

마이크로 서모사이폰의 성능 특성에 대한 실험적 연구*

장 종 훈
기계공학부

<요 약>

직경이 2.8mm 인 구리 관과 아세톤을 작동유체로 이용한 마이크로 서모사이폰을 개발하기 위하여 서모사이폰의 성능을 항온조를 이용하여 실험적으로 연구하였다. 먼저 구리관에 아세톤을 주입한 서모사이폰의 성능을 주입하지 않은 구리관의 열전달 특성과 비교하였다. 열전도계수가 큰 구리관에 비하여 서모사이폰은 성능이 증가했으나 일부의 응축된 유체가 모세관현상에 의하여 증발부로 되돌아오지 않는 것이 관찰되었다. 따라서 관내에 직경 0.5mm인 구리선을 하나 넣은 경우, 두 개 넣은 경우, 직경 0.1mm 구리선 묶음을 주입한 경우에 대한 성능을 비교한 결과 구리선 두 개를 넣은 것과 구리선 묶음을 넣은 것이 보다 향상된 결과를 나타냈다.

An Experimental Study of the Performance Characteristics of Micro-thermosyphons

Jong Hoon Jang
School of Mechanical Engineering

<Abstract>

Micro-thermosyphons were developed by using the copper tube of 2.8mm diameter and the working fluid of acetone. The thermosyphons were tested to study the performance characteristics using an isothermal water bath. A thermosyphon with only acetone performed better than the same copper tube without the working fluid, but a

* 이 논문은 1997학년도 울산대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

part of the condenser was not returned due to capillary effect. The one or two copper wires of the 0.5mm diameter, or wire bundle of the 0.1mm diameter were inserted to improve the performance. The experimental results of the thermosyphons with two wires or wire bundle show the best performance among various thermosyphons tested.

1. 서론

일반적으로 열전달은 온도 차이를 이용하여 전도, 대류 및 복사의 형태로 일어난다. 따라서 열전달량을 증가시키기 위하여서는 같은 조건에서 온도 차이를 크게 하여야 한다. 그러나 유체의 상변화를 이용하면, 즉 증발과 응축이 발생할 때 기체가 흡수하고 방출하는 잠열을 열전달에 이용하면 거의 등은 상태에서 많은 열을 전달할 수 있다. 이 원리를 이용한 것이 바로 서모사이폰이나 히트파이프이다. 히트파이프는 내부에 응축된 액체를 이송할 수 있는 워구조를 가지는 것이 특징이며 서모사이폰은 워구조 없이 중력을 이용하여 응축된 액체를 이동시킨다. 따라서 Fig. 1과 같이 용기에 작동유체가 들어있는 매우 간단한 형태를 취하나 응축이 일어나는 곳이 반드시 증발이 일어나는 곳보다 위에 위치해야 하는 단점이 있다[1,2].

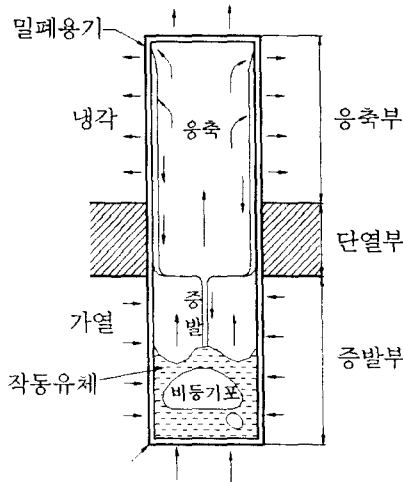


Fig. 1 Schematic and operation of a thermosyphon

서모사이폰이나 히트파이프는 작동유체의 상변화를 이용하여 작은 온도 차이에서 매우 높은 열전달률을 가지도록 고안된 열전달 장치이기 때문에 현재 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히, 최근에는 점차 소형화되고 있는 전자제품이나 소형 컴퓨터의 중앙처리 시스템(CPU)등 단위 면적 당 방출하는 열량의 증가로 단순한 공기순환으로 냉각시킬 수 없는 곳에 구조가 상대적으로 간편한 소형 서모사이폰을 사용하게 되었다. 대표적인 예로 노트북 컴퓨터는 내부공간이 매우 협소하여 공기순환을 위한 팬을 설치할 수 없기 때문에

