

PHP를 이용한 히트싱크의 냉각 성능에 관한 연구

최 우 석[†] · 김 종 수^{*}

A Study on Cooling Performance of Heat Sink using Pulsating Heat Pipe

Choi Woo Seok, Kim Jong Soo

Key Words : PHP(진동형히트파이프), High performance heat sink(고성능히트싱크), Thermal resistance(열저항), Cooling performance(냉각성능)

Abstract

In order to guarantee the performance of electronic products. It is needed to improve the cooling performance of heat sink. So this paper has been made to investigate the cooling performance for the aluminum heat sink using pulsating heat pipe(PHP). The pulsating heat pipe was used as a heat spreader. Working fluid was R-22. Heater (50 mm × 50 mm × 3mm) was attached to heat sink and it generated 30W, 60W, 80W, 100W. Heat sink was tested for forced convection with 1~4m/s of inlet air velocity. And both type heat sinks were carried out by using CFD simulation. This study showed that pulsating heat pipe can be a good tool to improve cooling performance of heat sink.

기호설명

k : 열전도계수 (W/m · K)
 h : 대류열전달계수 (W/m² · K)
 Q : 열전달률 (W)
 R : 열저항 (K/W)
 T : 온도 (K)
 ΔT : 접점의 온도차 (K)

하첨자

cond : 전도
conv : 대류
rad : 복사

1. 서 론

컴퓨터와 IT 관련기기 및 소형 전자제품들은 고성능화, 고출력화 되고 있으며 이와 더불어 전자 제품의 발열량이 증가하고 있다. 이는 제품의 성능을 저하시키거나 고장의 원인이 되어 제품의 내구성 및 신뢰성에 큰 영향을 준다. 이에 따라 전자소자로부터 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 히트싱크의 방열 성능에 관한 연구가 주요 연구의 대상이 되고 있다.¹⁾

특히 소형 전자제품의 경우 열전소자를 이용한 냉각 방식이 각광을 받고 있다. 열전소자를 이용한 열전냉각이란 종래의 압축기식 냉각과 같이 복잡한 에너지 교환을 거칠 필요 없이 셀 양단에 기전력이 발생할 때 반도체의 전자와 정공의 이동에 의해 셀 양단에 Joule 열 이외의 발열, 흡열 현상이 일어나는 것을 이용한 냉각방식이다.

열전소자를 이용한 냉각장치에 있어서 열전소자 발열부족의 제거 열량은 제품의 성능 및 적용 범위를 결정하는 주요변수가 된다. 따라서 히트

[†] 부경대학교 대학원

E-mail : wind5425@nate.com

TEL : (051)620-1502 FAX : (051)611-6368

* 부경대학교 기계공학부

싱크의 열저항을 최소화 할 수 있는 최적조건의 히트싱크 설계를 필요로 한다.^{2),3)}

현재 가장 널리 사용되고 있는 히트싱크는 알루미늄 압출식 평행핀 형상이다. 알루미늄은 열전도도가 우수하고, 재료물성변화가 없기 때문에 히트싱크의 주된 소재로 사용된다. 이들 알루미늄 소재를 활용한 히트싱크 방열 성능 향상에 관한 연구는 흰 형상과 분포에 관련된 열저항 특성 연구에 집중되고 있으나 Pulsating Heat Pipe(이하 PHP)를 히트싱크에 적용한 연구는 부족한 실정이다.

PHP는 우수한 열전달 성능을 가지며 응축부에서 응축된 액을 증발부로 환류시키는 일이 없기 때문에 구조가 간단하고 다양한 형상의 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 사출 성형 알루미늄 히트싱크의 열저항 성능 향상을 위해 PHP를 열확산기(thermal spreader)로 적용하였다. 실험결과는 열전소자의 발열량과 강제대류시의 유속에 따른 히트싱크의 열저항을 비교하였고, 또한 수치해석을 통해 향후 고성능 히트싱크를 설계하는데 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 히트 싱크 열저항 실험 장치

Fig. 1은 강제대류 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 크게 시험부, 풍량을 조절하는 제어부와 데이터 처리부로 구성된다.

