.

Fig. 6은 본 연구 대상인 외경 60mm의 단일진공관 태양열집열기의 히트파이프에 동흑착을 표면처리하여 하부지점 A1, 중간지점 A2, 상부지점 A3, 외부지점 A4로 온도 측정된 결과를 나타낸 것이다. 하부지점 A1은 최초온도 26.2°C에서 약 40분 경과 후에 최고온도 93.6°C로 상승하고, 중간 지점 A2는 최초온도 26.3°C에서 약 40분 후에 93.8°C로 상승하였다. 상부지점 A3은 최초온도 26°C에서 40분 후에 93.4°C로 상승하였으며, 외부지점 A4는 25.9°C에서 약 40분 후에 88.3°C로 상승하였다. 또한 중간지점 A2는 하부지점 A1보다 0.2°C, 하부지점 A1은 상부지점 A3보다 0.2°C, 상부지점 A3은 외부지점 A4보다 5.1°C 각각 높은 온도를 보이는 것을 알 수 있다. 실험 시작 후 약 20분 내에 온도상승이 급작스럽게 이루어지며, 약 40분 경과 후부터는 온도가 완만히 증가함을 알 수 있다. 이것은 태양열집열기의 순간 성능을 나타낼 수 있는 지표가 될 수 있으며 온수의 급탕이 필요한 시설에서 중요한 요소가 될 것으로 판단된다. 약 40분 경과 후부터는 온도변화가 거의 일정하게 관측되어진다. 최고온도가 높은 순으로 나열하면 A2>A1>A3>A4인 것으로 관측되었다. 중간지점 A2는 하부지점 A1보다 인공태양열을 히트파이프 표면으로 많이 흡수하는 것을 알 수 있으며, 이것은 히트파이프 내 작동유체의 특성과도 관계가 있는 것으로 판단된다. A1은 A3보다 히트파이프가 외부로 짧게 노출되었으며, 유리관 크기도 비교적 큰 것을 사용하

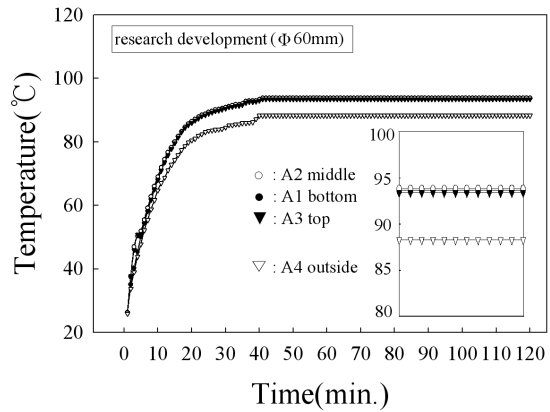


Fig. 6. Temperature distribution in case of copper black coating (A, Φ=60mm).

였기 때문에 밀폐된 공간에 잔류된 공기의 양이 많아지면서 온도가 높게 나타난 것으로 판단된다. A3는 밀폐된 공간에 위치하고 있으며 히트파이프가 외부로 노출되어 있는 A4는 열을 외부의 공기로 방열작용 현상이 발생하여 약 5.1°C 정도 온도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

외경 45mm의 단일진공관 태양열집열기의 히트파이프에 동흑착을 표면처리한 경우의 온도측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 하부지점 A1은 26.1°C에서 74분에 최고온도 97.7°C, 중간지점 A2는 26.3°C에서 70분에 97.6°C로 상승하였다. 또한 상부지점 A3은 26.4°C에서 69분에 97.5°C, 외부지점 A4는 26.3°C에서 62분에 93.3°C 상승하였다. 또한 하부지점 A1은 중간지점 A2보다 0.1°C상승하고, 중간지점 A2는 상부지점 A3보다 0.1°C상승하며 상부지점 A3은 외부지점 A4보다 4°C상승하는 것을 알 수 있다. 최고온도가 높은 순으로 나열하면 A1>A2>A3>A4이며 이것은 Fig. 6과

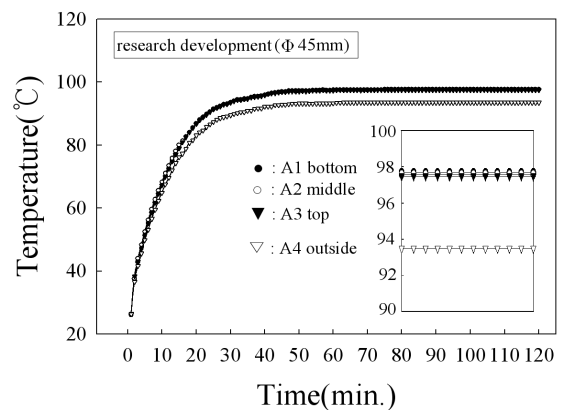


Fig. 7. Temperature distribution in case of copper black coating (A, Φ=45mm).