직경이 매우 작은 마이크로 서모사이폰을 필수적으로 사용하게 되었다. 그러나 현재 국내에서 사용되는 서모사이폰은 전량 일본으로부터 수입에 의존하는 형편으로 개발에 성공하면 수입대체 효과와 추가 수요를 창출할 수 있을 것으로 추정된다.

마이크로 서모사이폰은 직경이 매우 작기 때문에 작동유체를 주입하기가 대단히 어렵고 또 응축부에서 응축한 액체가 관의 모세관 현상에 의하여 중력이 작용하고 있으나 아래에 위치한 증발부로 이동하지 않는 등 많은 문제점이 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 우선 서모사이폰을 제작하고 그 성능을 간접적으로 알아보기 위하여 같은 조건에서 같은 크기의 일반 구리 관과 서모사이폰의 온도 분포를 측정하여 비교하였다. 또 서모사이폰의 성능을 향상시키기 위하여 다공성 워구조가 아닌 가는 구리선을 한 개 또는 여러 개를 꼬아 관내에 삽입하고 성능을 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 실험에 사용된 서모사이폰의 크기를 상용 볼펜심과의 비교한 것으로 관의 재질은 구리이며 작동유체로는 아세톤을 사용하였다. 서모사이폰의 재원은 Table 1 과 같다. 하나의 관으로 여러 가지 실험을 되풀이 할 수 있게 하기 위하여 관의 끝 부분에 액체 주입 구를 설치하였다. 관의 증발부와 응축부 길이는 실험에 따라서 변화가 있었기 때문에 Table 1에 나타내지 않았으나 추후 각각의 실험장치에 나타내었다.

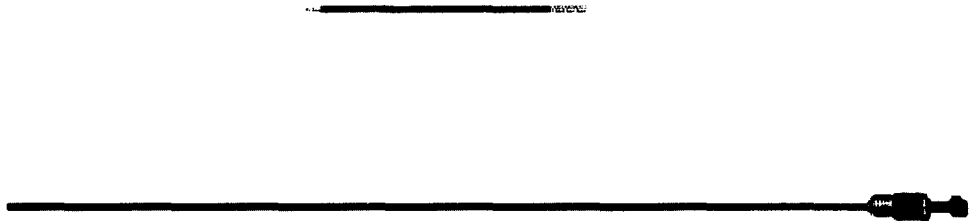


Fig. 2 Comparison of the actual thermosyphon used for testing and a ball point pen

구리 관으로 제작된 서모사이폰의 작동여부를 알아보기 위하여 작동유체를 주입하지 않은 구리 관과 작동유체를 주입한 서모사이폰의 온도를 측정하여 온도 분포를 비교하는 실험을 위하여 Fig. 3에 표시된 것과 같이 표면에 5개의 열전대(크로멜-알루멜)를 설치하였다. 열전대 TC1은 항온조의 물의 온도를 측정하며 수면 위 1cm에 있는 열전대(TC2)부터 서모사이폰의 온도를 측정하도록 하였다. Fig. 4와 같은 실험장치를 설치하고 구리 관을 항온조에서 가열하면서 관 표면의 온도를 측정하기 위하여 모든 열전대는 열전대 모니터에 연결되고 이 모니터는 RS-232 선을 통하여 컴퓨터에 연결되어 매 5초마다 온도변화를 기록하였다. 항온조를 이용한 실험은 두 가지로 하나는 항온조 내의 물의 온도를 일정 온도($65^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$)가 될 때까지 가열한 후 구리 관을 일정부분 물에 담기게 하여 실험한 경

우이고 또 다른 하나는 가열하기 전에 항온조의 물에 관을 담그고 물과 관을 동시에 가열하면서 실험한 경우로 구분된다.

