

루프형 히트파이프 냉각성능에 관한 연구

Cooling Performance Evaluation of Loop Type Heat Pipe

김 봉 환*, 김 경 훈**
B. H. Kim, K. H. Kim

ABSTRACT

According to the improvement of PC performance, it is expected that calorific value, which causes PC to malfunction, is increased. Therefore, the development of new cooling system is recently required. As the method to solve this problem, we applied loop heat pipe to PC cooling system. The advantage of the loop heat pipe is that it has a small size, light weight, simple shape, long life and it has a good performance on heat transfer, no-noise, wide range of applicable temperature and no supply of power from the outside. It is confirmed that loop heat pipe reduces thermal resistance and has a good performance on PC cooling.

주요기술용어 : LHP(루프형 히트파이프), Thermosyphon(써모사이폰), Wick(wick), Phase-change (상변화), Liquid-Pool (액체풀)

Nomenclature

L : Lenth of Heat Pipe, cm
Q : Heat flux, W
V : Voltage, V
A : Current, A
W : Heating Power, W
T : Temperature, °C

1. 서 론

최근 개인용 컴퓨터(Personal Computer)가 소형화, 고속화 및 고용량화로 성능이 향상됨에 따라 CPU, 그래픽카드(VGA)에서 발열량이 증가되고 있다. CPU 발열량은 꾸준히 증가되어 66 MHz 486급 경우에 발열량은 4W 정도였으나, 300~900 MHz 펜티엄급의 경우에는 10~18W, 펜티엄 III의 경우 약 30W이며⁽¹⁾, 펜티엄 IV의 경우 70W로 향후 수년 이내에 CPU클럭스는 수 GHz급으로 향상 할 것으로 예상되고 있으며 이

* 회원, 경희대학교 대학원

** 회원, 경희대학교 기계, 산업 시스템
공학부

와 더불어 발열량과 소음이 매우 증가 할 것으로 보인다⁽²⁾.

이와 같은 고용량 전자칩에서 발생하는 많은 열은 제품의 신뢰성 및 성능을 결정하는 중요한 인자로 작용한다. 전자칩은 허용온도를 초과할 경우 클럭 스피드 저하 오작동 및 고장 발생률이 급격히 증가한다. 따라서 향후 출시될 고용량의 전자칩의 경우 열 해결이 절실히 요구되어지며 고용량의 전자칩을 보다 효율적으로 냉각시킬 수 있는 새로운 형태의 냉각방식개발이 필요한 실정이다. 또한 발열량의 증가와 더불어 히트싱크의 크기와 성능이 크게 증가함으로써 소음 또한 증가하고 있다⁽³⁾.

이러한 열문제와 소음을 해결할 방안으로 히트파이프가 주목을 받고 있으며, 최근 노트북 PC는 초소형 히트파이프를 적용하여 출시되고 있다⁽⁴⁾. 반면, 데스크탑의 경우 히트파이프의 적용이 구조상 어렵기 때문에 히트파이프를 장착한 PC는 극히 드물다. 본 연구는 기존 히트파이프를 응용한 루프형 히트파이프를 고안하여 루프형 히트파이프를 데스크탑 PC에 적용하기 위하여 루프형 히트파이프의 냉각성능을 실험적으로 산출하는 것이 본 실험의 목적이다.

