

Z자 형상을 갖는 히트파이프에 대한 열성능 연구

박수용*·부준홍**

A Study on the Thermal Performance of a Z-shaped Heat Pipe

Park, S. Y. and Boo, J. H.

Key Words: heat pipe, Z-shape, bend angle, thermal performance, optimum fill charge

Abstract

The necessity of a Z-shape heat pipe may occur in a special application such as a cooling module for an electronic equipment having a limited accessible space. Either of the two end part works as evaporator or condenser and the length of the middle part is 200mm. The heat pipe was made of 3/8 inch copper tube having 60 spiral groove with screw angle of 10 degrees. Water and acetone were used as working fluids. The fill charge ratio of the working fluid was varied for different values of thermal loads. The thermal resistance was calculated based on the temperature measurements along the heat pipe axis. The maximum thermal loads were 80W for water and 100W for acetone heat pipe. The optimum fill charge ratio was identified through a series of experiments.

1. 서 론

히트파이프를 이용하여 전자장비나 통신장비를 냉각할 때, 장비의 배치 특성상 그 형태를 변형해야 하는 경우가 종종 있다. 현재 사용되고 있는 노트북용 히트파이프의 경우는 발열 칩(chip)들을 경유하기 위해 90° 정도의 굽힘각을 가지고 배치되어 있고^[1], 다른 통신 장비에 적용된 경우도 증발부와 응축부가 일직선상에 놓여있지 않는 경우가 종종 있다. 또, 발열부가 일정 주기를 가지며 진동하거나, 증발부와 응축부의 위치에 가변성을 획득하기 위해 파이프의 일부가 구부러질 수 있는 flexible 히트파이프에 대한 연구들도 수

행되고 있다. 이들 연구를 살펴보면, Hauser et al.^[2]은 U자형태로 구부러져 힘을 받은 알루미늄-알루미늄 히트파이프를 제작하였다. 구부러진 부분은 스테인리스 스틸로 제작되었으며 내부에 아티리 워를 가지는데, 최대 열부하 200W까지 실험하였다. 부준홍^[3]등도 내부에 복합 스크린 워를 가지는 길이 800mm의 flexible 히트파이프를 제작하였고, 충전률 115%, 구부림각 90° 에서 최대 125W의 열부하를 공급할 수 있었다. Shimizu^[4]는 증발부와 응축부는 구리이고, 단열부가 되는 꺾이는 부분은 벨로우즈 타입 스테인리스 파이프를 이용하여 길이 830mm 히트파이프를 제작하였다. 내부에 카본 화이버 아티리 워를 삽입하였고, 굽힘각에 대한 영향을 알아보았다. 수직으로 서 있는 히트파이프의 증발부를 진동시켰으며, 증발부와 응축부의 기울기를 수직을 기준으로 0° 에서 135° 까지 45° 씩 기울여가며 실험하였다.

본 연구는 종래의 물순환을 이용한 액체 냉각 방식을 채택하던 장치를 히트파이프를 이용한 공

* 한국항공대학교 대학원

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

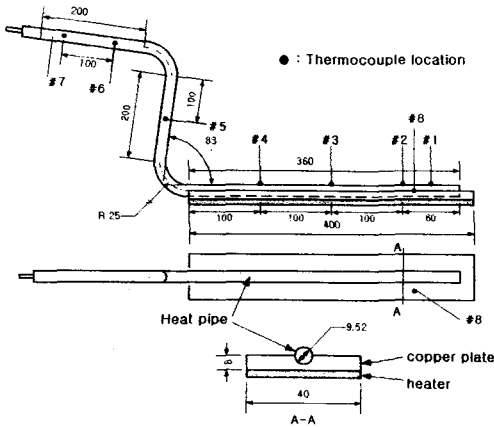


Fig. 1 Schematic of the heat pipe

냉식 장치로 교체하고, 설치공간을 최소화하기 위해 적합한 히트파이프를 제작하고 초기 열성능 실험을 수행한 것이다. 냉매로 물을 순환시켜 장치를 냉각시키는 방식을 히트파이프식 냉각장치로 바꿀 경우, 기존 수냉각 방식에서 필요로 하는 수조나 펌프, 냉각기 등이 차지하는 부피를 크게 줄일 수 있다.

