

## PHP를 결합한 알루미늄 히트싱크의 냉각성능에 관한 연구

김종수<sup>†</sup> · 하수정<sup>1</sup> · 권용하<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2011년 8월 17일, 원고수정일 : 2011년 10월 11일, 심사완료일 : 2011년 11월 10일)

### A Study on Cooling Performance of Aluminium Heat Sink with Pulsating Heat Pipe

Jong-Soo Kim<sup>†</sup> · Soo-Jung Ha<sup>1</sup> · Yong-Ha Kwon<sup>1</sup>

**요 약 :** 열전소자를 이용한 냉각 장치에 있어서 열전소자발열부족의 제거 열량은 제품의 성능 및 적용범위를 결정하는 주요변수가 되므로 히트싱크의 열저항을 최소화 할 수 있는 최적 조건의 히트싱크 설계를 필요로 한다. 발열부가 작고 상대적으로 히트싱크 면적이 커서 히트싱크 전체면으로 열확산이 필요한 경우 히트싱크의 방열 성능을 향상시키기 위하여 작동유체 R-22의 진동형 히트파이프를 이용하여 열전소자의 발열부족의 발열량(30W, 60W, 80W, 100W)과 공기 유속(1~4 m/s)에 따른 히트싱크의 열저항 실험 및 수치해석 결과와 비교 분석을 통해 히트싱크의 냉각 성능을 향상 시킬 수 있는 방법을 연구하였다.

**주제어 :** 고성능 히트싱크, 진동형 히트파이프, 열저항, 성능향상

**Abstract:** The enhancement for cooling performance of heat sink is surely necessary to guarantee the performance of electronic products. So in this paper, the cooling performances of the aluminum heat sink with pulsating heat pipe(PHP) were investigated experimentally and numerically. The pulsating heat pipe was used as a heat spreader. Working fluid of PHP was R-22. Heat inputs were 30W, 60W, 80W and 100W, respectively. Heat sink was tested for forced convection conditions with air velocity of 1 ~ 4m/s. And CFD simulations were conducted for two different heat sinks. The results showed that the cooling performance of heat sink with pulsating heat pipe was higher than that of conventional heat sink. Therefore, the pulsating heat pipe can be a good tool to improve cooling performance of heat sink.

**Key words:** High-performance heat sink, Pulsating heat pipe, Thermal resistance, Performance enhancement

#### 기호설명

Q : 방열량 [W]  
V : 풍속 [m/s]  
R : 열저항 [K/W]  
 $\Delta T$  : 온도차 [K]

하첨자

conv : 대류  
cond : 전도

overall : 총괄  
rad : 복사

#### 1. 서 론

컴퓨터와 IT 관련기기 및 LED 등은 고성능화, 고출력화 되고 있으며 이와 더불어 전자 제품의 발열량이 증가하고 있다. 이는 제품의 성능을 저하시키거나 고장의 원인이 되기 때문에 제품의 내구성 및 신뢰성에 큰 영향을 준다. 이에 따라 전자소

<sup>†</sup> 교신저자(부경대학교 냉동공조공학과, E-mail: jskim@pknu.ac.kr, Tel: 051)629-6176)

<sup>1</sup> 부경대학교, 냉동공조공학과

자로부터 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 히트싱크 냉각 성능의 향상에 관한 연구가 대단히 중요하게 되었다[1].

특히, 소형 전자제품의 경우 열전소자를 이용한 냉각 방식이 각광을 받고 있다. 열전소자를 이용한 냉각 장치에 있어서 열전소자발열부측의 제거 열량은 제품의 성능 및 적용범위를 결정하는 주요변수가 된다. 따라서 히트싱크의 열저항을 최소화 할 수 있는 최적 조건의 히트싱크 설계를 필요로 한다[2-3].

