

## 전자 장비 냉각에 있어서의 분리형 써모사이펀의 적용

김지훈\*, 박신보\*, 윤정호\*, 김시범\*, 전철호\*

### The application of separate type thermosyphon for cooling of electronic equipments

J.H Kim\*, S.B. Park\*, J.H. Yoon\*, S.P Kim\*, C.H Jun\*

**Key Words :** Two Phase(이상), Looped Thermosyphon(분리형 써모사이펀), Heat Flux(열유속)

#### Abstract

A separate type thermosyphon can be utilized as a cooling device of electronic equipments (such as CPU of a personal computer or notebook). This study was carried out to investigate the cooling effect of separate type thermosyphon and to find the adequate parameters affecting the separate type thermosyphon. The heat transfer characteristics of separate type thermosyphon were obtained from experimental results. A 50×50×2 mm heat source was copied after CPU for the experiments. The results indicate that the device is capable of dissipating 60W of thermal energy and keeping the heat plate surface temperature under 50°C and the device can transfer heat from the evaporator to the condenser through natural circulation (without any external driving forces). Some transport phenomena of the working fluid and the heat transfer characteristics of the loop were observed in the experiments and are discussed in detail below.

#### 1. 서론

전자칩이 고성능화가 되면서 고집적화가 되어 전자장비의 적절한 작동에 필요한 사용전력이 증가하기 때문에 마이크로 전자장치의 발전에 있어서 냉각문제가 중요한 요소가 되고 있다. 이를 해결하기 위한 여러 가지 냉각방식 중에서 현재는 히트싱크나 팬 그리고 이를 조합한 형태의 강제 대류 냉각방식을 사용하고 있다. 제한된 작은 장소에서 방출되는 막대한 열량을 지금의 방식으로 냉각하기 위해서는 제품의 중량 및 부피가 증가하기 때문에 콤팩트화되는 현재 추세에 맞지 않고 소음과 진동 등의 문제점이 있으므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 대류를 이용한 냉각방식 보다는 좀더 효율적인 새로운 냉각방식이 필요하다. 새로운 냉각방식중 써모사이펀은 약간의 온도차로 많은 양의 열전달을 할 수 있는 두상을 가진 장치이다. 써모사이펀은 전자 장비의 냉각 태양열에너지 회수 또는 지열회수 등에 적용될 수 있고 효율적인 콤팩트 열교환기나 다른 방향으로의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 써모사이펀은 내부의 작동유체가 중력회수 방식으로 순환되므로 한쪽 방향으로의 연속적인 열전달을 요구하는 경우에 사용되는데 증발부와 응축부간의 온도차가 있을 경우에 작동하고 온도구배가 0이 되거나 응축부와 발열부가 바뀌는 경우에는 작동하지 않는다. 가장 간단한 써모사이펀은 실린더 형상이나 전자 장치에서는 얇은 판형상을 가지는 플랫폼이 널리 사용된다. 써모사이펀은 일반적으로 구리나 알루미늄

으로 만들어지고 내부의 작동유체는 작동온도범위에 맞게 여러 종류를 사용할 수 있으나 일반적인 상온에서는 물이나 아세톤, 메탄올 등을 사용한다. 단관형 써모사이펀의 냉각 능력은 높은 소비전력밀도를 가지는 전자 장치에 충분하지 않아 전자 장치의 열 제어를 하기 위한 한가지 방법으로 응축부와 증발부가 사각형 플랫폼상인 분리형 써모사이펀이 많이 사용된다. 분리형 써모사이펀은 증발과 응축과정을 반복하면서 잠열을 전달 시키므로 높은 열전달율을 가지며 단관형 장치의 낮은 작동온도, 증발부 및 응축부사이의 작은 온도차, 짧은 정상상태 도달시간 및 무게 감소 등의 장점이 있다. Miyasaka et al[1]은 증발부와 응축부간의 열전도율이 분리형일 경우 기존의 히트파이프보다 2배정도 높다는 것을 발견했고 North, Avedisian[2]은 칩표면온도를 100°C 이하로 유지시키면서 높은 열유속(30W/cm<sup>2</sup>)과 높은 국소 전력을 제거할 수 있는 2개의 히트파이프 개념을 이용한 열 모듈 디자인을 제안하였다. Hwang[3], Ali&McDonald[4] 등은 분리형 써모사이펀에서 응축부는 플러딩이 없어야 하고 증발부에서 드라이 아웃이 발생하면 안되고 기계순환튜브에서 소량의 액체만이 응축부로 운반되는 형태로 제작되어야만 최적의 성능을 가진다고 밝혔다. Dickey et al.[5] Muraoko et al.[6]은 분리형 히트파이프의 특성에 관한 연구를 수행하였다. Sampath[7] McDonald et al.[8]은 단관형 이상 분리형 써모사이펀은 최고 성능이 적절한 작동 온도차 영역보다 높게 설계되어야 한다는 것을 나타내었다. 분리형 써모사이펀에 관한 기술은 많이 발전하였지만 전자장비의 냉각에 적용되는 경우는 드물어 현재 이 분야에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