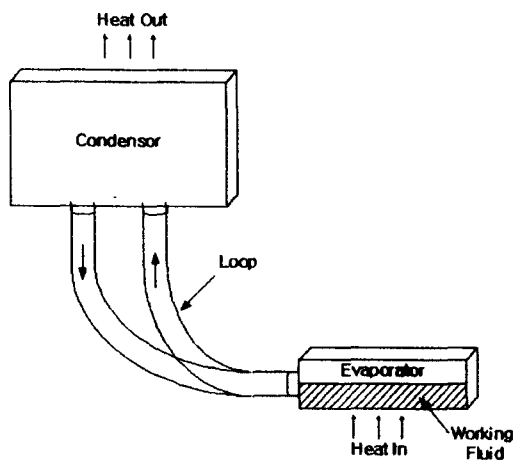


Fig 1. Schematic of Looped Heat Pipe

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 루프형 히트파이프 제작

Fig. 1은 루프형 히트파이프의 개략도를 나타낸 것으로, 일반 써모사이폰(Thermosyphon)과 히트파이프(Heat Pipe)의 구조와 같이 크게 증발부(Evaporator), 단열부(Adiabatic), 응축부(Condenser) 그리고 작동유체(Working Fluid)로 구성되어 있으며 작동유체로 채워진 증발부에서 열을 받아 작동유체가 기화하여 단열 루프(Loop)를 통하여 응축부로 열을 가지고 이동한 후 응축부에서 열을 방출하여 기화되었던 작동유체는 다시 액화되어 단열 루프(Loop)를 통하여 증발부로 귀환하는 과정을 반복한다. 루프히트파이프는 Wick이 있는 히트파이프의 단점인 유동저항과 열저항을 줄일 수 있고, 또한 모세관한계 및 비등한계에 의한 열수송 억제제를 완화할 수 있을 뿐만 아니라 Wick의 삽입과정이 없어 생산과정이 단순하며 생산원가도 낮출 수 있다.

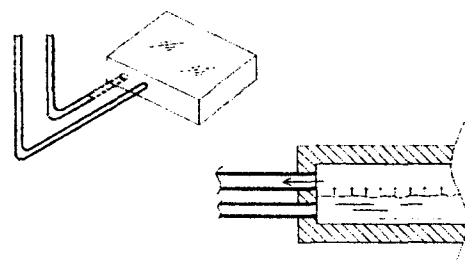


Fig. 2 Produce of evaporate container

Fig. 2의 증발부 용기는 가로 3.8cm, 세로 3.8cm, 높이 1.0cm의 알루미늄 용기로 작동유체의 귀환용 루프, 입구관 연결부, 증기 출구관 연결부로 크게 나누어져 있으며 작동유체 접촉면이 넓게 가로면으로 작동하면 더욱 효과적이다. 작동유체가 흐르는 통로인 루프는 아크릴 관으로 꼬이지 않도록 나란하게 응축부에 연결되어야 하고, Fig. 3 응축부 용기의 제작시 유의할 사항은 증기관은 용기 속에서 증기를 분출하도록 설계되

어 가로 10.0cm, 세로 8.0cm, 높이 1.0cm의 알루미늄 용기로 제작되었으며 응축관은 용기 하부에서 응축수가 모이기 적합한 곳에 위치하여 응축용기에서 증발잠열을 방출하고 액화된 응축냉매를 중력에 의해 증발부 용기로 루프를 통하여 흐를 수 있도록 준비하는 곳이다.

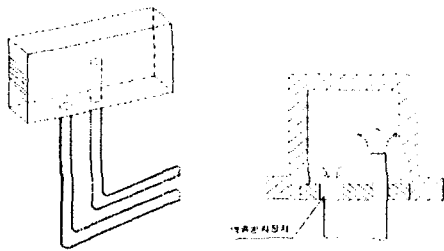


Fig. 3 Produce of condensate container

2.1.2 실험장치 구성

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 4에 나타내었다. 실험장치는 증발부와 응축부로 이루어진 루프형 히트파이프 시스템과 데이터 수집 및 저장 시스템으로 구성 되어있다. 실험장치의 증발부는 전압조절기와 판(plate) 히터(heater)로 전압 110V에서 220V 까지 전압을 변화시킬 때 판(plate) 히터의 발열량은 26W에서 99W까지의 상관 관계를 Table 1에서 전압, 전류, 발열량 상관관계 변화표를 통하여 실험할 수 있었다.

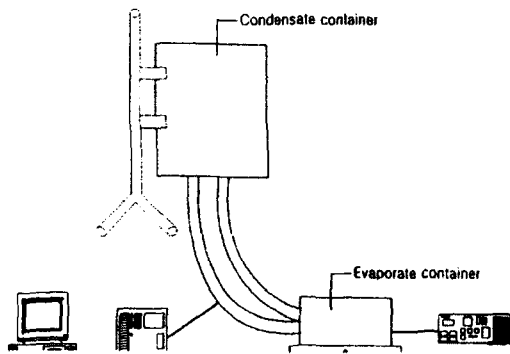


Fig. 4 Schematic of experimental apparatus

Data 취득은 HP 75000 E1401B를 이용하여 각 지점의 온도변화를 10초마다 데이터 입력 PC에 저장하였다. 실험의 정확한 온도 측정을 위하여 항온항습 시설이 되어 있는 온열환경실에서 실험을 실시하였다.