현재 가장 널리 사용되고 있는 히트싱크는 알루미늄 압출식 평행핀 형상이다. 알루미늄은 열전도도가 우수하고 재료 물성 변화가 없기 때문에 히트싱크의 주된 소재로 사용된다. 그러나, 열전소자의 발열부측의 크기가 작고 알루미늄 소재를 활용한 히트싱크의 크기가 클 경우 히트 싱크 전체면으로 열확산이 어려운 경우가 발생한다[4-6]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 열전도 소자인 진동형 히트파이프 (pulsating heat Pipe : 이하 PHP)가 대안이 될 수 있을 것이다. PHP는 증발부와 응축부 사이에서 발생하는 작동유체의 진동으로 인해 작동유체가 가지고 있는 잠열을 수송하여 열을 전달한다. 따라서 우수한 열전달 성능 및 응축부에서 응축된 액을 증발부로 환류시키는 워(wick)이 없으므로 구조가 간단하고 다양한 형상의 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다[7].

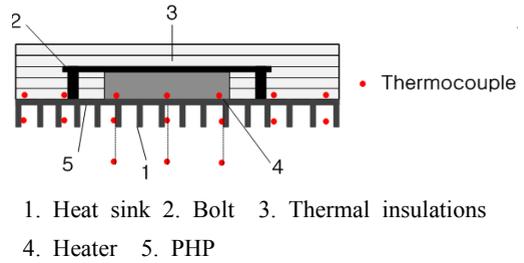
따라서 본 연구에서는 발열부가 작고 상대적으로 히트싱크 면적이 커서 히트싱크 전체면으로 열확산이 필요한 경우 히트싱크의 방열 성능을 향상시키기 위하여 PHP를 적용하여 열전소자의 발열부측의 발열량과 공기 유속에 따른 히트싱크의 열저항 실험을 수행하였다. 또한 수치해석 결과와 비교 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 히트싱크 열저항 실험장치

Figure 1은 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 크게 히트싱크 시험부, 유속크기를 조절하는 제어부와 데이터 처리부로 구성된다. 시험부는 사출 성형 알루미늄 히트싱크와 3 mm 동관으로 제작된

### Test section :



- 1. Heat sink 2. Bolt 3. Thermal insulations
- 4. Heater 5. PHP

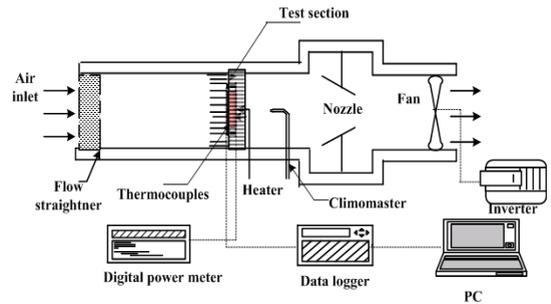


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus for heat sink with PHP.

루프형 PHP를 결합한 히트싱크를 사용하였다. Figure 2는 히트싱크의 형상이다. 히트싱크의 세부 규격은 Table 1에 나타내었다. Figure 3은 알루미늄 히트싱크에 결합한 PHP의 형상이다.

알루미늄 히트싱크와 PHP결합은 알루미늄 핀과 핀사이 PHP의 접촉저항을 줄이기 위해 PHP의 직경과 동일한 홈을 가공하여 PHP를 삽입하고 기계적으로 압착하였다. PHP는 외경 3mm, 내경 2mm의 동관으로 제작하였으며, 길이 330 cm, 140 g, 체적  $103.7 \text{ cm}^3$ , 전열면적  $311 \text{ cm}^2$ 이며 총 9턴으로 구성되어 있다. PHP의 세부사항은 Table 1에 나타내었다. 제작된 PHP 내부의 불응축 가스를 제거하고 작동유체를 충전하기 전에 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 구성된 고진공 시스템으로  $5 \times 10^{-5}$  torr까지 완전히 진공시켰다. 작동유체 및 봉입량은 선행연구 결과로서 R-22와 PHP내부 체적의 40%로 선정하였다. 본 실험에서는 히트싱크의 열저항 성능을 알아보기 위해 흡입형 소형풍동을 제작하여 PHP를 결합한 히트싱크를 개방형 풍동장치 내부에 장착하였다.