\* 동아대학교 기계공학과 대학원 calgarian@hanmail.net

#### 2. 실험 장치 및 방법

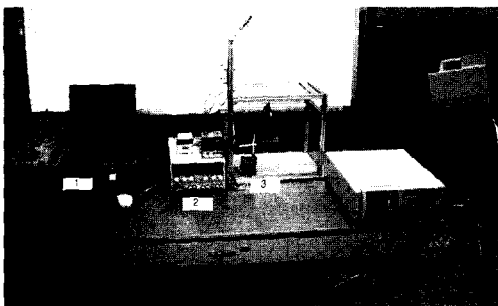
## 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1, 2에 나타나 있다. 실험 장치의 기본 구조는 증발부, 응축부, 액체유동관, 기체유동관, 기액분리부로 나누어진다. 증발부에서 증기가 증발부 입구로 역류하는 것을 막기 위해 증발부 입구가 증발부 내부에 충전되어있는 작동유체에 의해 막혀 있는 구조로 되어있고 기체 유동관으로 액체가 응축부로 운반되는 것을 막기 위해 기체 유동관 가운데 기액분리기가 장착 되어있다. 증발부에서의 가열은 CPU를 모사한 50×50×2 mm 크기의 발열체를 사용하였다. 전자장비는 입력되는 소비전력이 열에너지로 변환되기 때문에 표면을 등온조건으로 하는 것보다는 일정 발열량일 때의 상황을 만드는 것이 실제현상에 적합하므로 본 실험에서는 DC 파워서플라이를 이용하여 일정한 열유속을 가지게 했고 발열체에서 발생하는 열량은 파워메타로 측정하였다. 써모사이핀의 온도분포를 측정하기 위해 증발부 표면, 증발부 출구측 튜브, 응축부 출구 측 튜브에 K 타입 열전대를 설치하고 다점 온도계를 사용하였고 응축부의 표면온도는 주위의 순환하는 공기의 온도로 가정하여 27℃로 일정하게 유지되게 하였다. 기체 유동관, 액체 유동관은 폴리우레탄 재질의 투명 튜브(8mm)를 사용하였고 실험장치의 내부는 10 torr 의 진공도를 가지며 2회 정제된 증류수가 작동유체로 주입되어 있다. 추가적인 실험장치로 투명 아크릴과 투명 폴리우레탄 튜브를 사용한 유동가시화 장치를 제작하였다.