Table. 1 Condition of Personal Computer

Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
110.1	0.236	26
120	0.256	31
130	0.276	36
140	0.296	42
150	0.316	47
160	0.335	54
170	0.355	61
180	0.375	68
190	0.394	75
200.1	0.413	83
210	0.433	91
220	0.451	99

3. 실험결과 및 검토

3.1 루프형 히트파이프 구성요소 결정

앞에서 고안한 최적의 루프형 히트파이프를 설계하기 위하여 선행되어야 할 사항은 적절한 냉매량과 그리고 최적의 루프 길이이다. 먼저 증발부와 응축부의 크기는 개인용 컴퓨터내의 부속기기 성능에 영향을 미치는 CPU, 그래픽 카드의 발열열을 가장 효과적으로 흡수할 수 있는 가로 38mm, 세로 38mm로 정하였다. 이 크기가 효과적인 크기인 이유는 CPU의 크기가 가로, 세로 50mm이며 VGA 크기가 가로, 세로 25mm 이므로 CPU 및 VGA 두 가지 부품을 공용으로 사용하기 위하여 효과적인 크기로 정하였다.

3.2 작동유체 선정

작동유체로는 용기의 재질과 공존성의 문제가 없을 것이 우선이어야 하므로 용해점, 비등점 그리고 임계점 등을 고려하여 작동온도가 액체의 용해점(melting point)이상 비등점(boiling point)이하에 들도록 해야하므로 저온용으로 작동범위가 273K ~ 500K인 물, 아세톤, 에탄올⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 등이 적당하지만 환경친화적인 것을 고려하여 프레온 계통의 냉매를 사용하지 않고 Table 2에서 검토한바와 같이 대체냉매인 HCFC-123을 선정하였다.

Table 2 Substitute Refrigerant

화합물	비등점 (°C)	대기수명 (년)	ODP	GWP
HCFC22	-40.8	20	0.05	0.34
HCFC123	27.5	2	0.02	0.02
HCFC124	-12.0	8	0.02	0.10
HCFC141b	32.0	11	0.10	0.09
HCFC142b	-9.2	27	0.06	0.36

3.3 작동유체 주입량 결정

본 루프형 히트파이프에 적합한 적절한 작동유체 주입량을 선정하기 위하여 40%, 50%, 60%의 냉매를 주입하여 다음의 작동유체 주입량에 따른 열전달 특성을 실험하여 다음의 결과를 얻었다.

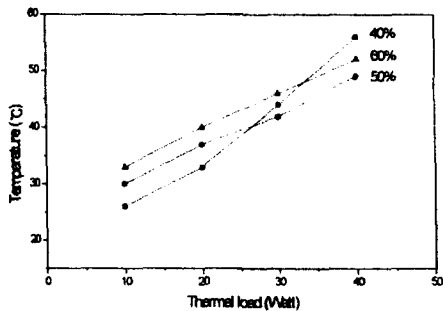


Fig. 5 Variation of evaporator temperature

60%의 작동유체 주입은 전 범위에서 50% 작동유체 주입 때보다 작동 온도가 약간 높게 측정되었으며 40%의 작동유체 주입은 저발열량때에는 낮게 나타났으나 발열량이 많아질수록 작동온도가 급격하게 높아지는 것으로 예비실험 결과 알 수 있었다. 따라서 Fig. 5 같이 운전 가능한 영역에서 안정적인 작동을 하는 증발부 체적의 50%를 작동유체 최적 주입량으로 결정하였다.

3.4 루프길이 결정

루프의 길이는 너무 짧으면 증발부에서 흡수한 열을 응축부에서 충분히 배출하지 못하고 순환하는 일이 일어날 수 있다. 그렇지만 루프가 너무 길어질 경우는 작동유체가 응축부와 증발부의 압력차에 의해 이동되지만 유동저항의 증가로 순환 유동이 어려워질 수 있다. 작동유체가 증발부와 응축부 사이를 순조롭게 순환하지 못할 경우 루프형 히트파이프 성능에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 최적의 루프 길이는 루프형 히트파이프가 장착되는 개인용 컴퓨터의 냉각 대상 부품인 CPU 및 그래픽 카드와 방열판으로 사용될 개인용 컴퓨터 고정용 덮개를 최단거리로 연결할 수 있는 길이인 175mm와 약간 여유가 있는 185mm, 충분히 여유가 있는 195mm로 실험을 실시하였다. Fig. 6은 루프길이 175mm, 185mm, 195mm에서의 입열량에 해당하는 증발부 온도변화를 나타낸 그래프이다.

