

진동세관형 히트파이프를 이용한 태양열 집열기 개발에 관한 기초연구(I)

- 작동유체의 내부 충전율과 경사각도의 영향-

김태훈[†] · 김종수* · 하수정** · 임용빈**

Study on development of Solar Collector using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe

Tae-hoon Kim, Jong-soo Kim and Soo-jung Ha, Yong-bin Im

Key Words : Oscillating Capillary Tube Heat Pipe(OCHP : 진동세관형 히트파이프), Charging ratio(충진율), Inclination angle(경사각), Effective thermal conductivity(유효열전도율)

Abstract

Recently solar energy is representative in the technology development and spread of alternative energy. Specially in condition of solar collectors, they have had very various shape. This paper reports experimental study about the application of Oscillating Capillary Tube Heat Pipe to flat-plate solar collector. In conclusion, overall temperature distribution of OCHP was investigated by charging ratio and inclination angle. Respective charging ratio is 15%, 20%, 40% and respective inclination angle is horizontal, 30°, 45°, 60°, perpendicular. As a result of experiment, charging ratio 20% heat pipe has shown the most uniform temperature distribution and also performance of heat transfer has been the best.

기호설명

λ_{eff} : 유효열전도율[W/mK]

T_{eva} : 히트파이프 증발부 온도[K]

T_{cond} : 히트파이프 응축부 온도[K]

L : 증발부와 응축부 사이의 평균거리[m]

Q : 히트파이프의 방출열량[kcal/h]

A : 히트파이프 내부표면적[m²]

1. 서론

최근 국제적으로 유가 상승 추세에 대응하기 위하여 연료의 안정적인 확보 대책 및 온실가스(CO₂) 배출 규제에 관련된 환경 문제 대두로 인해

대체 에너지 기술 개발과 보급, 확산에 관한 중요성이 강조되고 있는 실정이다.^{(1),(2),(3)}

대체 에너지 중 태양 에너지의 경우 그 양과 질적인 면에서 무한하며, 무공해인 에너지원일 뿐만 아니라 비교적 적은 연구개발 비용과 짧은 개발 기간에 실용화가 가능한 분야 중의 하나이다.⁽⁴⁾

그러나 기존의 화력, 원자력 발전 등에 비해 발전 단가가 높고 집열기의 제작 공정이 어려움으로 인해 초기 투자금액이 높아 이용 분야가 인공위성 또는 외딴 지역 등으로 한정되어 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 태양열 집열기의 효율성 향상 및 초기 시설 투자 비용 절감, 다양한 설계 조건을 충족시킬 수 있는 초열전도 소자인 진동형 히트파이프를 이용한 태양 집열기의 제작에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다. 즉 히트파이프의 설치 경사각과 충전율에 따른 히트파이프 전체의 온도분포를 통해 적용가능성을 판단하고자 하는 것이다. 본 연구에 사용하기 위해 제작된 OCHP는 Fig. 1과 같이 양 옆에 외경 4.0 mm, 내경 2.8 mm 인 OCHP의 증발부가 삽입되어 전열면적을 넓힐 수 있도록 홈이 파진 사각형의 수배

[†] 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

E-mail : tae82000@hanmail.net

TEL : (051)620-1502 FAX : (051)611-6368

* 부경대학교 기계공학과

** 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

관용 동관을 제작하여, 그 홈에 양쪽 각각 피치가 50 mm, 길이가 300 mm 인 17 턴의(34 단)의 OCHP 를 루프형으로 제작하여 사각형 수배관의 홈에 삽입 후 납으로 용접하였다. OCHP 는 작동유체를 충전하기에 앞서 내부를 로터리 펌프(RP)와 디퓨저 펌프(DP)로 이루어진 고진공 시스템으로 5.0×10^{-5} torr 까지 진공시켰고, 작동액의 충전에는 냉매충전 실린더를 사용하여 작동유체로는 메탄올을 충전하였다. 그러나 본 연구에 사용된 히트파이프는 일반적으로 바닥난방에 사용되는 것으로 수평모드 일 때 그 작동이 우수하지만⁽⁵⁾, 집열기에 적용하기 위해서는 경사각에 따른 그 성능이 입증되어야 한다. 즉, 히트파이프 전체적으로 온도가 고르게