실험은 단일본 히트파이프에 대해 수행되었고, 이후 이를 최종 설계의 기초 데이터로 이용하였다. 실험은 히트파이프 한 개가 설계요구 온도내에서 담당할 수 있는 최대 열성능을 측정하는 것을 목적으로 하였다. 히트파이프는 장비의 부품 배치상 두 번 굽혀진 'Z'자' 형상으로 결정되었다. Fig. 1은 실험에 사용된 히트파이프의 개략도이다.

2. 실험 장치

히트파이프는 몰-구리와 아세톤-구리로 제작되었다. 사용된 파이프는 내부에 기울기 10°의 나선 그루브(groove)가 60개 있는 직경 9.52mm(3/8")의 구리재질이다. 히트파이프의 증발부는 350mm와 150mm 두 종류로 만들어졌으며, 단열부와 증발부는 83°의 각을 가지고 꺾여 있다. 단열부와 응축부는 다시 90°의 각을 가지며, 단열부와 응축부는 각각 200mm이다. 최종 응축부는 수평에서 7° 상향으로 놓이게 된다.

히트파이프 벽면에 모두 7개(증발부:4, 단열

부:1, 응축부:2)의 열전대를 부착하였고, 냉각수 입출구에 각각 1개씩, 그리고 히터 뒷면의 구리블럭에도 열전대를 부착하여 히터와 히트파이프와의 온도차를 측정하였다.

히트파이프의 증발부와 접촉면을 넓히고 안정된 열을 공급하기 위해 400(L)×40(W)×8(T)의 구리블럭을 이용하였다. 블럭의 아래쪽에 판형 히터를 고정시키고, 그 사이에 그리스를 칠해 열저항을 줄였다. 블럭의 뒷면에는 파이프 외경과 동일한 홈을 파고 파이프가 반쯤 묻히게 한 후 이를 고정하였다.

3. 실험 방법

히트파이프 증발부 길이 변화에 대한 성능을 알아보기 위해 응축부가 350mm와 150mm인 히트파이프에 대해 실험하였다. 히트파이프의 작동유체는 증류수와 아세톤 두 종류를 이용하였으며, 작동유체의 충전률을 증발부 체적기준 20%에서 80%까지 20%씩 증가시켜가며 실험하였다. 실험은 증류수를 사용하였을 때는 최대온도 200℃, 아세톤을 사용한 경우 130℃까지 수행하여 작동유체의 물성변화를 방지하였다^[5]. 작동유체의 양은 파이프 내경을 8.8mm, 증발부를 350mm로 하였을 때 100%가 21.3cc, 증발부 150mm인 경우가 9.1cc 이다. 결과는 컴퓨터를 이용하여 기록하였고, 사용된 장비와 프로그램은 Translation 사의 DT2837과 HP Vee4.0 이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 작동유체로 물을 사용한 경우

Fig. 2는 증발부 350mm 히트파이프에 대해 측정된 열성능치를 나타낸 그래프이다. 첫 번째 막대(㉑)들은 작동유체의 한계온도에 도달하거나, 드라이아웃(dryout)이 발생하기 이전의 최대 공급 열부하를 보여준다. 충전률이 20%에서 80%까지 변함에 따라 최대 열부하는 60W, 100W, 130W, 300W로 급격히 증가하였다. 충전률 20%에서는 80W를 공급하였을 때 드라이아웃(dryout) 현상이 발생하였으나, 충전률 40% 이상에서는 증발부 끝단 온도가 상승하여 작동 한계온도에 도달한 것

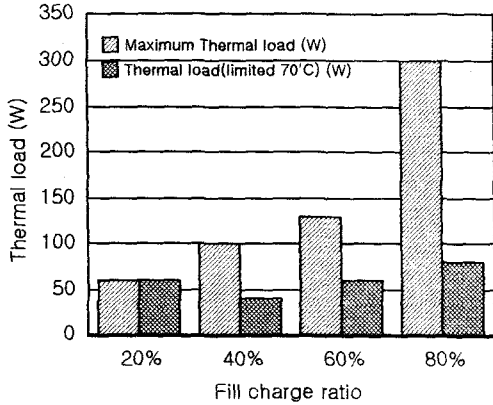


Fig. 2 Thermal load against filling charge ratio in a water heat pipe of evaporator length 350mm

이다. Fig. 2의 두 번째 막대(☒)들은 히트파이프의 증발부 평균온도를 70°C로 제한했을 때 공급할 수 있는 최대 열부하이다. 70°C는 장비의 허용 설계요구 온도이다. 허용 열부하는 충전률이 20%씩 증가할 때마다 60W, 40W, 60W, 80W로 변화하였다. 예를 들어, 충전률 80%일 때 80W 열부하에서 증발부 평균온도는 65°C이었다.