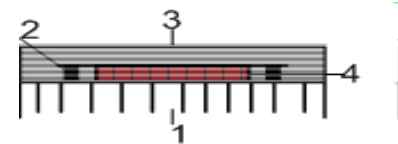
먼저 시험부는 사출 성형 알루미늄 히트싱크와 3 mm 동관으로 만든 루프형 PHP를 결합한 히트싱크를 사용하였다. 히트싱크의 형상은 Fig. 2에 나타내었고 히트싱크의 세부사항은 Table. 1에 나타내었다. Fig. 3은 히트 싱크에 결합한 PHP의 형상이다. PHP는 외경 3 mm, 내경 2 mm의 동관을 소재로 제작하였으며, 길이 330 cm, 무게 140g, 체적 10.37 cm³, 전열면적은 311 cm²이며 총 턴수는 9 turns이다. PHP의 세부사항은 Table. 2에 나타내었다. 제작된 PHP 내부의 불응축 가스를 제거하고 열교환기에 작동 유체를 충전하기 위해 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 이루어진 고진공 시스템으로 5.0 × 10⁻⁵ torr까지 진공시켰다. 그리고 작동 유체는 R-22를 사용하였으며 충전량은 PHP 내부 체적의 40%이다.

Table 1 Specification of heat sinks

Size (L×W×T) (m)	200×100×30
Number of fins (EA)	13
Heat transfer area (m ²)	0.18
Material	Aluminum

히트싱크의 열저항 성능을 알아보기 위해 흡입형 소형풍동을 제작하였다. 풍동장치는 개방형으로 제작되었으며, 공기 유입측에 기류안정과 이물질 유입 방지를 위해 스크린 메쉬를 설치하였다. 공기 입·출구 온도 계측부, 플레넘, 노즐 유량계, 그리고 송풍기 및 인버터로 구성되고, 송풍기 (centrifugal fan : 40 mmAq, 4500 m³/h, 4 P)에 연결된 인버터를 이용하여 풍량을 조절하였다.

본 실험에 사용된 가열 장치는 크기가 세로 5 cm, 가로 5 cm, 그리고 두께 0.3 cm의 히터와 히터로 공급되는 전력을 측정할 수 있는 digital power meter로 이루어져 있다. 발열체에 들어가는 전력량을 일정하게 유지하기 위해 슬라이드스틀



1. Heat sink 2. Bolt 3. Thermal insulations 4. Heater

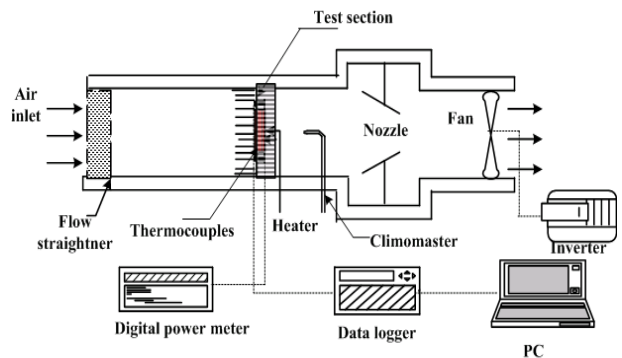


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for heat sink with PHP.

Table 2 Specification of PHP

Type	Looped
Working fluid	R-22
Number of Turns	9
Outer Diameter (mm)	3
Inner Diameter (mm)	2

이용하였다. 히터와 히트싱크 사이의 열전달을 향상시키기 위해 thermal grease를 사용하였으며 외부로의 열손실을 방지하기 위해 단열을 실시하였다.

그리고 히트싱크의 열저항을 구하기 위해 측정된 데이터는 Yokogawa사의 DR230 hybrid recorder를 통해 PC에 저장하였다.

2.2 히트 싱크 열저항 실험 방법

방열판의 열 저항을 구하기 위해 입·출구 공기의 온도, 히터표면온도, 방열판 온도, 그리고 대기온도를 T형 열전대를 부착하여 측정하였다.