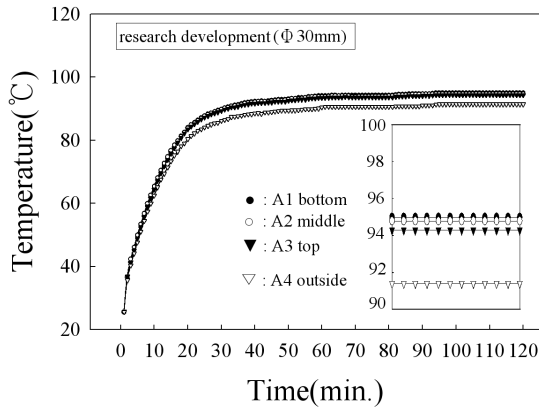


Fig. 8. Temperature distribution in case of copper black coating (A, $\Phi=30\text{mm}$).

일부 다른 결과를 나타내었다. 이것은 태양열집열기의 특성이 외경의 크기, 즉 형상의 변화에 따라 온도분포가 달라질 수 있음을 나타내는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 외경 30mm 경우의 단일진공관 태양열 집열기의 온도분포를 나타낸 것이다. 이 경우에 하부 지점 A1은 25.4°C에서 93분에 95°C까지 상승하고, 중간지점 A2는 25.6°C에서 92분에 94.8°C로 상승하였다. 상부지점 A3은 25.7°C에서 93분에 94.3°C 상승하고, 외부지점 A4는 25.6°C에서 94분에 91.4°C 상승하는 것으로 관측되었다. A1은 A2보다 0.2°C, A2는 A3보다 0.5°C, A3은 A4보다 2.9°C 높게 나타난다. 최고온도를 높은 순으로 나열하면, $A1 > A2 > A3 > A4$ 으로 Fig. 7과 같은 경향을 보인다. 유리관의 크기는 앞의 경우와 비교하여 작은 것을 사용하였기 때문에 내부에 공기가 차지하는 체적도 적다. 공기가 차지하는 체적이 앞의 경우와 비교하여 상대적으로 적기 때문에 인공태양열이 직접적으로 히트파이프로 전달되어 유리관의 크기의 변화에 따른 온도변화도 존재하는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 본 연구 대상인 단일진공관 태양열집열기(A)와 단일진공관식에 수입 히트파이프를 적용한 태양열집열기(B)의 히트파이프 각부의 지점에 대한 최고온도 분포를 나타내었다. 단일진공관 태양열집열기(A)의 외경을 45mm로 하였을 경우가 다른 모든 경우보다 집열효율이 우수함을 알 수 있다. A의 경우, 외경에 따른 최고온도는 $45 > 30 > 60\text{mm}$ 인 것을 알 수 있다. 즉 태양열집열기의 외경에 대한 집열효율은 일률적으로 외경의 크기에 따라 단순히 변하지 않는 것을 알 수 있다. 즉 히트파이프의 크기 및 성능에 적합한 태양열집열기의 외경이 존재하는 것을 본

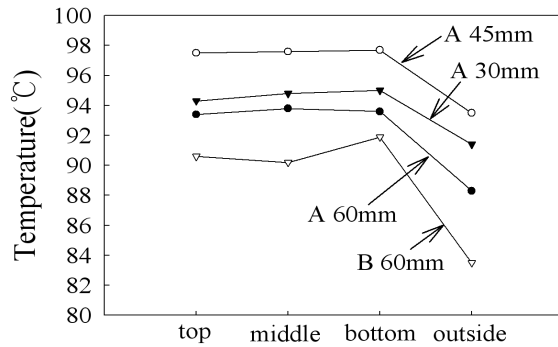


Fig. 9. Temperature distribution in case of changing outside diameter of solar collectors.