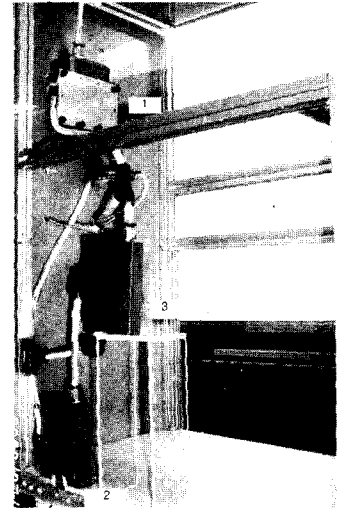
## 2.2 실험방법

제작된 분리형 써모사이핀 형상에서 몇가지 변수를 변화시켜 발열체 냉각 능력을 고찰하였다. 써모사이핀의 디자인에 있어서 가장 중요한 사항은 제작된 장치가 얼마만큼의 열을 전달할 수 있는가와 그만큼의 열을 전달하기 위한 장치의 형상, 작동유체의 종류, 작동유체 충전량과 같은 최적의 여러 조건들을 결정하는 것이다. 써모사이핀은 내부의 진공도, 작동유체 충전량, 작동유체의 종류, 발열부 및 응축부의 형상, 발열부 와 응축부간의 높이 등에 의해 그 냉각 능력이 좌우되는데 본 실험은 증발부와 기액분리기 사이의 높이는 일정하게 두고 입열량(40, 50, 60W), 증발부의 체적과 작동유체 충전량의 비(100, 75, 50, 25%) 그리고 응축부와 증발부간의 높이(55, 50, 45, 40cm)를 변수로 하여 실험하였다. 유동가시화 실험장치는 충전량비 50%, 입열량 60W, 응축부-증발부 높이 55cm 응축부 표면온도 27℃ 조건하에서 진행되었다. 써모사이핀의 열저항은 증발부 표면의 평균온도에서 응축부 표면온도의 차를 입력열량으로 나눈 것으로 아래 식과 같다.

$$R_t = \frac{T_{eva} - T_{air}}{Q_{input}} \quad (1)$$



1. Data logger 2. Thermo control 3. Looped thermosyphon  
Fig.1 Experimental apparatus

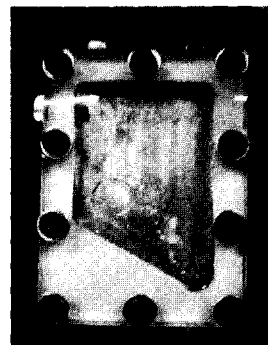


1. Condenser 2. Evaporator 3. Separator  
Fig.2 Looped thermosyphon

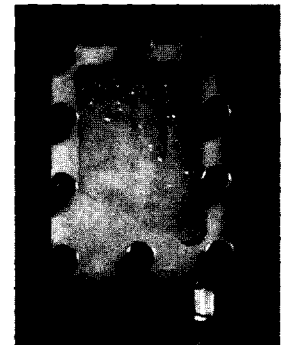
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 응축 및 증발 가시화

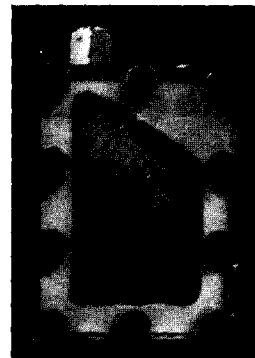
Fig.3은 응축부 및 증발부에서의 상변화 과정을 캠코더를 이용하여 캡처한 사진이다. 그림1과 2는 써모사이핀 응축부의 사진으로 작동초기에는 아무 변화가 일어나지 않고 작동이 정상화되고 난 후에는 수증기가 응축이 되어 벽면을 따라 흘러내리는 것을 관찰할 수 있다. 그림3과 4는 증발부의 사진으로 작동초기에는 벽면에 증기가 서려 있고 정상화 되었을 때 격렬하게 비등



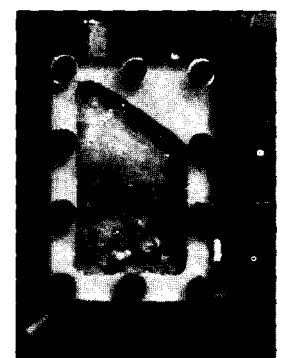
1. Initial state



2. Condensation state



3. Initial state

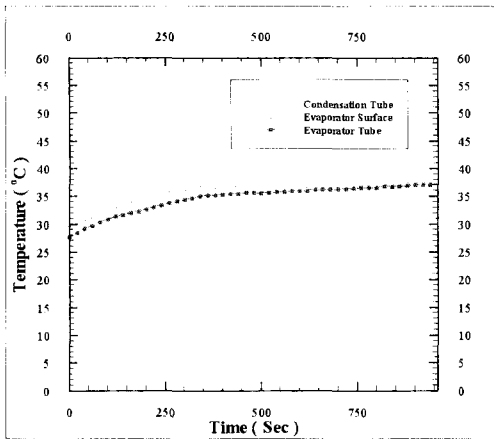


4. Evaporation state

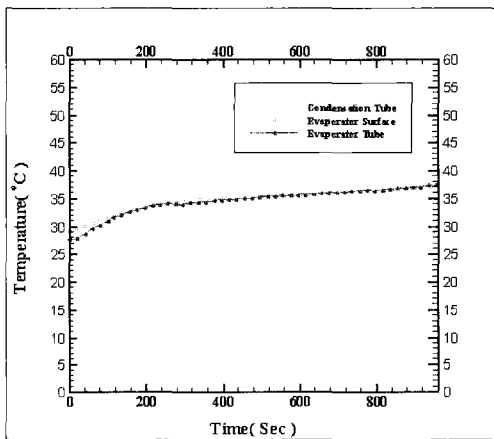
Fig.3. Experimental apparatus

이 일어나고 있는 것을 관찰할 수 있다.