Table 1 Physical dimensions of the thermosyphon

| 서모사이폰 용기 재료 | 구리 관 |
|-------------|---------|
| 전체 길이 | 0.3m |
| 관의 외경 | 0.0028m |
| 관의 내경 | 0.0015m |
| 작동유체 | 아세톤 |
| 작동유체량 | 0.2ml |

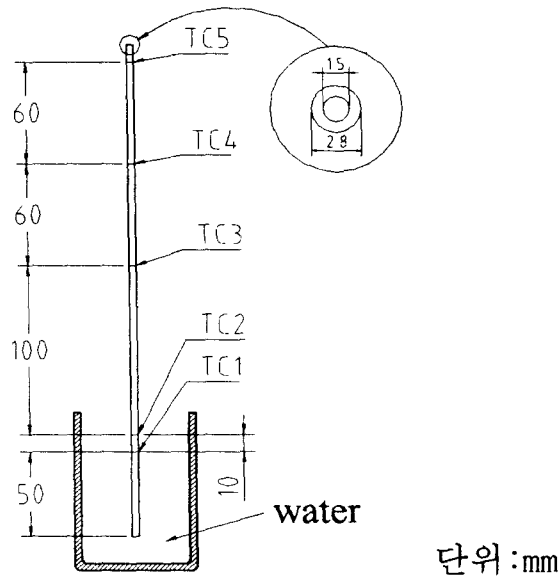


Fig. 3 Locations of thermocouples on the surface of the thermosyphon

3 결과 및 고찰

앞에서 설명한 것과 같이 서모사이폰을 개발하기 위하여 우선 항온조를 사용하여 서모사이폰의 증발부를 가열하여 시험을 실시하였다. 우선 같은 조건에서 작동유체를 넣지 않은 구리 관을 항온조에 담그고 온도 분포를 측정하여 성능 비교의 기준으로 사용하였다. 작동유체가 없는 구리 관은 단지 전도에 의하여 열을 전달하므로 관의 양끝의 온도를 비교하면 큰 온도차가 발생할 것이다. 이와 반대로 서모사이폰은 작동유체의 상변화를 이용하여 열전달을 하므로 잘 작동할 경우에는 관의 양끝의 온도차는 적어야 한다.