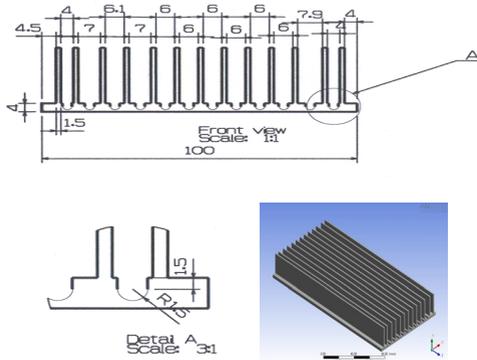


Figure 2: Schematic diagram of Heat sink.

Table 1: Specification of aluminium heat sink.

Size (L×W×T) (mm)	200×100×30	
Material	Aluminum 6061 T6	
Heat transfer area (m <sup>2</sup> )	0.18	
fin	Number(EA)	13
	Size (L×W×T) (mm)	200×1.5×26
	Conductivity (W/mK)	142.36

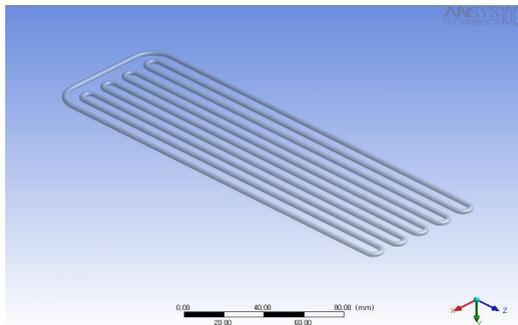


Figure 3: Schematic diagram of PHP.

공기 유입측에 기류 안정과 이물질 유입 방지를 위해 스크린 메쉬(screen mesh)를 설치하였다. 공기 입·출구 온도 계측부, 플레넘 챔버(plenum chamber), 노즐 유량계 그리고 송풍기 및 인버터로 구성되고, 송풍기(centrifugal fan: 40 mmAq, 4500

m<sup>3</sup>/h)에 연결된 인버터를 이용하여 풍량을 조절하였다. 본 실험에 사용된 가열장치는 열전소자의 크기와 동일한 가로 세로 50 mm, 두께 3 mm의 판형 히터를 사용하였으며, 디지털 파워미터(digital power meter)로 전력량을 측정하였다. 히터 유입 전력량은 슬라이더스를 이용하여 조절하였다. 히터와 히트싱크 사이의 접촉 열저항을 줄이기 위하여 써머그리즈(thermal grease)를 사용하였으며 외부로의 열손실을 방지하기 위해 단열재로 단열하였다. 히트싱크 열저항을 구하기 위해 입·출구 공기의 온도, 히터표면온도, 히트싱크의 온도, 그리고 대기온도를 직경 1.68 mm T형 열전대를 부착하여 측정하였다. 2초당 측정된 데이터는 DR-230 hybrid recorder를 통해 PC에 저장하였다.

### 2.2 히트싱크 열저항 측정방법

히트싱크의 열저항을 구하기 위해 입열량 및 풍속 변화에 대한 실험을 수행하였다. 풍속은 1~4 m/s까지 1 m/s씩 증가시키면서 실험하였다. 입열량은 30 W, 60 W, 80 W, 100 W에 대하여 실험을 수행하였다.

모든 실험은 히터 온도 정상상태일 때의 입력된 전력량, 히터온도, 주위온도 등을 측정하였다. 히트싱크의 온도는 히트싱크의 상·중·하 3부분의 온도를 측정하여 평균값을 사용하였다.

### 2.3 실험결과와 처리방법

기존의 알루미늄 히트싱크와 PHP결합형 알루미늄 히트싱크의 냉각 성능을 비교하기 위한 실험데이터의 계산과정은 다음과 같다. 우선, 식을 간략화하기 위해 히터 반대 방향은 100%로 단열된 상태로 가정하면, 히트싱크에서 열평형은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서  $Q_{\text{cond}}$ 는 히터와 접촉한 히트싱크까지 전도에 의한 방열량이고,  $Q_{\text{conv}}$ 는 히트싱크에서 외기까지 대류에 의한 방열량이며  $Q_{\text{rad}}$ 는 복사에 의한 방열량으로 이는 무시하였다. 히트싱크의 전체 열저항은 다음과 같이 정의된 식 (2)로 표현할 수 있다.