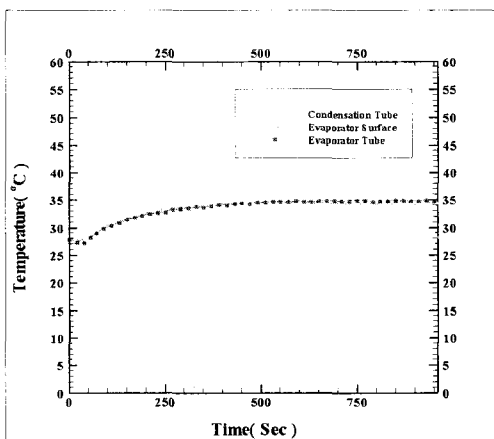
### 3.2 분리형 써모사이클 온도측정 결과



H=50cm, Inventory=100%, 60W  
Fig.4 Temperature distribution



H=52.5cm, Inventory=100%, 60W  
Fig.5 Temperature distribution



H=55cm, Inventory=100%, 60W  
Fig.6 Temperature distribution

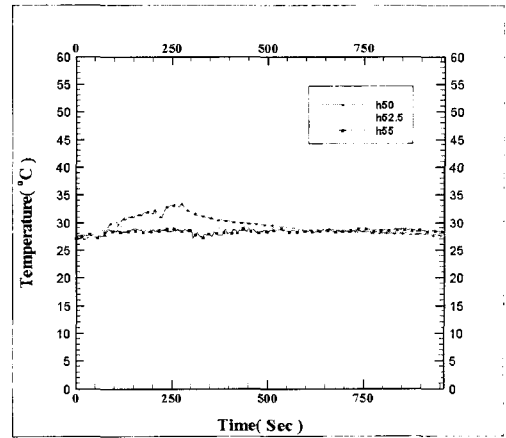


Fig.7 Temperature distribution of condensation tube as heights

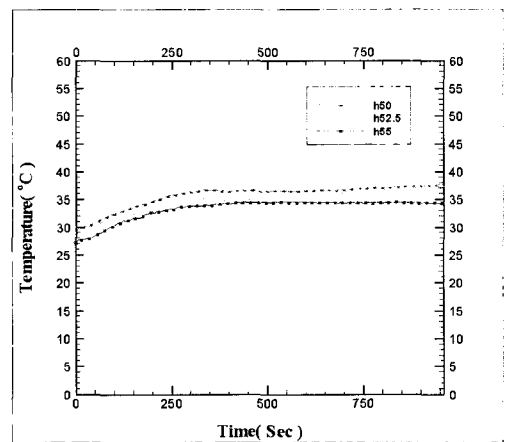


Fig.8 Temperature distribution of evaporator tube as heights

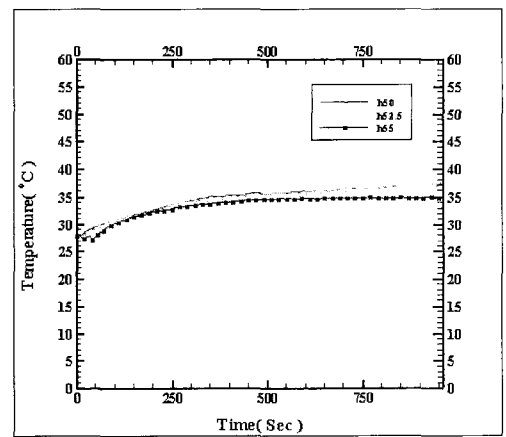


Fig.9 Temperature distribution of evaporator surface as heights

Fig. 4, 5, 6에서 가동후 250초정도까지는 발열부온도와 응축부온도가 같이 상승하는 것을 볼수 있는데 이는 작동 초기에는 응축부튜브 및 증발부튜브 양측으로 기체가 침입하기 때문이다. 이후 증발부 및 증발부 표면온도는 정상적으로 거의 일정한 온도가 유지되고 응축부온도는 간헐적으로 변화하는 것을 볼 수