실험에 사용된 히트파이프의 온도분포는 크게 두가지 상태로 나타났다. 첫 번째는 열부하 증가에 따라 히트파이프에 드라이아웃 현상이 발생하여 더 이상 작동하지 않는 것이고, 다른 하나는 열부하 증가에 의해 최고 작동온도가 작동 한계 온도에 도달하는 것이다. Fig. 3과 4는 이러한 온

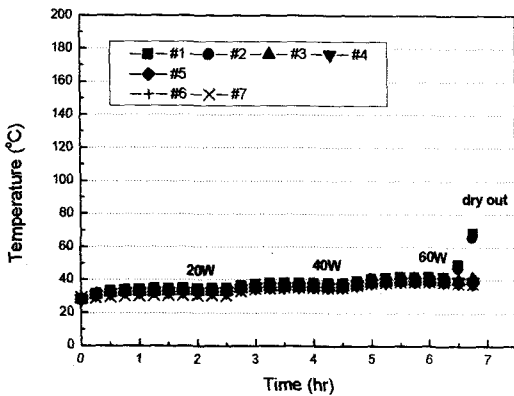


Fig. 3 Temperature for 20% fill charge ratio

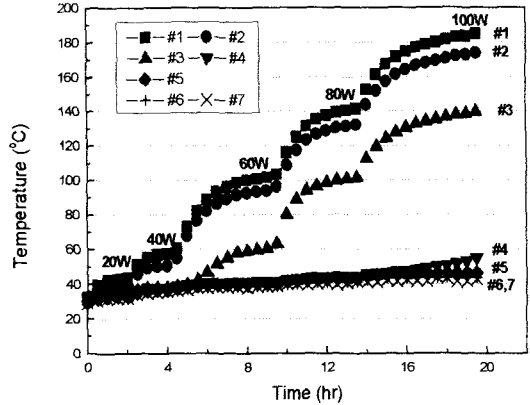


Fig. 4 Temperature for 40% fill charge ratio

도분포를 보여주고 있다. 작동유체의 충전률이 20%인 경우, 60W의 열부하까지 안정된 온도분포를 보였으나, 80W를 공급하였을 때 드라이아웃이 발생하여 실험을 중단하였다. 그러나 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 충전률 40%인 경우에는 열전대 #1과 #2의 온도가 꾸준히 상승하여 100W 열부하에서 최고온도 185°C가 측정되었다. 이 경우 60W 열부하에서 증발부 온도가 20% 충전한 히트파이프보다 높게 나타났다. 이런 온도 분포는 60%와 80%에도 유사하게 나타났다.

Fig. 5는 증발부의 길이가 150mm로 짧은 히트파이프에 대한 충전률별 최대 열부하이다. 증발부 길이가 짧은 히트파이프의 경우에 충전량 주

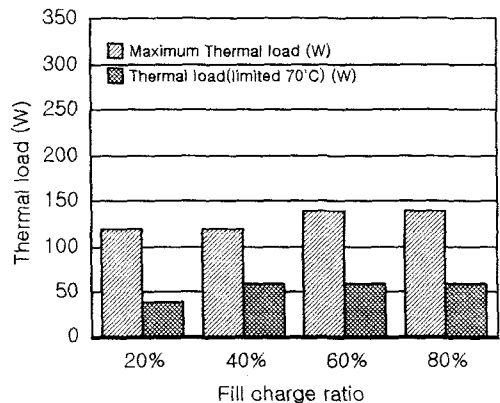


Fig. 5 Thermal load against filling charge ratio in a water heat pipe of evaporator length 150mm

입을 내부체적 기준으로 하였음에도 불구하고, 350mm 히트파이프에서 관찰된 드라이아웃은 나타나지 않았다. 충전량이 20%에서 80%까지 증가함에 따라 모두 증발부 끝단 온도상승으로 인한 작동 한계온도 도달로 인해 실험을 중단하였다. 먼저 한계온도까지의 최대 열부하를 보면 20%에서 80%까지 충전률 변화에 따라 120W, 120W, 140W, 140W로 증발부가 긴 히트파이프와 비교하여 적은 충전률에서는 증가하였고, 많은 충전률에서는 오히려 감소한 것을 볼 수 있었다. 특히 작동유체 충전률이 적을수록 증발부 끝단의 온도가 다른 곳의 온도에 비해 큰 값을 보이는데, 충전률 20%과 열부하 120W 조건에서 열전대 #1과 #2의 온도는 각각 152℃와 61℃로 91℃의 차이를 보인다. 그러나 충전률이 60%와 80%이고 열부하 120W 인 경우에는 열전대 #1과 #2의 온도차가 각각 81℃, 71℃로 줄어들었다.