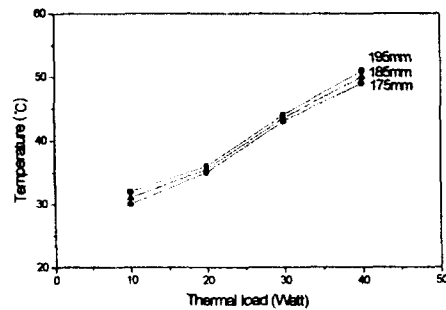


Fig. 6 Evaporator temperature variation according to loop length

Fig. 6 의 실험 결과에서 보여진 바와 같이 루프길이 10mm의 차이는 열수송 능력에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 실험 결과 알 수 있었다. 본 연구에서 사용될 루프형 히트파이프가 장착될 개인용 컴퓨터에 설치가 적합하고 최적의 길이인 175mm를 본 루프형 히트파이프의 루프 길이로 결정하였다.

3.5 실험결과 분석

루프형 히트파이프의 냉각성능을 분석하기 위하여 기초실험을 실시하였다. 응용실험에서 냉각하고자하는 대상물인 CPU 및 그래픽카드의 예상발열량에 해당하는 31W에서 99W까지 변화시키면서 증발부에서 흡수한 열을 응축부에 배출하는 루프형 히트파이프 냉각사이클을 이루는지 여부를 관찰하기 위하여 온도분포가 정상상태를 이루는가를 먼저 살펴보았다. 응축부에서 방열하는 열량 이상으로 응축부로 열이 가해지면 그 열량은 본실험에서 사용된 루프형 히트파이프의 냉각용량을 초과하는 열량으로 정상상태를 이룬 바로 직전의 열량을 한계 열량으로 실험적으로 산출하기 위하여 실험으로 선정된 한계용량내의 열용량을 발열부품 냉각용으로 사용할 수 있을 것으로 본 기초 실험에서 확인하였다.

실험에서 사용된 루프형 히트파이프의 정상 작동 상태라 함은 증발부 공급열량에 대하여 응축되는 열량이 일정하여 각지점의 온도가 더 이상 변화하지 않는 상태를 의미한다. 본 실험에서는 증발부에 열량을 공급하기 시작한 후의 약 60분 후라고 가정하여 1시간동안 실험을 실시하였다.

상기의 실험을 실시한 결과 증발부에 부착한 발열원을 31W, 42W, 54W, 68W, 83W, 99W 순으로 발열량을 변화시켜서 증가하여 실험하였으며 증발부 및 응축부의 온도변화를 측정하여 Fig. 7에서 나타내었다. 각각의

도달온도는 40℃, 47℃, 51℃, 58℃, 62℃, 75℃로서 대체로 발열량이 증가함에 따라 증발부의 온도도 증가하는 경향을 보였다. 써모사이폰의 단점 중의 하나인 초기 시동시에 간헐적인 폭발현상(geysering)도 관찰되었으나 응축부에서 응축 작동유체가 원활하게 공급되는 약 10분 후에는 모두 소멸되어 냉각성능 유지에는 지장이 없는 것으로 관찰되었다.

3.6 시동 불안정 현상

루프형 히트파이프 성능실험 중 증발부에서 초기에 온도가 갑자기 상승한후 발열량에 따라 수초에서 수분동안 급격한 온도 상승을 보이고 다시 정상상태로 되돌아가는 현상이 관찰되었다. 상기 현상은 초기 시동 불안정 현상으로써 본 루프형 히트파이프는 초기 시동 불안정 현상에 유의하여 증발부와 응축부와 분리하고 액체풀이 생기지 않도록 증발부를 가로 면으로 제작하였으나, 실험에서와 같이 초기시동 불안정 현상이 나타났고 발열량별로는, 아래 Fig. 7과 같은 특성으로 나타나는 것을 관찰하였으나 고발열량으로 갈수록 지속시간이 짧고 온도가 오히려 낮아져 부품냉각용으로는 문제가 없는 것으로 검토하였다