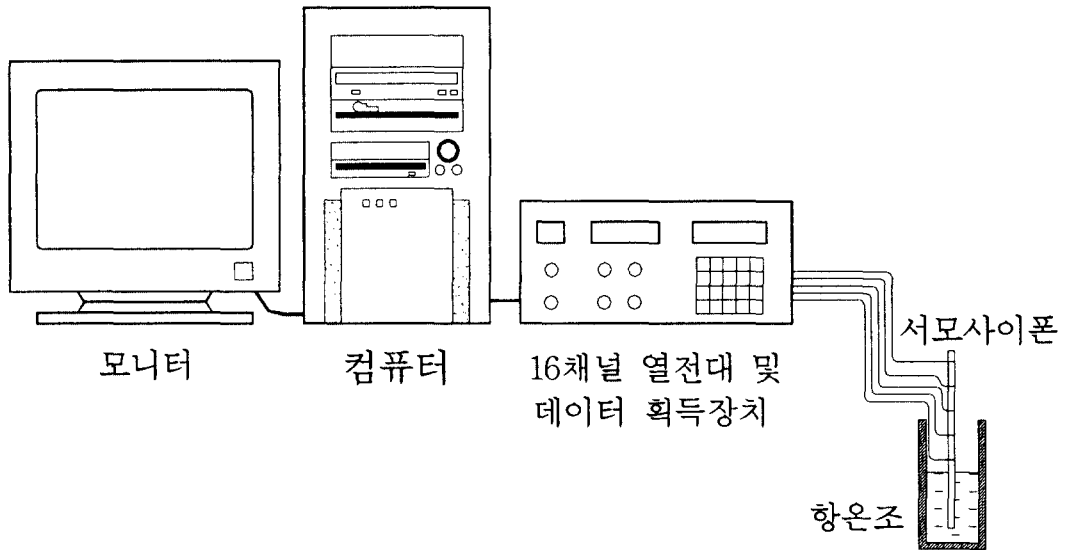


Fig. 4 Schematic of an experimental setup with an isothermal water bath

Fig. 5는 정상상태에서 구리 관과 관에 작동유체를 주입한 네 가지 서로 다른 서모사이폰의 길이 방향의 온도 분포를 무차원하여 비교한 것으로 모두 항온조에 수직으로 세워진 상태에서 실험했다. 각각의 경우에서 관은 5cm까지 물 속에 잠겨져 있고 수면 위 1cm부터 서모사이폰의 표면의 온도를 측정하였다. 관의 표면에서는 자연대류에 의하여 열전달이 일어나도록 하였다. 먼저 구리 관은 예상과 같이 큰 온도차가 발생하였다. 다음으로 작동유체를 넣은 서모사이폰은 두 번째 열전대까지는 높은 온도를 유지했으나 나머지 부분에서는 온도차이가 크게 나타났다. 즉 일부분만 서모사이폰으로 작동함을 알 수 있다. 이 경우는 관의 상부에서 응축한 작동유체가 중력에 의하여 증발부로 돌아가지 못하고 응축부에 그대로 머물러 증발부에서 증발한 작동유체의 흐름을 막고 있기 때문이다. 따라서 서모사이폰의 일부분만 작동하고 있다. 실제 유사한 크기의 투명한 관을 사용하여 관찰한 결과 같은 현상이 관측되었다. 관의 직경이 작아서 모세관 현상에 의하여 응축액이 아래로 돌아가지 못하는 것으로 추측할 수 있다.

응축부에 모여 있는 액체를 증발부로 보내기 위하여 관내에 0.05cm 직경의 작은 구리선을 삽입한 결과 응축부의 온도가 상당히 증가하여 관의 온도 구배를 현저히 줄였다. 온도 분포로 보아 응축부에 있던 작동유체가 구리선이 없는 경우보다 증발부로 잘 내려가고 있음을 알 수 있다. 같은 크기의 구리선 두 개를 삽입한 경우에는 온도 구배가 더 작아짐을 알 수 있고, 끝으로 0.01cm 직경의 구리선 21개로 이루어진 묶음을 관내에 삽입한 경우에도 작동상태는 구리선 2개를 넣은 경우와 같이 좋은 성능을 나타냈다.