풍속은 1 m/s ~ 4 m/s까지 1 m/s씩 증가시키면서 실험하였으며, 가열 열량은 30 W를, 60 W, 80 W, 100 W로 실험하였다. 실험은 발열체의 온

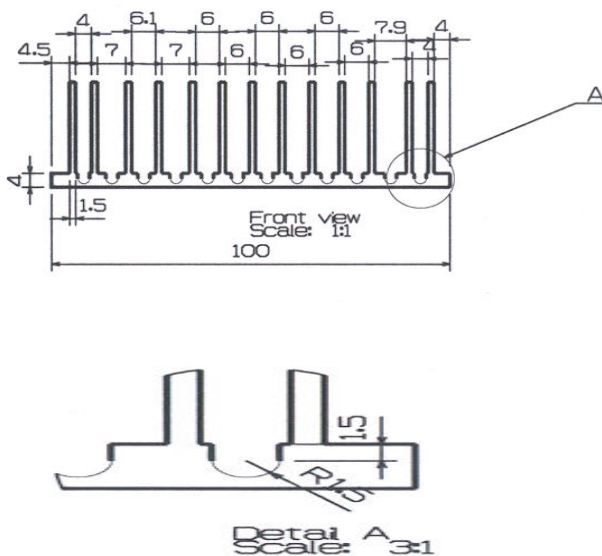


Fig. 2 Schematic diagram of Heat sink

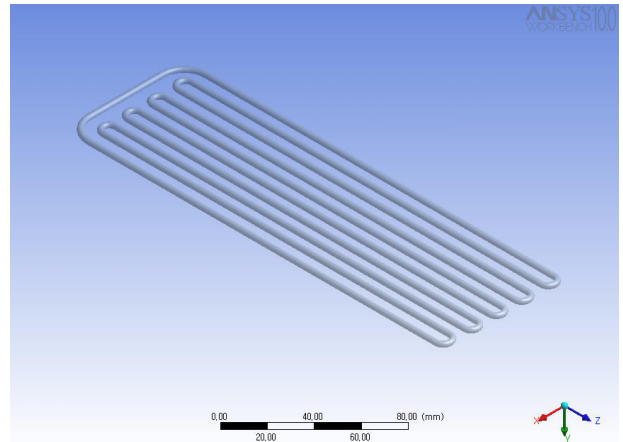


Fig. 3 Schematic diagram of PHP

도가 정상상태로 되었을 때의 입력된 전력량, 발열체 온도, 주위 온도 등을 측정하였다. 열저항에 사용된 히트싱크의 온도는 히트싱크의 상·중·하 3부분의 온도를 측정하여 평균값을 사용하였다.

2.3 실험결과의 처리방법

기존의 히트싱크와 PHP를 적용한 히트싱크의 냉각 성능을 비교하기 위해 히트싱크만 사용하였을 경우와 PHP를 적용한 히트싱크의 경우에 얼마나 열을 신속히 제거 가능한 지 확인할 필요가 있다. 식을 간략화 하기 위해 히터 반대 방향이 100% 단열 상태라 가정하면, 방열판 및 fan에 의해 제거된 열량은 다음과 같다.

$$Q = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} \quad (1)$$

식(2)를 열저항으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Sigma R_{total} = \frac{\Delta T_{overall}}{Q} \quad (2)$$

여기서, $\Delta T_{overall}$ 은 총 온도차로 방열판 표면 온도와 대기 온도의 차이이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 히트싱크의 표면 온도 비교

Fig. 4는 유속에 따른 히트싱크의 표면 온도를 나타낸다. 모든 실험 결과는 유속이 증가할수록 표면 온도가 낮게 나타나고, 열량이 증가할수록

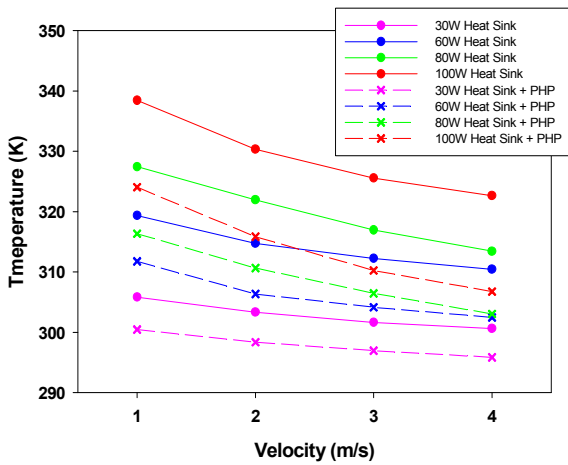


Fig. 4 Variation of heat sink surface temperature with air velocity

표면 온도는 높아졌다.