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

여기서  $\Delta T_{overall}$ 은 히터와 접한 히트싱크 상부지점의 표면 온도와 대기 온도의 차이이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 히트싱크의 표면온도 비교

Figure 4는 풍속에 따른 히트싱크의 표면 온도를 나타낸 것이다. 모든 실험 결과는 풍속이 증가할수록 표면 온도가 낮게 나타나고, 입력열량이 증가할수록 표면 온도가 높아졌다. 그리고 온도차는 입력열량이 30 W에 유속이 1 m/s 일 때, 가장 작은 5.4 K이고, 입력열량이 100 W에 유속이 4 m/s 일 때, 15.9 K로 가장 컸다. 이것은 입력열량이 크고 공기유속이 빨라질수록 PHP가 히트싱크의 방열에 더욱 효과적인 것을 알 수 있다. 동일한 입력열량에서는 PHP결합형 히트싱크가 기존 히트싱크에 비해 표면 온도가 낮게 나타났다. 이는 PHP가 열확산기(Thermal spreader)로써의 역할을 잘 수행하여 입력된 열을 히트싱크 전체로 확산시켰기 때문으로 판단된다.

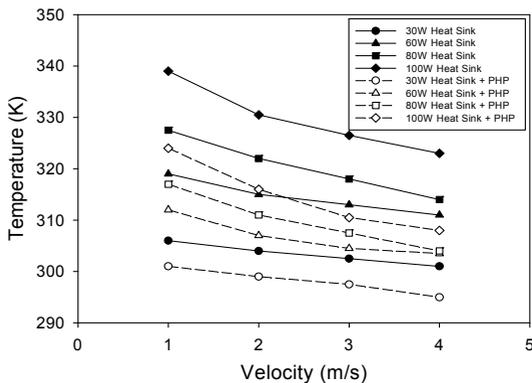


Figure 4: Variation of heat sink surface temperature with air velocity.

#### 3.2 히트싱크의 열저항

본 실험에서는 기존의 히트싱크만 사용한 경우와 PHP를 열확산기로 적용한 PHP결합형 히트싱크의 방열 성능비교를 위해 히트싱크의 열저항을 계산하였다.

Figure 5는 히트싱크에 히터를 결합하여 히터의 열량을 30 W, 60 W, 80 W, 100 W로 변화시키면서 공기유속에 따른 히트싱크의 열저항을 비교한 값이다. 두 가지 타입 모두 풍속의 증가에 따라 열저항은 감소하였으며, 유속은 1 m/s에서 4 m/s로 증가할 때 기존 히트싱크의 경우에는 평균 34.7% 감소한 반면에 PHP결합형 알루미늄 히트싱크의 경우 열저항이 평균 50% 감소하였다. 열저항은 공기유속이 4 m/s일 때, 알루미늄 히트싱크의 경우 0.308 K/W이고, PHP결합형 히트싱크의 경우에는 0.162 K/W이다. 즉, 히트싱크에 PHP를 열확산기로 적용함으로써 히트싱크의 방열 성능을 90%정도 향상시킬 수 있었다.

### 4. 수치해석

#### 4.1 수치해석 방법

수치해석은 상용 프로그램인 ANSYS CFX (version 10.0)을 이용하여 실시하였다. 수치해석에 사용된 모델링은 실제 실험에 기초하여 실시하였으며 실험 단면의 1/4을 해석하는 조건으로 대칭의 경계조건을 적용하였고, 해석에 사용된 히트싱크의 격자수는 약 420,000개이다. 본 연구의 수치해석에 사용된 유체는 공기이며 뉴턴유체, 비압축성, 정상유동으로 가정하였으며, CFD 해석시 2상유동에 대한 수치해석이 불가하므로 평균유효 온도(effective thermal conductivity)를 고려하여 실시하였다. 평균유효 온도는 식(3)으로 정의된다.

$$\lambda_{effective} = \lambda_{Al} \times a + \lambda_{PHP} \times b \quad (3)$$

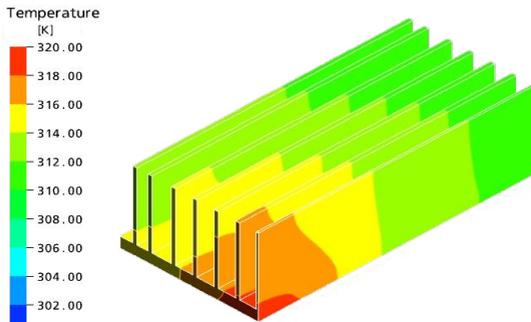
여기서,  $a$ 는 Al히트싱크의 전열면적,  $b$ 는 PHP의 전열면적을 의미한다.