실험에서 알 수 있는 것으로 판단된다. B의 경우가 집열효율이 가장 낮은 것으로 나타난다. 이것은 A의 경우 히트파이프에 표면처리를 적용하였지만, B의 경우는 수입 상태 그대로의 것을 실험하기 위해 아무런 표면처리를 하지 않았으며 또한 히트파이프 내부의 구조적 차이 및 작동유체의 성능차이에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 히트파이프의 크기 및 성능에 최적인 태양열집열기의 형상이 있으며, 이것은 히트파이프와 태양열집열기 외경사이의 거리와 관계가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 10는 단일진공관식 태양열집열기의 수조 내부에 물을 채우지 않은 상태에서 노출되어진 방열핀의 온도를 측정한 결과이며 방열핀의 하부지점을 A1, 중간지점을 A2, 상부지점을 A3로 나타내었다. A는 본 연구대상의 방열핀이며 B는 수입 히트파이프의 방열부를 나타낸다. 하부지점 A1은 25.5°C에서 111분에 최고온도 99.4°C, 중간지점 A2는 25.6°C에서 119분에 105.9°C의 최고온도까지 상승하였다. 또한 상부지점 A3은 25.5°C에서 119분에 80.2°C로 상승하였다. 약 50분까지 방열핀의 온도는 비교적 급격하게 상승하며, 약 70분 경과 후 온도변화는 완만하게 변하는 것을 알 수 있다. 최고온도가 높은 순으로 나열하면 $A2 > A1 > A3$ 이며, 이것은 방열핀의 중간지점 A2까지 연구대상인 히트파이프의 헤드부에서 방열되어지는 열을 방열핀에서 흡수하기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험 조건에서 A2는 A1보다 6.5°C, A1은 A3보다 19.2°C 온도가 높은 것으로 관측되었다. B의 경우, 방열핀의 하부지점 B1, 중간지점 B2, 상부지점을 B3로 나타내었다. B1은 25.7°C에서 102분에 최고온도 97.5°C로 상승하고, 중간지점 B2는 25.9°C

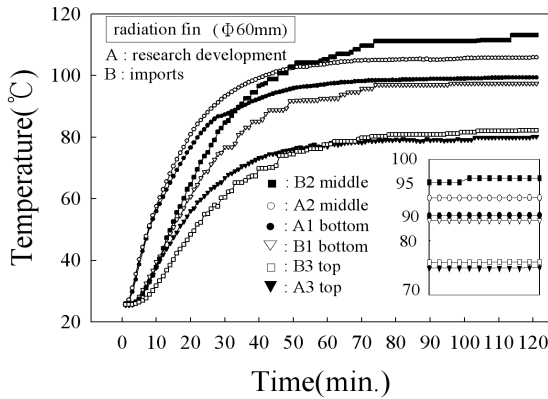


Fig. 10. Temperature distribution of radiation fin.

에서 113분에 113.1°C로 상승하였다. 또한 상부지점 B3은 25.7°C에서 115분에 82.2°C까지 상승하는 것을 알 수 있다. 여기서 방열핀의 온도를 측정할 이유는 히트파이프 방열부인 헤드부와 방열핀과의 내부 접촉 부분 사이에서 접촉저항(contact resistance)이 발생함으로써 히트파이프의 성능이 우수함에도 불구하고 실제로 수조로 충분한 열이 전달되어지지 못하는 경우가 많기 때문이다. 이러한 접촉저항을 가능한 최대한 줄일 수 있는 방법을 모색하는 것도 중요한 것으로 판단되어진다.

Fig. 11에 A와 B의 경우의 각 방열핀의 최대온도를 나타내었다. 본 그림에서 방열핀 B는 방열핀 A보다 특히 중간지점의 온도가 높은 것이 관측되어진다. Fig. 9에서 관측된 바와 같이, 히트파이프의 온도는 B보다 A의 경우가 모든 경우에 대해 높게 관측되었음에도 불구하고 B의 방열핀의 경우가 높은 온도를 나타내고 있다. 이것은 본 연구대상의 태양열집열기의 히트파이프와 방열핀 사이에 발생하는 접촉저항이 비교대상에 비해 크다는 것을 의미한다. 즉 본 연구대상 태양열집열기의 집열효율을 더 높이기 위해서는 히트파이프 헤드부와 방열핀 사이의 접촉저항에 의한 집열손실을 더 줄여야 할 필요가 있는 것을 나타내는 것으로 판단된다. 위의 결과는 본 실험뿐만 아니라 유사한 태양열집열기를 적용하여 운수를 생산하는 경우에 반드시 주의해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