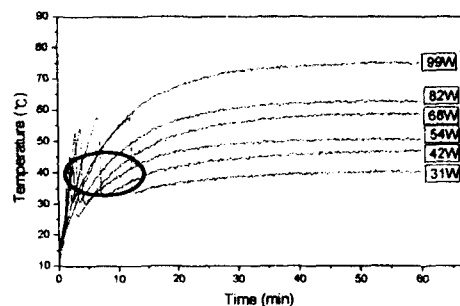


Fig. 7 Geysering of loop type heat pipe

3.7 냉각용량 선정

예상한 바와 같이 약 50분 후에는 증발부, 응축부 온도변화가 없으므로 정상상태로 볼 수 있고 모든 발열량 변화에서 정상상태가 확인되었다. 개인용 컴퓨터의 작동한계 허용온도를 70℃로 규정하고 있으나 실제 사용시 적용환경을 정확히 예측할 수 없고 본 냉각용량 실험을 외기온도 20℃에서 시행하였으므로 약 60℃의 운전온도를 Fig. 8과 같이 나타낸 열용량인 80W를 본 루프형 히트파이프의 냉각용량인 것으로 실험적으로 선정하였다.

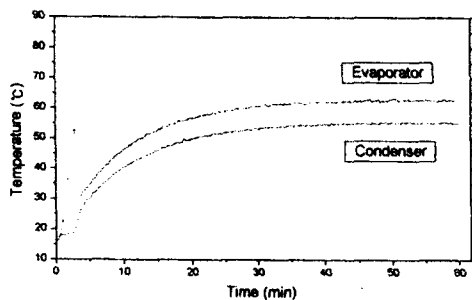


Fig. 8 Temperatures of evaporator and condenser with heating power 83W

4. 결 론

루프형 히트파이프를 고안하여 각 구성요소를 결정하는 예비실험과 발열량을 변화시켜 가면서 냉각성능을 실험을 실시한 결과 정상상태를 유지하였다. 본 연구의 결론은 3가지로 요약 할 수 있다.

(1) 루프형 히트파이프를 개인용 컴퓨터 장치에 적합하게 증발부 가로 38mm, 세로 38mm 그리고 응축부 가로 100mm, 세로 80mm로 최적화하였고 두께는 다른 부품의 간섭이 없도록 10mm로 결정하였다.

(2) 작동유체는 환경친화적인 요소와 사용

조건등을 고려하여 프레온 계통의 냉매를 사용하지 않고 대체냉매인 HCFC-123을 선정하였다. 작동유체 주입량은 안정적인 작동을 하는 증발부 체적의 50%의 작동유체를 주입하였으며 루프의 길이는 유동저항을 최소로 할 수 있는 175mm로 결정하였으며 증발부, 응축부, 역류방지장치, 루프, 작동유체로 구성하였다.

(3) 증발부에 열량 변화를 주어서 실험을 실시한 결과 80W 열량 이하에서 약 60℃ 이하의 안정적인 작동을 하는 것으로 보아 본 연구에 사용한 루프형 히트파이프의 냉각용량은 80W로 실험적으로 산출하였다.

참 고 문 헌

- 1) Azar, K., 1999, The History of Power Dissipation, Electronics Cooling, Vol. 6, No. 1, pp. 42~50
- 2) Won Tea Kim, Kyu Sub Song and Young Lee, 1998, "Design of a Two-Phase Loop Thermosyphon for Telecommunications System (1)," *KSME International Journal*, Vol. 12, No. 5, pp. 928~941
- 3) Jerime Toth, Rebert Dehoff and Kevin Grubb, Heat Pipe : The Silent Way to Manage Desktop Thermal Problem, InterSociety Conference on Thermal Phenomena, 1998.
- 4) Anurhe Gupta and Girish Upadhya, A Mode for Thermal Transport in eat Pipe with Wrapped Wire Screen Wick. ISPS 99, Proceedings, 1999
- 5) 박희열, "2성분 혼합물을 사용한 2상 밀폐 열사이폰의 작동 특성에 관한 연구", 성균관대학교 박사학위 논문, 1995
- 6) 강환국, "밀폐형 2상 열사이폰내 펄스 비등 과정에 대한 비등구조와 열전달 특성에 관한 연구", 성균관대학교 박사학위 논문, 1996