분포하는지에 대해서 실험을 통하여 알아보아야 한다. 그러므로 본 실험에서는 히트파이프의 경사각에 따른 성능을 조사하기 위하여 각 냉매 충전율을 40%와 20%, 15%로 달리하여 그 각도도 수평뿐만 아니라 30°, 45°, 60°, 수직모드에 대해서 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 OCHP 를 중심으로 구성되며, 세부적으로 열원부, 계측부, 제어부, 시험부로 구성되었다. 열원부로는 300~353 K 의 열원을 공급하기 위하여 항온조(HTM-300-CBN-28-30)가 사용되었으며, 계측부는 다점의 온도를 측정하기 위하여 데이터로그(yokogawa DR-230)와 이와 인터페이스를 위한 PC 로 구성되어 있다. 또한 제어부는 원활한 유량을 공급하기 위한 순환펌프가 있고, 시험부는 OCHP 와 그 각도를 조절할 수 있는 받침대로 구성되었다.

2.2 실험방법

2.2.1 온도측정

가열에 필요한 충분한 온도를 얻기 위해 항온조(3 KW)를 실험에 사용하였다. OCHP 의 성능과 온도분포를 알기 위해 T 형 열전대를 상부(TOP)에 8 점, 중간지점(MID)에 8 점, 하부(BOT)에 8 점을 각각 히트파이프의 응축부와 증발부에 부착하였고, 수배관의 입구와 출구에 각각 부착하였다. 여기서 TOP 은 히트파이프가 각도가 주어질 때 위로