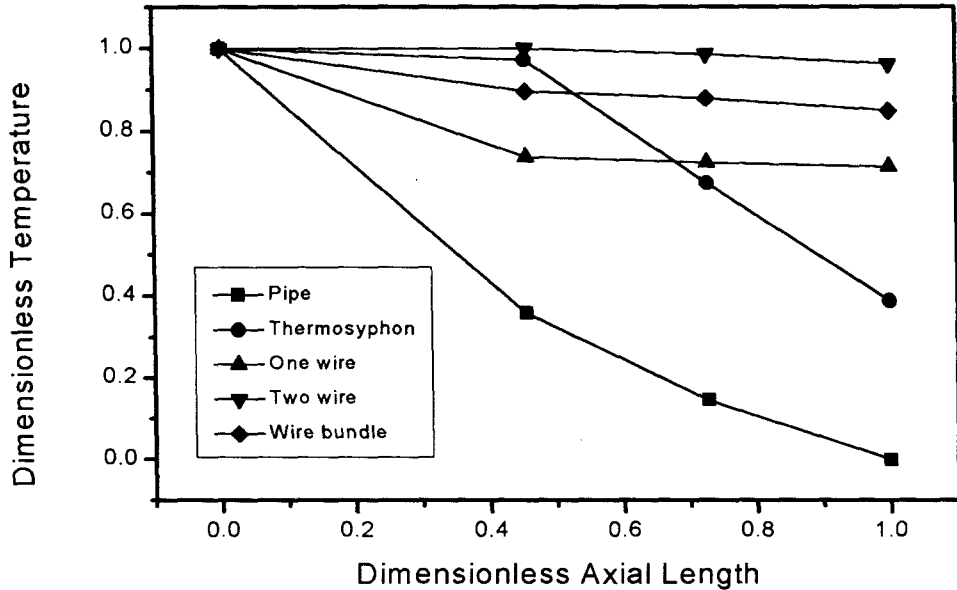


Fig. 5 Comparisons of temperature distributions of various thermosyphons

서모사이폰의 비정상상태에서 온도 변화를 관찰하기 위하여 항온조의 물의 온도를 65°C 로 가열한 후 서모사이폰을 담그고 서모사이폰의 상단(TC5)의 온도 변화를 측정된 결과가 Fig. 6에 나타나 있다. 항온조의 물의 온도가 65°C 를 기준으로 -2.5°C 에서 $+2.5^{\circ}\text{C}$ 사이에 변화하여 시작점의 온도가 일치하지는 않지만 각각의 경우에서 시간에 대한 온도변화를 비교할 수 있다. 구리 관의 온도는 미세한 변화만 관측되었다. 작동유체만 들어 있는 서모사이폰의 경우에는 온도가 조금 증가하였으나 시간적으로 조금 늦게 응답이 일어났고, 불규칙적인 온도변화가 측정되었다. 즉 일부 작동유체가 증발부로 돌아오면 증발이 일어나 열 전달이 진행되어 온도가 증가하고 액체가 증발부에 정체하면 온도가 감소하는 현상이 반복되고 있음을 알 수 있다. 그러나 구리선이 2개 들어있는 것과 구리선 묶음이 들어 있는 서모사이폰은 즉시 온도가 급격히 증가하고 정상상태를 유지하였다. 따라서 증발부의 온도 변화에도 잘 대응함을 알 수 있다.

Fig. 7은 서모사이폰을 먼저 물에 담근 후 물을 가열하면서 관의 상단(TC5)의 온도 변화를 측정된 결과이다. 모든 서모사이폰을 한번에 물에 담그고 실험한 것이 아니기 때문에 초기 온도는 서로 다르지만 Fig. 6과 유사한 현상을 관측할 수 있다. 즉 구리 관은 온도 변화가 거의 없으며, 작동유체만 주입한 서모사이폰과 구리선 하나를 주입한 서모사이폰은 항온조의 물의 온도 변화보다 늦게 온도 변화가 일어났고 온도도 항온조의 물의 온도보다 낮다. 구리선 묶음을 삽입한 서모사이폰이 온도도 제일 높고 항온조 물의 온도 변화에 잘 대응하고 있음을 알 수 있다.