Fig. 6은 충전률 80%이고, 증발부가 150mm인 히트파이프에 대한 온도분포 그림이다. 그림에서 열전대 #1과 #2의 현격한 차이를 확인할 수 있다. 그림에서 (+)와 (×) 기호로 표현된 P1과 P2의 온도분포는 히트파이프를 고정하고 있는 구리판 윗면의 온도를 나타낸 것이다. P1은 #1에서 우측으로 10mm 떨어진 곳에 놓여 있으며, #1의 온도에 비해 최대 25℃ 선형하여 증가한다. 그러나 #2에 인접한 P2는 이보다 큰 온도차를 보여준다. 따라서, 히트파이프와 모듈이 놓이게 될 보드(board)와의 온도차를 고려하여 설계에 반영해야 할 것이다. 그림을 보면 작동유체가 귀환하는 단

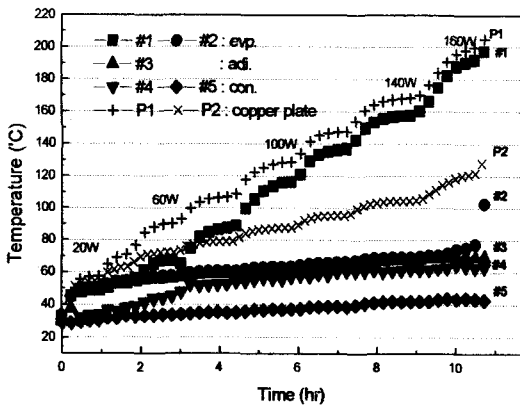


Fig. 6 Wall temperature variation of a water heat pipe for 80% fill charge ratio

열부 다음의 #2의 온도는 응축부의 온도와 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 증발부 길이가 350mm인 히트파이프 온도분포인 Fig. 4에서도 #4의 온도가 단열부 온도와 차이를 보이지 않는 것으로 확인할 수 있는데, 일반적인 히트파이프의 경우 보이지 않는 증발부 온도차가 이 형태에서 나타나는 것이다.

4.2 작동유체로 아세톤을 사용한 경우

아세톤을 작동유체로 사용한 것은 아세톤의 작동온도 범위가 장비의 작동 상한 온도인 70℃를 포함하고 있기 때문이다. 물을 사용한 히트파이프와 동일한 형태로 제작하여 실험하였다.

Fig. 7은 증발부 길이 350mm인 히트파이프에 대한 실험결과이다. 첫 번째 막대(□)는 아세톤의 한계 작동온도인 130℃까지 공급된 열부하를 나타낸다. 충전률이 증가함에 따라 최대 열부하도 같이 증가하는데, 충전률 20%에서는 40W의 한계 열부하를 보였으나, 충전률이 40%, 60%, 80%로 증가함에 따라 한계 열부하도 100W, 100W, 170W까지 증가하였다. 두 번째 막대(▨)들은 히트파이프의 최대 작동 온도를 70℃까지로 하였을 때 공급할 수 있는 열부하를 보여준다. 충전률 20%인 경우는 40W 이상을 공급하면서 최고온도가 70℃에 도달하였으나, 충전률이 증가함에 따라 모두 100W의 열부하를 보여주고 있다. 충전률 40%와 60%에서 두 열부하가 같은 것은 120W를 공급하였을 때 열전대 #1의 온도가 급격히 상승하여 120℃를 초과했기 때문이다.