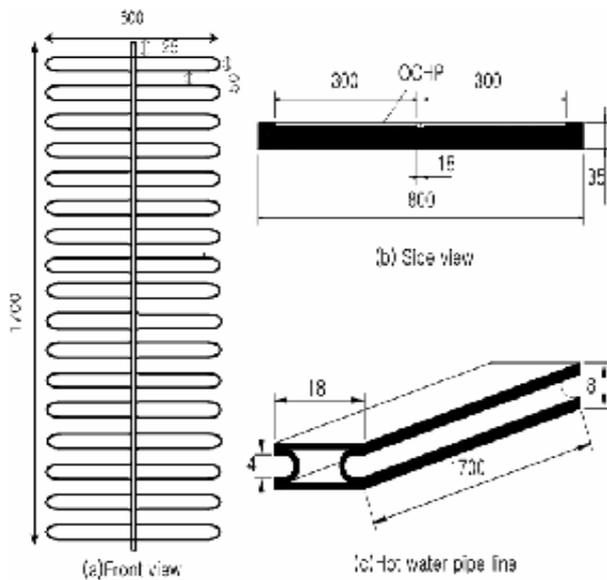


Fig. 1 Schematic diagram of OCHP

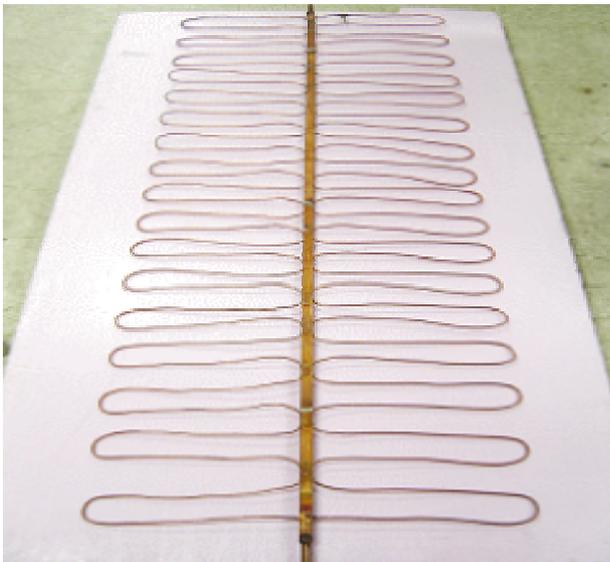


Fig. 2 Photograph of OCHP

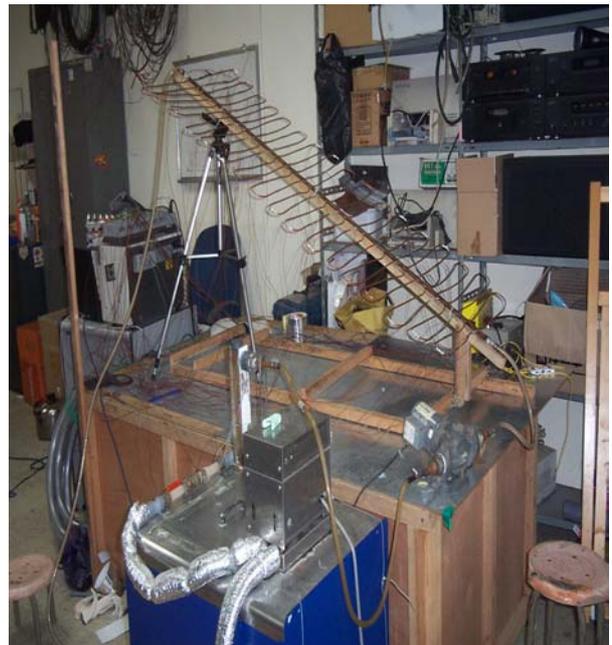


Fig. 3 Photograph of test section

올라 가는 쪽이며, BOT 은 그 반대 쪽인 아래부분을 의미한다. 즉, 물이 아래에서 위로 흐를 때 입구쪽이 BOT, 출구쪽이 TOP 이 되고, 그 중간지점이 MID 가 되는 것이다. 그리고 실내온도에 따라 영향을 받는지도 알아보기 위하여 T 형 열전대를 실내공기에 노출시켜 그 온도를 측정하였다. 이렇게 부착한 열전대는 직접 데이터로그(yokogawa, DR-230)와 연결되어 매 20 초 간격으로 10 시간 측정하여 PC 에 모든 측정값을 받아 프로그램 상에서 평균온도를 구하여 처리하도록 하였다. 본 실험에 사용된 열전대는 항온조에서 표준온도계로 보정하였으며, 온도측정에서의 편차는 보정값에 대하여 $\pm 0.2 K$ 정도로 나타났다.

2.2.2 유량 측정

항온조에서 경사에 따라 일정한 유량을 공급해 주는지 확인하기 위하여 체적식 유량계를 이용하였으며, OCHP 의 입구로 들어가는 부분은 일정한 온수를 공급하기 위하여 순환펌프를 연결하였다. 유량은 5 l/min 으로 일정하게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

진동세관형 히트파이프의 내부 충진율 및 경사각에 따른 온도분포를 알아보기 위해 온수 유량은 5 l/min 으로 일정하게 하고, 내부 충진율 40%에서 경사각 30°, 45°, 60° 그리고 수직모드에 대해서 TOP, MID, BOT 의 온도를 측정하여 비교하였고, 마찬가지로 내부 충진율 20%와 15%에서 같은 방법으로 실험하였다.

3.1 내부 충진율 40%에서 경사각에 따른 온도분포

동일한 조건에서 OCHP 는 조밀한 세관 간격에서 수평모드(Fig. 3, Fig. 8, Fig. 13)일 경우 거의 균일한 온도분포를 나타내지만, Fig. 6 에서 Fig. 9 에서 보듯이 내부 충진율 40%인 경우 경사각에 따라 각 측정점의 온도가 고르게 분포하지 못함을 보이고 있다. 특히 하부(BOT)의 온도가 가장 많은 차이를 보이고 있다. 이는 중력에 의하여 히트파이프 내부 작동액 및 증기포의 불규칙적인 루프내 순환과 축방향 진동이 제대로 이루어지지 못하고 있기 때문에 일어나는 현상으로 보여진다.⁽⁶⁾ 그러나 특이하게도 수직 모드(Fig. 7)의 경우에는 측정 초기에는 하부(BOT)의 온도가 현저히 낮더니 시간이 지남에 따라 상부(TOP)와 중간지점(MID)온도로 상승하여 유지되고 있다. Fig. 4 에서부터 Fig. 8 은 내부 충진율 40%에서 각도 변화에 따른 히트파이프의 온도분포를 나타낸 그

래프이다.