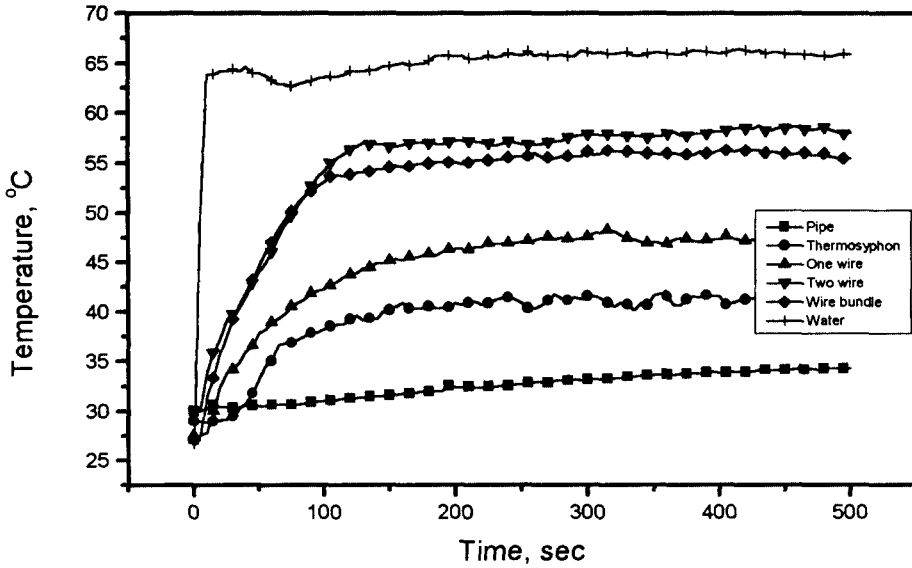


Fig. 6 Comparisons of transient temperatures of various thermosyphons

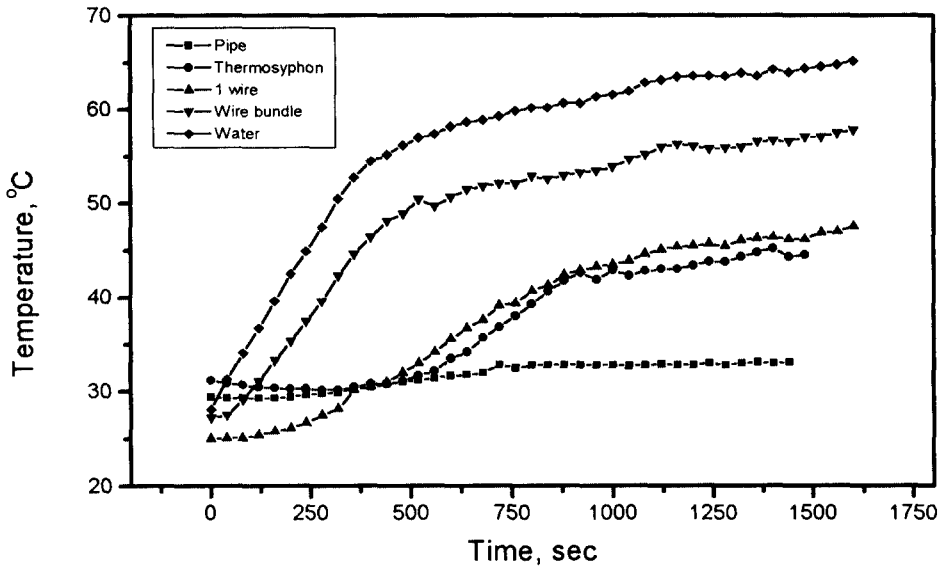


Fig. 7 Comparisons of transient temperatures of various thermosyphons for increasing the temperature of the water bath

4. 결론

외경이 2.8mm인 가는 구리 관과 아세톤을 작동유체로 사용하여 등온상태에서 열을 전달하는 서모사이폰을 제작하고 온도분포를 측정하였다. 수직상태에서 측정한 결과 작동유체를 넣은 서모사이폰은 작동유체를 넣지 않은 구리관보다 성능이 우수하였으나 일부분만 서모사이폰으로 작동했다. 따라서 관내에 구리선을 하나 또는 두 개를 넣고 실험한 결과 성능이 개선되었고 두 개를 넣은 것이 최고의 성능을 나타냈다. 한편 매우 가는 구리선 묶음을 넣은 경우에도 구리선 두 개를 넣은 경우와 유사한 성능을 얻었다. 관의 직경이 큰 경우와 대조적으로 직경이 작은 경우에는 작동유체가 중력에 의하여 아래로 내려오는 대신 모세관 현상에 의하여 응축된 액체가 응축부에 정체하는 현상이 관측되었다. 따라서 이러한 현상이 일어나는 임계직경을 결정하는 추가적인 실험과 추후 항온조를 개선하여 서모사이폰을 기울인 상태에서 온도를 측정하는 실험을 더 진행할 예정이다.

참고문헌

1. P. D. Dunn, D. A. Reay, Heat Pipes, First Edition 1976, p.1
2. K. Hegishi, T. Sawada, Heat Transfer Performance Of an inclined Two-Phase Thermosyphon, Int, J. Heat Mass Transfer, pp.1207-1213, 1983