온도차는 입력열량이 30W에 유속이 1m/s 일 때, 가장 작은 5.4K이고, 입력열량이 100W에 유속이 4m/s 일 때, 15.9K로 가장 컸다. 이것은 입력열량이 크고 유속이 빨라질수록 PHP가 히트싱크의 냉각에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 입력열량이 커질수록 PHP 결합형 히트싱크와 기존의 히트싱크 간의 표면 온도차는 더 커지는 것으로도 입력열량이 많아질수록 PHP의 작동이 더욱 원활하게 되어 히트싱크의 냉각에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

입력 열량이 같을 때, PHP 결합형 히트싱크는 기존의 히트싱크에 비해 표면 온도가 낮게 나타났는데, 이는 PHP가 Thermal spreader로서의 역할을 잘 수행하여 입력된 열을 히트싱크 전체로 잘 확산시켰기 때문이다.

PHP는 유속이 증가하고 입력 열량이 커질수록 히트싱크의 냉각 성능을 향상시켰다. 그리고 히트싱크의 열 부하가 커지더라도 작동상태에 문제점이 나타나지 않았다. 이는 다양한 용량을 갖는 여러가지 전자기기의 히트싱크에 PHP가 적용이 가능하다는 것을 보여준다.

3.2 히트싱크의 열저항

본 실험에서는 히트싱크만 사용하였을 경우와 PHP를 열확산기로 적용한 히트싱크의 경우에 냉각 성능의 차이를 알기 위해 히트싱크의 열저항

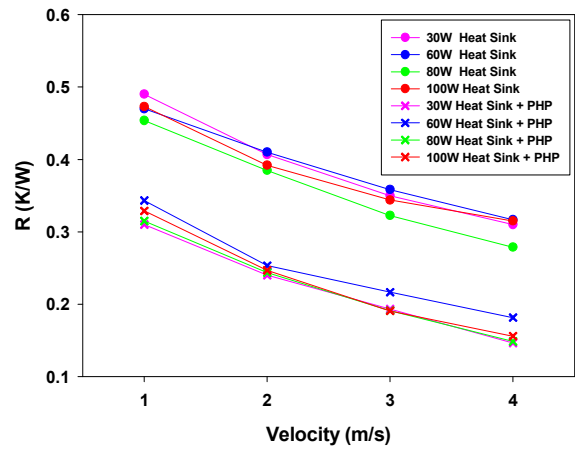


Fig. 5 Variation of thermal resistance with air velocity

을 구하였다.

Fig. 5는 히트싱크에 히터를 결합하여 히터의 열량을 30W, 60W, 80W, 100W로 변화시키면서 유속에 따른 히트싱크의 열저항을 비교하여 나타낸 것이다. 두 가지 타입 모두 유속의 증가에 따라 열저항을 감소하였으며 유속이 1m/s ~ 4m/s로 증가할 때 PHP 결합형 히트싱크의 경우 열저항이 평균 49.99% 감소하였고, 기존의 히트싱크의 경우에는 평균 34.74% 감소하였다. 이는 PHP 결합형 히트싱크의 경우에 히트파이프로도 히트싱크와 함께 강제대류에 의해 냉각됨으로써 열저항을 더욱 감소시킨 것으로 보인다.

열저항은 입력열량과는 상관없이 거의 비슷한 값을 나타내었다. 열저항은 유속이 4m/s 일때, 최저값을 가지며 히트싱크의 경우 0.308 K/W이고, PHP 결합형 히트싱크의 경우에는 0.162 K/W이다. 따라서 히트싱크에 PHP를 열확산기로 적용하면 히트싱크의 냉각 성능을 향상시킬 수 있다.