3.2 내부 충진율 20%에서 경사각에 대한 온도 분포

내부 충진율 20%인 경우는 충진율 40%인 경우 보다 동일 조건에서 전체적으로 온도 분포가

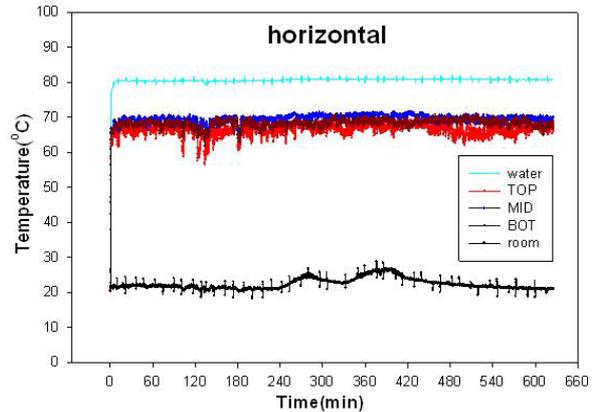


Fig. 4 충진율 40% - 수평모드

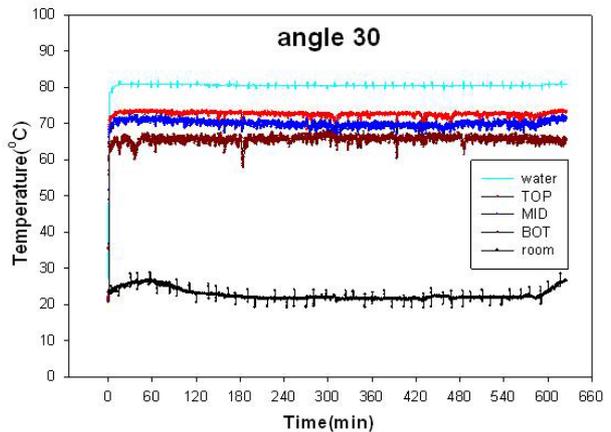


Fig. 5 충진율 40% - 경사 30도

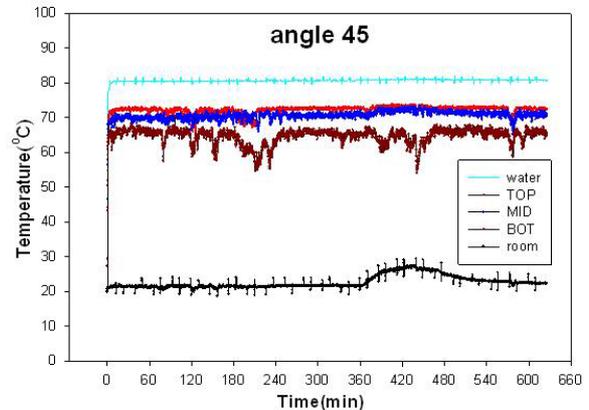


Fig. 6 충진율 40% - 경사 45도

고르게 되어 열전달이 잘 일어나는 것으로 나타났다. 그래프에서 나타나듯이 TOP, MID, BOT 의 세 온도곡선이 모두 겹쳐서 일정하게 유지되고 있다. 이는 충전율 20%가 충전율 40%보다 작동액의 질량이 작으므로 중력의 영향을 훨씬 덜받기 때문인 것으로 볼수있다.

Fig. 9 에서 Fig. 13 은 충전율 20%에 대해서 각 도변화에 따른 히트파이프의 온도분포를 나타낸 그래프이다.

