

R141b를 이용한 루프 세관형 히트파이프의 열전달특성

김훈⁺, 하승만⁺, 김탁용⁺, 전경환⁺, 최재혁⁺⁺, 윤석훈⁺⁺

Heat Transfer Characteristics of Loop Type Capillary Heat Pipe using R141b as a Working Fluid

Hoon Kim⁺, Sung Man Ha⁺, Tag Yong Kim⁺, Kyung Whan Jeon⁺, Jae Hyuck Choi⁺⁺
and Seok Hun Yoon⁺

Abstract : This paper has been carried out to investigate heat transfer characteristics of loop type capillary heat pipe using R141b as a working fluid. In an experiment heat load are changed from 50W to 250W and the temperature of cooling water is fixed to 20°C. The heat pipe is composed of 10 turns and outer diameter of heat pipe is 3.2mm. The results show that heat transport rate of this type heat pipe using R141b as a working fluid is good.

Key words : Heat Transfer Characteristics(열전달특성), Loop Type Capillary Heat Pipe(루프 세관형 히트파이프), Cooling Water(냉각수), Working Fluid(작동유체)

1. 서론

히트 파이프란 밀폐용기 내부의 작동유체가 연속적으로 기액 간의 상변화 과정을 통하여 용기 양단 사이에 열을 전달하는 장치로, 별도의 외부 동력 없이 잠열(latent heat)을 이용하여 열을 이동시킴으로서, 단일 상(single phase)의 작동유체를 이용하는 통상적인 열전달 기기에 비해 매우 큰 열전달 성능을 발휘한다. 이러한 우수한 열전달 성능으로 인하여 히트 파이프는 대형 플랜트에서의 폐열회수 등의 산업용 및 공조용 열교환기, 전기/전자장치의 열 제어 수단, 위성체나 우주선의 냉각용 등 아주 다양한 분야의 열이송 장치로 사용되고 있다. 히트 파이프는 중력을 이용하는 썬모 사이폰과 위크(wick)라는 다공성 물질의 모세관 현상에 의하여 응축액을 증발부로 환류시키는 전형적인 형태가 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 히트파이프는 자세의 제한, 위크로 인한 초소형 히트파이프의 제작 곤란, 모세관 한계 등의 각종 한계, 위크의 막힘 현상으로 인한 성능 저하 등의 여러 단점 때문에 작동에 많은 제한을 갖고 있다.

본 연구의 대상인 루프 세관형 히트 파이프(Loop Type Capillary Heat Pipe)는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 작동유체를 충전한 직경이 매우 작은 관이 가열부와 냉각부를 수회 이상 왕복하는 구조로 되어 있다. 이 히트 파이프는 관 내의 가열부에서 발생하는 증기의 기포가 급격히 팽창한 후 단열부와 냉각부를 거치는 과정에서 축소되거나 파괴되고, 이러한 현상으로 인하여 작동유체에 압력파의 파동이 발생하여 작동액과 기포군이 관 내부를 순환하거나 축방향 진동을 일으켜 열전달을 촉진시킨다.¹⁾⁻³⁾ 이러한 작동원리로 인하여 본 히트 파이프는 위크가 필요 없으므로 구조가 간단하여 기존의 히트파이프보다 소형으로 제작이 가능하고, 구조가 단순하므로 제작단가가 저렴하다. 그러므로 본 히트 파이프가 실용화 될 수 있다면 기존의 히트 파이프가 가지고 있는 단점을 보완할 수 있는 획기적인 열이송 장치가 될 것이며, 특히 소형 경량화가 필요하고 무엇보다도 작동의 내구성과 신뢰성이 요구되는 인공위성 등의 위성체 열 제어용으로 사용될 수 있을 것이다.

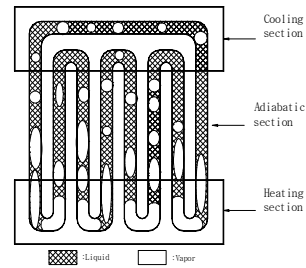


Fig. 1 Structure of Loop Type Capillary Heat Pipe

루프 세관형 히트 파이프에 관한 연구는 약 10여 년 전 그 가능성이 발표된 이후, 일부 연구자들에 의해 기초연구가 진행되고 있다. 前沢 등⁴⁾은 내경 2.0mm, 1.0mm 의 동(銅)파이프와 R142b를 작동액으로 하여 본 히트 파이프 내부 거동을 연구하였다. 이 연구를 통하여 관 내경이 작을수록 관 내부의 거동은 더 복잡한 카오스 형태가 된다는 결과를 발표하였다. 또한 최⁵⁾ 등은 물을 작동유체로 한 직경 3mm의 루프 세관형 히트 파이프의 열전달특성과 관내 기포류의 거동에 관한 연구를 수행하였다.