4. 수치해석

4.1 수치해석방법

수치해석은 CFX 10.0을 이용하여 실시하였다. 수치해석에 사용된 모델링은 실제 실험에 기초하여 실시하였으며 실험 단면의 1/4을 해석하는 조건으로 대칭의 경계조건을 적용하였고, 해석에 사용된 히트싱크의 격자수는 약 420000개이다.

본 연구의 수치해석에 사용된 유체는 공기이며

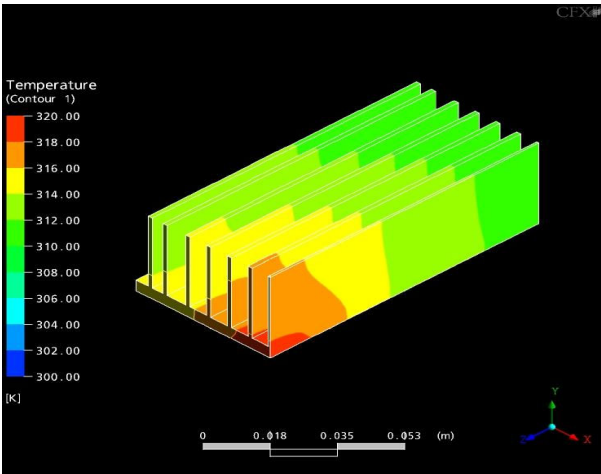


Fig. 6 Distribution diagram of temperature (Only heat sink)

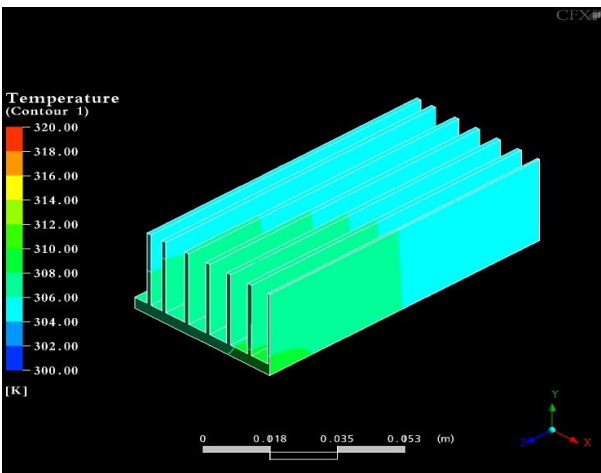


Fig. 7 Distribution diagram of temperature (Heat sink with PHP)

뉴턴유체, 비압축성, 정상유동으로 가정하여 해석을 실시하였다.

해석은 입력 열량 60W에 유속을 1m/s ~ 4m/s로 변화시키면서 히트싱크와 PHP를 적용한 히트싱크 두 가지 타입에 대하여 실시하였다.

4.2 수치해석결과

입력 열량을 60W로 하고, 일반적으로 전자기기에서 사용되는 팬의 풍속인 유속 2m/s에서의 히트싱크 온도 분포를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 기존의 히트싱크의 경우 305K ~ 320K 정도의 범위에서 온도 분포를 보였고 그에 비해 PHP 결합형 히트싱크는 302K ~ 308K 정도의 온도 분포를 나타내었다.

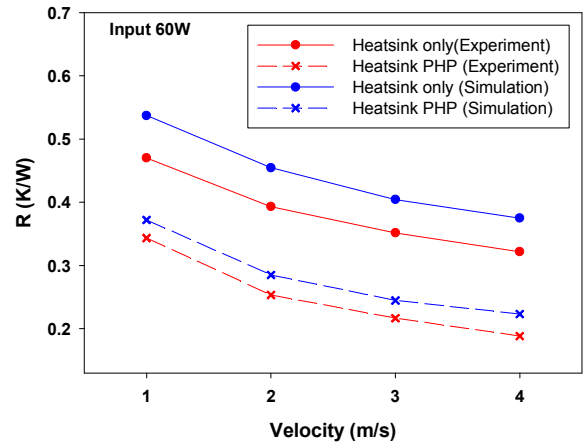


Fig. 8 Distribution diagram of temperature (Only heat sink)

Fig. 8은 히트싱크의 실험에 의한 열저항 값과 수치해석을 통한 열저항 값을 비교하여 나타낸다. 수치해석에 의한 열저항 값도 실험에 의한 값과 마찬가지로 유속에 따라 감소하며, 유속의 증가에 따라 열저항의 감소폭도 작아지는 것을 알 수 있다.