3.3 내부 충전율 15%에서 경사각에 대한 온도 분포

내부 충전율이 15%일때는 내부 충전율이 40%일 때보다 전체적으로 온도분포는 고르지만, 충전율 20%와 비교해서는 경사도가 높아질수록 40%와 마찬가지로 하부(BOT)의 온도가 상부와 중간부분의 온도보다 낮아지고 있음을 보이고 있다. 이는 루프내의 작동액이 히트파이프 내부 부피에 비해 충전율이 작아 전체적으로 고르게 퍼지지 못함을 나타낸다. 즉, 40%보다는 루프내의 작동액과 기포가 순환이 잘되지만, 20%보다는 충전율의 부족으로

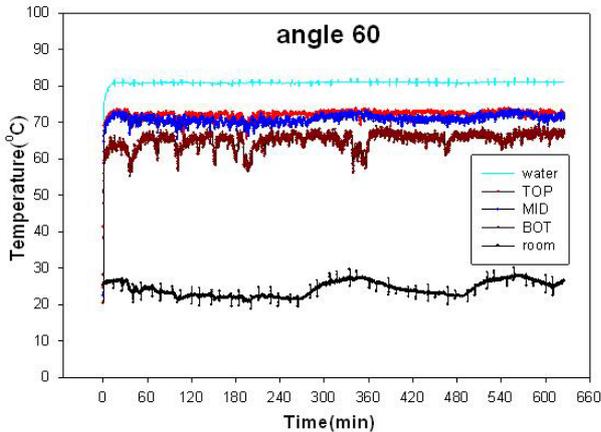


Fig. 7 충전율 40% - 경사 60 도

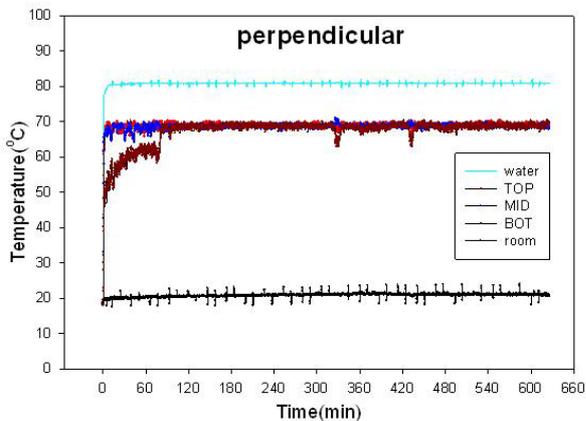


Fig. 8 충전율 60% - 수직모드

전체적인 온도분포가 고르지 못하다는 것이다. 이는 온도는 고르게 분포하지만 15%가 가지는 열 용량이 20%와 비교해서 작다는 결론이 나온다.