태양열집열기의 형상변화 및 접촉저항에 따른 집열효율을 조사하기 위하여 단일진공관 태양열집열기

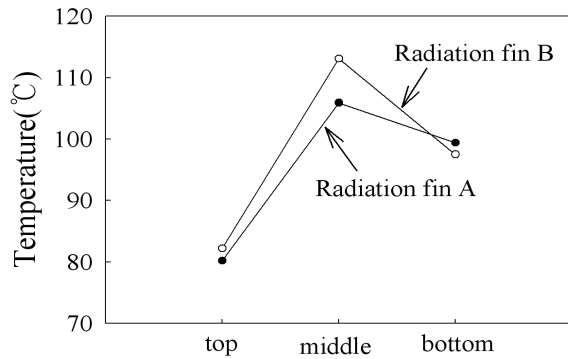


Fig. 11. Comparison of maximum temperature depending on radiation fin.

에 대한 실험을 수행하였다. 이를 위해 태양열집열기의 히트파이프 및 방열핀의 온도를 각각 측정하여 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연구 대상의 단일진공관식 태양열집열기는 수입 이중진공관 태양열집열기보다 수조 내의 온도가 약 9.5°C 높게 나타난다. 이것은 방열핀 및 히트파이프의 성능에 기인한다.
2. 본 실험장치에서 히트파이프 최고온도의 차이로부터 태양열집열기 외경의 형상변화에 따라 집열효율이 변화한다.
3. 히트파이프의 크기 및 성능에 최적인 태양열집열기의 형상이 있으며, 이것은 히트파이프와 태양열집열기 외경사이의 거리와 관계가 있다.
4. 본 연구대상 태양열집열기의 히트파이프의 온도가 비교대상의 온도보다 높음에도 불구하고 방열핀에서의 온도는 낮다. 이것은 연구대상의 히트파이프 헤드부와 방열핀 사이의 접촉저항이 비교대상보다 크다는 것을 나타내며, 즉 집열효율을 높이기 위해서는 태양열 집열기의 여러 부분의 성능개선뿐만 아니라 접촉저항에 의한 집열손실도 감소시켜야 한다.

후 기

이 논문은 2014년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. 임홍탁, 김신, “후발국 신재생에너지 기술개발의

- 동력 : 한국의 신재생에너지 기술개발 사업사례 연구”, 한국에너지공학회, Vol. 20, No. 4, pp. 267-277, 2011.
2. 박종찬, 이석호, 이충구, “마이크로 세라믹 욱을 사용한 루프 히트파이프의 특성 연구”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 31, No. 10, pp. 823-831, 2007.
 3. 오승진, 현준호, 김남진, 이윤준, 천원기, “비유리식 진공관의 진공도가 집열관의 열적 특성에 미치는 영향”, 한국태양에너지학회, Vol. 28, No. 3, pp. 67-73, 2008.
 4. 김철영, 남명식, 곽희열, “태양열 집열기에 사용되는 구리-유리관 접합기구”, 한국세라믹 학회, Vol. 38, No. 11, pp. 1000-1007, 2001.
 5. 정의국, 부준홍, 곽희열, “물-에탄올 혼합물을 작동유체로 하는 진공관형 태양열 집열기용 히트파이프의 작동특성”, 한국태양에너지학회, Vol. 28, No. 5, pp. 78-84, 2008.
 6. 김용, 서태범, 강용혁, “진공관형 태양열 집열기의 열성능 해석”, 한국태양에너지학회, Vol. 23, No. 2, pp. 43-49, 2003.
 7. 곽희열, 윤환기, 유창균, 강용혁, 전홍석, 한귀영, “태양열 집광형 집열기의 열성능 연구”, 태양에너지, Vol. 16, No. 4, 1996.
 8. 김인환, 허남수, 김만석, 이정언, “PTC와 평판형 태양열집열기의 성능평가 비교 연구”, 한국태양에너지학회, Vol. 30, No. 6, pp. 28-33, 2010.
 9. 정원복, 정의국, 장혁, 부준홍, 곽희열, “진공관형 태양열집열기용 히트파이프 개발 연구”, 한국태양에너지학회 추계학술대회, pp. 80-85, 2005.