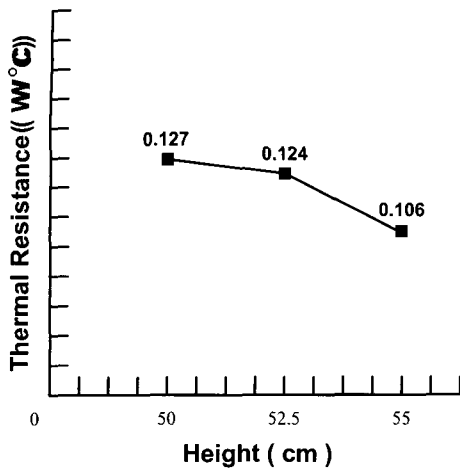


Fig.10 Thermal resistance of each height

있는데 이는 응축부에서 응축된 액체가 증발부측으로 부분적으로 이동하기 때문이다. 일반적으로 작동유체 충전량이 클수록 큰 열전달률을 가지나 충전량이 50%이상일 경우 불안정한 작동을 하여 오히려 열전달능력이 떨어지는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 전반적으로 작동초기에 불안정한 변화를 하지만 곧 정상적인 온도분포를 나타내는 것으로 보아 기액분리기의 영향으로 작동유체 충전량이 100% 에서도 비교적 안정적으로 작동하는 것을 알 수 있다. Fig.7,8,9에서 응축부와 증발부간의 위치가 가장 높을 때 온도분포가 가장 낮은 것을 알 수 있고 Fig.10에서 높이차가 가장 클 때 열저항이 가장 낮아 이때 냉각능력이 가장 큰 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

플랫 형상을 가지는 분리형 써모사이펀을 CPU를 모사한 발열체 냉각에 적용할 경우의 성능을 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 본 실험에 사용된 분리형 써모사이펀은 일정열유속이 60W 일때 작동유체 충전량 100%, 증발부-응축부 높이 55cm일 때 가장 뛰어난 열전달능력을 가지는 것을 알 수 있었다.

2. 기액분리기를 사용했을때 기체 유동관으로 액체가 응축부 쪽으로 흘러가는 것을 막아 충전량이 많은 상태에서도 안정된 작동을 하는것을 알 수 있었다.

3. 분리형 써모사이펀은 발열체에서의 60W 또는 그이상의 열부하를 성공적으로 제거하므로 전자장비의 냉각분야에 많은 적용이 가능하다.

4. 분리형 써모사이펀 제작에 대한 기초자료로 활용될 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] A. Miyasaka, K. Nagagima, H. Tsunoda, Experimental results for capillary loop pipe applied to direct cooling method, J. Thermophys. Heat Transfer 9(1)(1995) 96-100
- [2] M. T. North, C. T. Avedisian, Heat pipes for cooling high flux/high power semiconductor chips, Trans. ASME, J. Electron. Packing 115(1993) 112-117
- [3] K. S. Hwang, Two-phase thermosiphon loops part 1 (An experimental study of a 3/8 in diameter 2ft×4ft loop). M. Sc. thesis, university of Windsor, 1976
- [4] A. F. M. Ali, & T. W. McDonald, Thermosiphon loop performance characteristics part 2, simulation program. ASHRAE trans. V 83, pt. 2, pp 260-278, 1977
- [5] J. T. Dickey, G. P. Peterson, Experimental and analytical investigation of a capillary pumped loop, J. Thermophys. Heat Transfer 8 (3)(1964) 602-607
- [6] I. muraoko, F. M. Ramo, V. V. Vlassov, Experimental and theoretical investigation of a capillary pumped loop with a porous element in the condenser, Int. Comm. Heat Mass Trans. 25(8)(1988) 1085-1094
- [7] S. Sampath, Two-phase multiple-tube thermosiphon loop(an experimental study). M. S. Thesis, University of Windsor, 1985
- [8] T. W. McDonald, & A. F. M. Ali, Thermosiphon & S. Sampath, The unidirectional coil loop thermosiphon heat exchanger. ASHRAE trans, V 84, pt. 2, pp 27-37, 1978