지금까지 몇몇 연구자들에 의하여 루프 세관형 히트파이프의 기본 성능특성에 관한 연구들을 진행하고 있으나 아직까지 실용화의 단계에는 이르지 못하고 있는 실정이며, 본 연구에서는 물보다 점도가 매우 작은 R141b(물의 점도:693.7, R141b의 점도: 392 μ Pas)를 이용한 연구를 통하여 점도 차이가 히트 파이프의 작동특성에 미치는 영향 등을 구명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험장치의 개략도이다. 본 히트 파이프의 작동액으로는 물보다 점도가 매우 낮은 R141b를 사용하였고, 외경 0.0032m, 내경 0.002m의 동 파이프를 이용하여 제작하였으며, 가열부 10턴(10 turns)과 냉각부 9턴 등 총 19턴이 되도록 구

+ : 한국해양대학교 기관시스템공학부, 051-410-4288

++ : 한국원자력연구소

성하였다.

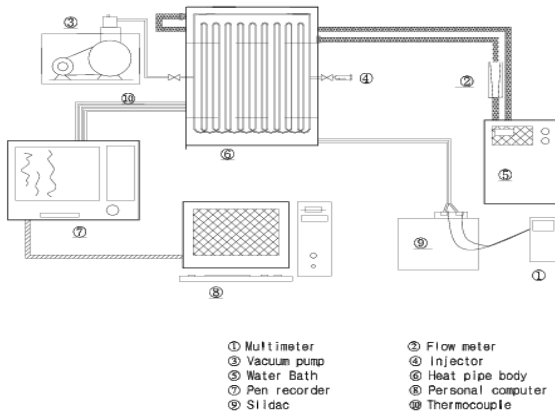


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 실험방법

본 실험에서는 히트파이프 작동액의 충전율을 $\alpha=50\%$ 로 고정하였으며, 가열부의 가열량은 $Q=50 \sim 250W$ 로 하였다. 실험 중 히트 파이프의 각부 온도의 측정은 C-A 열전대를 사용하였으며 냉각수 입구온도는 정밀 항온조에서 $20^\circ C$ 로 조절하여 냉각부에 공급하였으며 냉각수량은 $2 \sim 3l/min$ 로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.3은 가열부하가 $200W$ 일 때 각 부분의 온도를 나타낸 것이며, Fig.4는 부하의 증가에 따른 가열부 온도를 나타낸 그림으로서 부하의 증가에 따라서 점차적으로 가열부 온도가 증가하고 있으나 $250W$ 이상에서는 작동한계에 도달하여 정상적인 작동이 불가능하였다.

또한 Fig. 5는 가열부와 냉각부의 온도차에 따른 가열부하의 크기를 나타낸 그림으로 $250W$ 까지는 가열부하에 비례하여 온도 차이가 발생하고 있다.

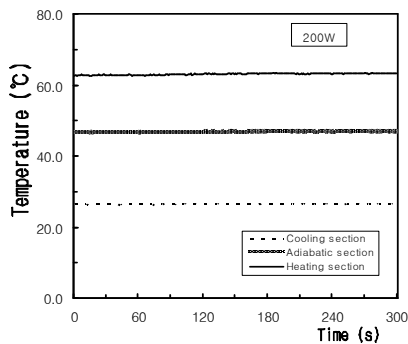


Fig. 3 Temperature of each section at heat load of $200W$

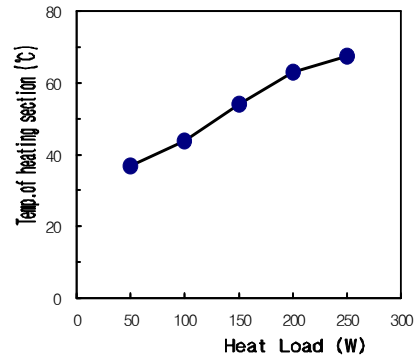


Fig. 4 Temperature variation of heating section

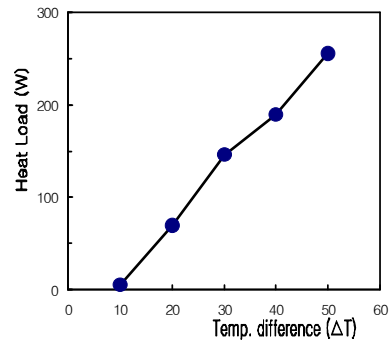


Fig. 5 Temperature difference as heat load

4. 결론

물에 비하여 점도와 비열이 매우 낮은 R141b를 루프 세관형 히트파이프의 작동유체로 적용한 실험을 통하여 이의 열전달 성능을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 하여 직경이 매우 작은 루프 세관형 히트파이프의 개발과 에너지 밀도가 매우 작은 대체에너지의 이용에 적용될 수 있는 히트 파이프의 개발이 가능할 것으로 생각되며 이를 위한 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Hisateru Akachi, "Structure of a Heat Pipe," United States Patent, Patent no. 4921041, 1990
- [2] 赤地久輝, "루프형細管히트파이프," 일본 공개특허공보(A), 昭63-318493, 1988
- [3] 小泉尚夫, "冷却装置および温度制御装置," 일본공개특허공보(A), 평4-20788, 1992
- [4] 前沢三郎, 和泉智水, 赤地久輝, 魏啓陽, "루프형振動히트파이프의 카오스 실험," 제35회 일본전열심포지엄 강연논문집, pp. 275~276, 1998
- [5] 최재혁, 윤석훈, "루프형 세관 히트 파이프의 열전달 특성에 관한 연구," 대한기계학회 논문집 B권 제24권 제3호, pp. 346~353, 2000