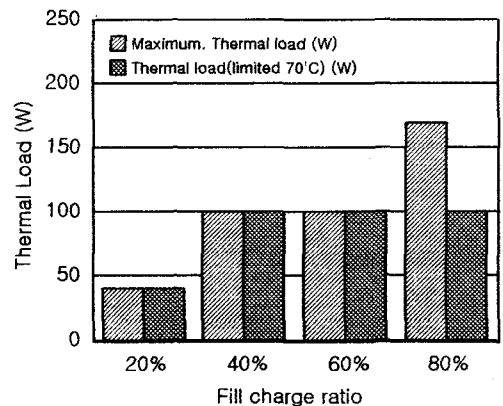


Fig. 7 Thermal load against filling charge ratio in an acetone heat pipe of evaporator length 350mm

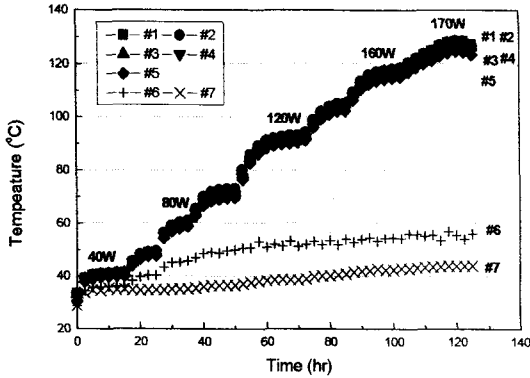


Fig. 8 Wall temperature variation of a water heat pipe for 80% fill charge ratio

Fig. 8은 충전률 80%, 증발부 350mm에서 열부하 증가에 따른 온도분포를 대표적으로 보여주고 있다. 아세톤을 사용한 경우 #1에서 #5 까지 T/C의 온도차가 나타나지 않는데 이는 모든 충전률에서 관찰되었다. 하지만 여전히 응축부의 온도 #6과 #7은 증발부나 단열부 온도와 큰 차이를 보여준다.

히트파이프의 증발부가 150mm 일 때는 작동유체 충전률에 무관하게 최대 60W의 열부하를 이송하였으며, 80W의 열부하에서 열전대 #1의 온도가 모두 130℃를 초과하였다. 작동유체로 물을 사용한 히트파이프도 증발부가 150mm인 경우 한계 열부하와 작동온도 70℃ 이하에서의 최대 열부하가 충전률에 큰 영향을 받지 않음을 볼 수 있다. 이는 짧은 증발부 길이로 인해 증발부 끝의 온도 상승이 상대적으로 낮아지기 때문이다.

5. 결론 및 토의

기존에 수냉각 방식을 사용하던 통신장비 냉각을 공냉식 히트파이프로 대체하기 위해 실험을 수행하였다. 부품의 배치를 위해 히트파이프는 'Z'자 형태를 가지게 되었으며, 허용 최고 온도 70℃를 설계요구조건으로 하였다.

1. 작동유체로 물을 사용한 경우, 증발부 350mm의 단일 히트파이프가 감당할 수 있는 열부하는 설계 요구조건을 기준으로 최대 80W였다. 증발부가 150mm로 짧아지면 허용 온도에서

처리할 수 있는 최대 열부하는 60W로 감소하였다.

2. 작동유체로 아세톤을 사용한 경우, 증발부 350mm에서 히트파이프는 설계 요구조건을 기준으로 최대 100W의 열량을 이송하였다. 그러나 증발부가 150mm 인 히트파이프에서는 열부하가 60W로 감소하였다.

3. 작동 상한온도를 70℃로 하였을 때, 물을 사용한 히트파이프의 경우 충전량 증가가 열부하 증가로 나타났으며, 충전률 80%에서 80W의 열부하를 나타내었다. 아세톤을 사용한 히트파이프 역시 충전률 80%에서 최고 100W의 열부하를 이송하였다.

참고문헌

- (1) Mochizuki, M., Nguyen, T., Mashiko, K., Saito, Y., Wuttijumngong, V., and Sauciu, I., 2000, "Advanced Cooling Systems Using Miniature Heat Pipes In Mobile PC", 6th International Heat Pipe Symposium, Chiang Mai, Thailand, pp. 69-72.
- (2) Hauser, A and Supper, W., 1997, "Design, Manufacturing and Testing of a Flexible Heat Pipe", 10th IHPC, B-7.
- (3) 부준홍, 윤석철, 1998, "Flexible Heat Pipe의 열성능 특성에 관한 실험적 연구", KSME 춘계학술대회논문집 B, pp.933-938.
- (4) Shimizu, A., 1999, "A Flexible Heat Pipe with Carbon Fiber Arterial Wick", 11th IHPC, Vol.2, pp.119-123.
- (5) Faghri, A., 1995, *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor & Francis