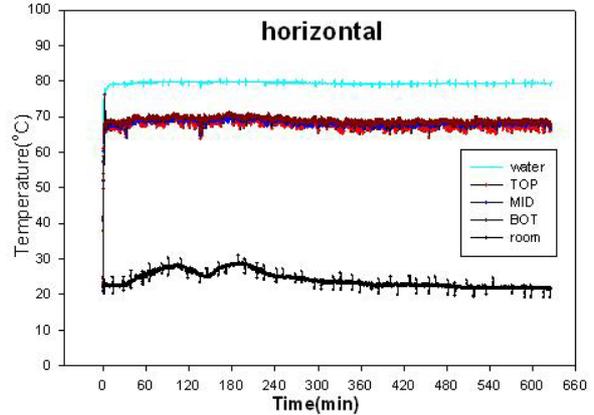


Fig. 9 충전율 20% - 수평모드

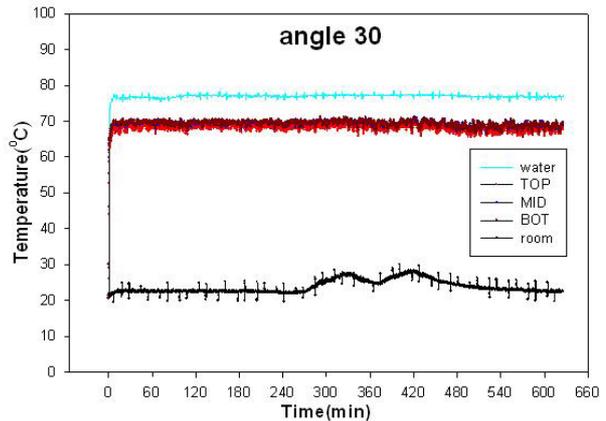


Fig. 10 충전율 20% - 경사 30 도

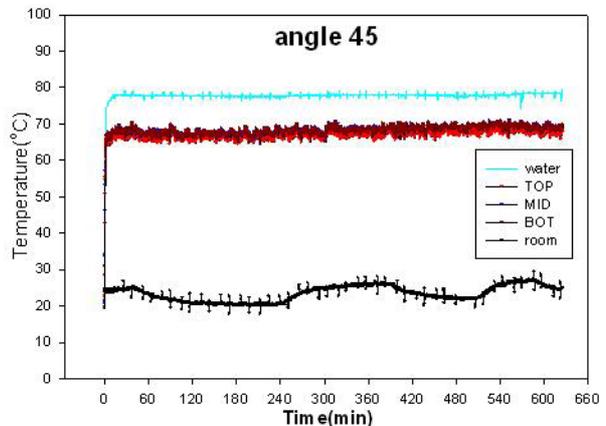


Fig. 11 충전율 20% - 경사 45 도

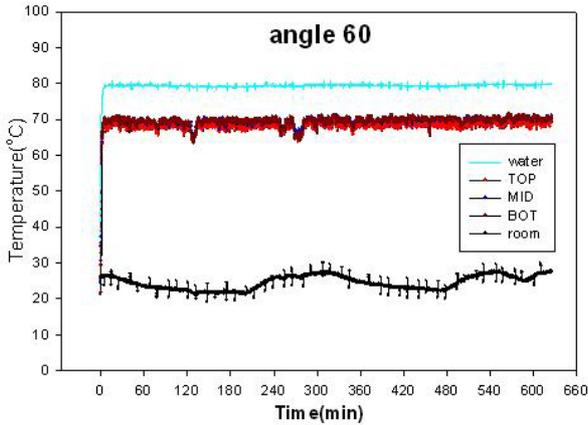


Fig. 12 충전율 20% - 경사 60도

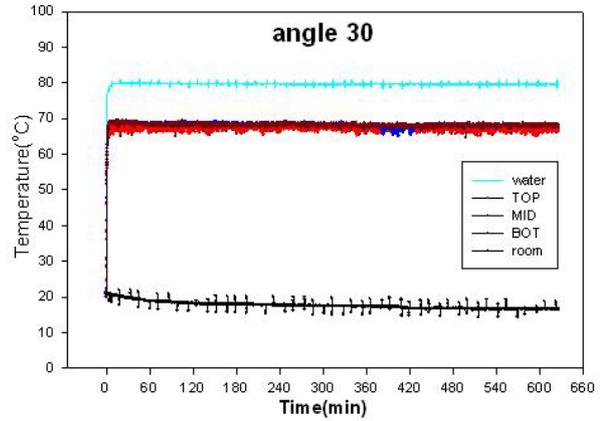


Fig. 15 충전율 15% - 경사 30도

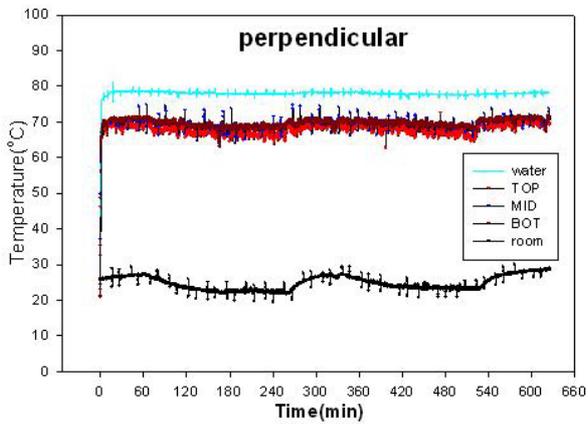


Fig. 13 충전율 20% - 수직모드