강제대류의 유속이 2m/s 일 때, 열저항은 실험을 기준으로 기존의 히트싱크는 0.393, PHP 결합형 히트싱크는 0.253이고, 해석에 의한 열저항은 기존의 히트싱크가 0.454, PHP 결합형 히트싱크가 0.285를 나타낸다. 이는 수치해석에 의한 열저항과 실험에 의한 열저항 값은 오차범위 20%를 만족한다. 다른 실험 조건에서도 실험 결과와 해석 결과는 비교적 잘 일치하였다.

4. 결론

진동형 히트 파이프를 결합하여 제작한 히트싱크의 냉각 성능 실험 및 수치해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기존의 히트싱크와 PHP 결합형 히트싱크에 히터의 열량을 30W, 60W, 80W, 100W로 변화시키면서 열저항을 비교한 결과, 열저항은 입력열량과는 상관없이 거의 비슷한 값을 나타내었으며 이는 히트파이프가 전자기기에 이용되는 다양한 용량의 히트싱크에 적용이 가능함을 나타낸다.

(2) PHP 결합형 히트싱크와 기존의 히트싱크의 표면 온도차는 입력열량이 30W에 유속이

1m/s 일 때, 가장 작은 5.4K이고, 입력열량이 100W에 유속이 4m/s 일 때, 15.9K로 가장 컸다. 이것은 입력열량이 크고 유속이 빨라질수록 PHP가 히트싱크의 냉각성능을 더욱 향상시키는 것을 나타낸다.

(3) 열저항은 유속이 4m/s 일때, 최저값을 가지며 기존의 히트싱크의 경우 0.308 K/W이고, PHP 결합형 히트싱크의 경우에는 0.162 K/W이다. PHP는 히트싱크의 냉각성능을 현저하게 향상시킨다.

(4) 유속이 1m/s ~ 4m/s로 증가할 때, PHP 결합형 히트싱크의 경우 열저항이 평균 49.99%, 기존의 히트싱크의 경우에는 평균 34.74% 감소하였다. 이는 PHP 결합형 히트싱크의 경우에 히트파이프도 히트싱크와 함께 강제대류에 의해 냉각됨으로써 열저항을 더욱 감소시킨 것으로 보인다.

(5) ANSYS CFX 10.0을 이용하여 수치해석을 수행한 결과, 수치해석에 의한 열저항과 실험에 의한 열저항 값은 오차범위 20%를 만족하였으며 다른 실험 조건에서도 실험 결과와 해석 결과는 비교적 잘 일치하였다.

참고문헌

- (1) Kim J H, Yoon J H, 2001, "An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics of Layered Heat Sink" *Sarek*, Vol. 13, No. 4, pp. 271-278.
- (2) Kim J S, Lee H J, 2002, "Performance Characteristics of Heat Sinks made of Porous Aluminum", *2002 School-to-work Symposium*, pp. 1378-1384.
- (3) Lee K W, Park K H, Lee K J, 2002. "Performance Analysis of Heat Pipe Heat Sink for Electronics Cooling", *Sarek*, vol. 14, No. 8, pp. 664-670.
- (4) Bintoro, J.G., Akbarzadeh, A., Mochizuki, M. and Nguyen, T., "A compact cooling system with triple technologies", *Proc. of the 7th Int. Heat Pipe Symposium*, pp.85-91.
- (5) Shaukatullah, H., Storr, W.R., Hansen, B.J. and Gaynes, M.A., 1996, "Design and optimization of pin fin heat sinks for low velocity applications",

IEEE Trans, on Component, Packaging, and Manufacturing Technology - Part A, vol. 19, No. 4, pp.486-494.

- (6) Lee S H, Kong S W, Kim J H, Kim J S, 2006, "A Study on the Cooling Performance of Cosmetic Refrigerator using Thermoelectric module and Pulsating Heat Pipe", *Proceedings of the KSME 2006 Fall Annual Meeting*, pp.1573-1578