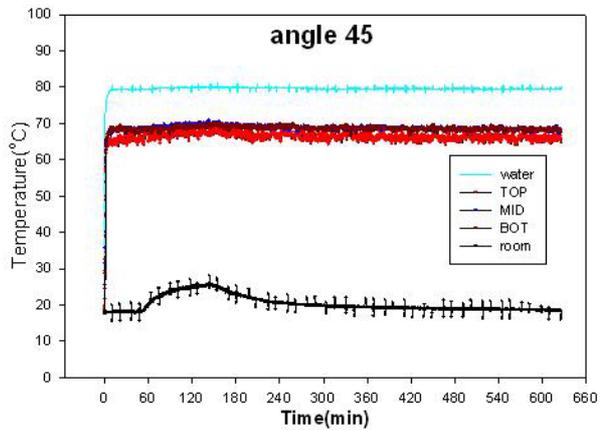


Fig. 16 충전율 15% - 경사 45도

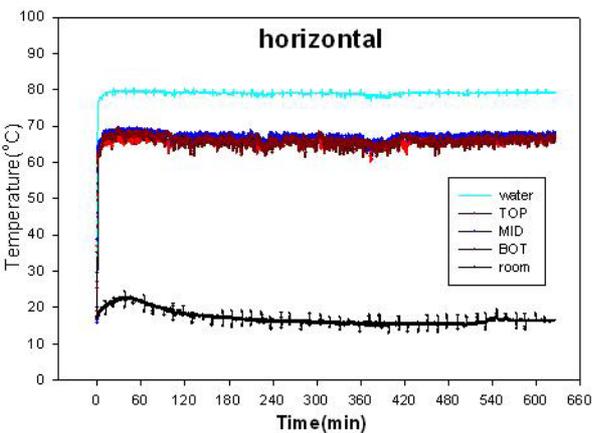


Fig. 14 충전율 15% - 수평모드

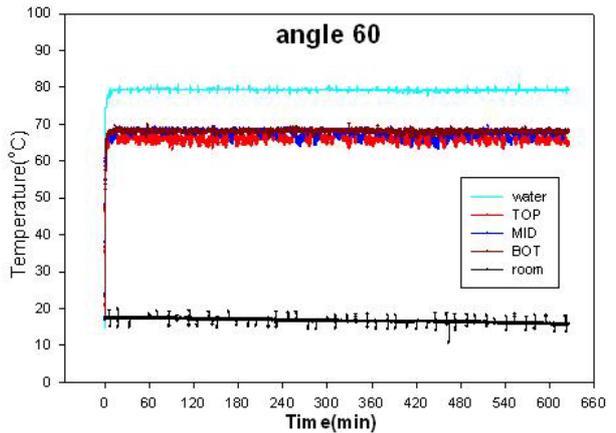


Fig. 17 충전율 15% - 경사 60도

Fig. 14 에서 Fig. 18 은 충전율 15%에서의 경사각에 따른 온도분포를 나타낸 그래프이다.

3.4 유효열전도율
일반적으로 진동형 히트파이프의 성능을 나타내는

지표로 유효열전도율을 사용한다. 유효열전도율이라는 것은 열전달에서 고체의 열전도율에 상응하는 물성치로서 진동 세관형 히트파이프를 통한 열전달을 모두 작동유체에 의해 일어난다고 가정하고 고체에서의 전도도의 개념을 도입한 것이

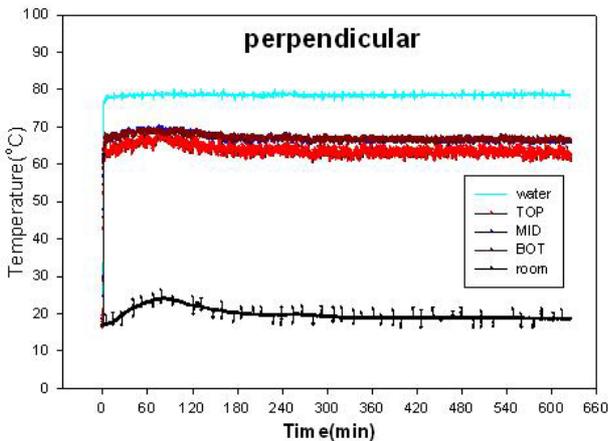


Fig. 18 충전율 15% - 수직모드

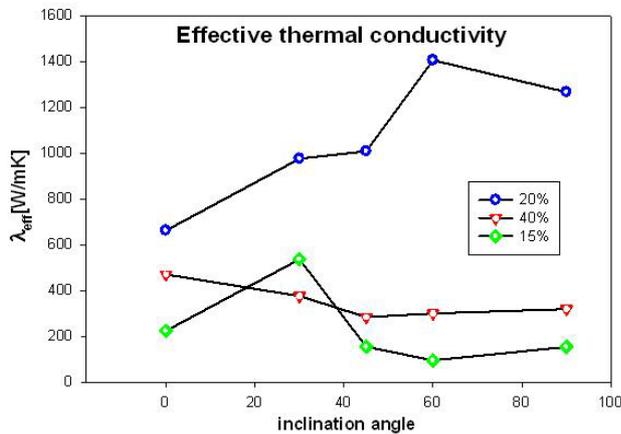


Fig. 19 Effective thermal conductivity

유효열전도율이다.

물질의 고유 물성치인 열전도율은 온도에 대한 함수로써 결정되지만 진동세관형 히트파이프에서의 유효열전도율은 함수 관계가 훨씬 복잡하다. 즉, 용기의 재질, 작동유체의 종류 및 충전율, 경사각도 등에 따라 달라지게 된다.⁽⁷⁾

유효 열전도율은 식(1)에 의하여 산출하였다.

$$\lambda_{eff} = \frac{L \cdot Q}{A \cdot (T_{eva} - T_{cond})} \quad (1)$$

그 결과로 Fig. 19의 유효열전도율에서 보듯이 충전율 20%가 40%와 15%보다 각 경사각에서 우수한 성능을 나타내고 있다. 충전율 20%와 40%, 15%의 유효열전도율은 각각 1063 W/mK, 350 W/mK, 232 W/mK로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 진동세관형 히트파이프(OCHP)를 이용해 기존에 사용되고 있는 태양열 집열기에 대한 적용 가능성을 알아보았다. 그 결과를 통해 최적의 경사도와 충전율을 알아내어 태양열 집열기 개발에 적용하고자 하였다. 일반적으로 태양열 집열기가 적용되는 최적의 각도인 30~60°에 대한 진동형 히트파이프의 성능은 내부 충전율 20%가 40%와 15%보다 전체적으로 온도 분포가 고르게 나오고, 히트파이프의 평가 지표인 유효열전도율에 있어서도 충전율 20%가 전체적으로 우수하였으므로 집열기에 적용에 있어서 가장 바람직하다.

후기

본 논문은 한국과학재단 지정 부경대학교 친환경첨단에너지기계연구센터의 지원(과제번호 : R-12-2003-001-00001-0)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1)곽희열, 2003, 진공관형 태양열 집열기술, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 2, No. 1, pp. 24~31
- (2) Kim, J. H., Kim, S. S., Choi, B. S., Hong, Hiki, 2003, Verification Experiment for 6kW Water Heating System, Proceedings of the SAREK 2002 Summer Annual Conference, pp. 170-175
- (3) Ji, M. K., Lee, Y. H., Shin, J. H., Jeong, H. M., Chung, H. S., 2002, Study on the Performance of Evacuated Glass Tubes solar collector with Heat Pipe, Proceedings of the SAREK 2002 Summer Annual Conference, Vol. 1, pp. 58-63
- (4) Jo, D. K., Choi, I. S., 1998, A Study on the optimal Installation Angle of Solar Absorber Plates in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 18, No. 2, pp. 69-89
- (5) Ko, S. B., 2002, Master thesis of Pukyong National University, pp. 26-44
- (6) Lee, W. H., 2000, Doctor thesis of Pukyong National University, pp.18-29
- (7) Ha, S. J., 2003, Master thesis of Pukyong National University, pp. 41-44