열량 60 W에 유속을 1 ~ 4 m/s로 변화시키면서 기존 히트싱크와 PHP를 적용한 히트싱크 두 가지 타입에 대하여 실시하였다. 일반적으로 전자기기에서 사용되는 공기 유속 2 m/s 일 때의 히트싱크 온도분포를 Figure 6에 나타내었다.

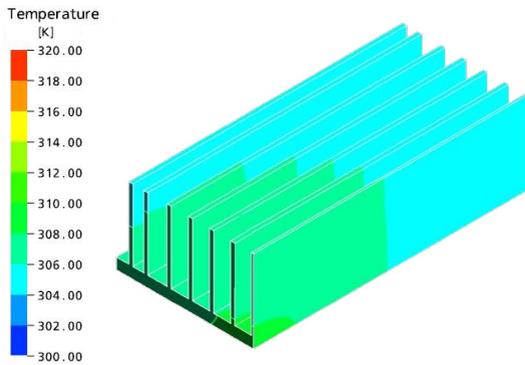
#### 4.2 수치해석 결과

공기 유속 2 m/s 일 때, 기존 알루미늄 히트싱크의 경우 305 ~ 320 K정도의 온도분포를 나타내며

PHP결합형 히트싱크는 302 ~ 308 K정도의 온도분포를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 PHP를 결합함으로써, PHP가 thermal spreader로 작용하여 히트싱크 전체로 열전도가 이루어져 알루미늄 히트싱크의 온도가 균일화되는 것을 알 수 있다. Figure 7은 히트싱크의 실험에 의한 열저항 값과 수치해석을 통한 열저항 값을 비교하여 나타내었다.



(a) Conventional heat sink



(b) Heat sink with PHP

Figure 6: Distribution diagram of temperature.

수치해석에 의한 열저항 값도 실험에 의해 얻어진 값과 마찬가지로 공기유속에 따라 감소하며, 유속의 증가에 따라 열저항의 감소폭도 작아지는 것을 알 수 있다.

강제대류의 유속이 2 m/s일 때의 열저항은 실험을 기준으로 기존의 히트싱크는 0.393 k/W, PHP결합형 히트싱크는 0.253 k/W이고, 해석에 의한 열저항은 기존의 히트싱크가 0.454 k/W, PHP 결합형

히트싱크는 0.285 k/W를 나타낸다. 이는 수치해석에 의한 열저항과 실험에 의해 얻어진 열저항 값은 오차범위 5%를 만족한다. 다른 유속 조건에서도 실험 결과와 해석 결과는 비교적 잘 일치하였다.

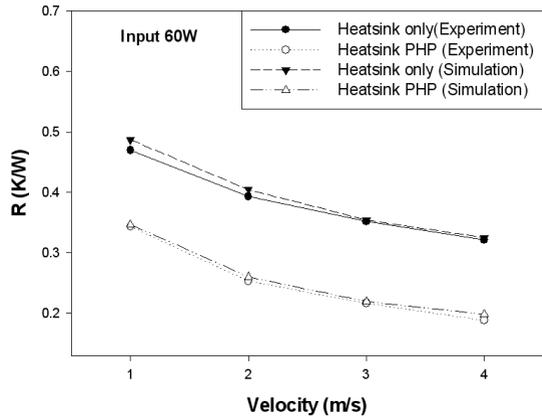


Figure 7: Comparison of thermal resistance between numerical results and experimental results.

### 5. 결 론

PHP를 결합하여 제작한 알루미늄 히트싱크의 방열 성능 실험 및 수치해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기존 알루미늄 히트싱크에 Thermal spreader 역할을 할 수 있는 PHP를 결합시킴으로써 90%이상의 방열 성능을 향상시킬 수 있었다.

(2) PHP를 결합한 알루미늄 히트싱크는 입열량 및 공기 유속이 큰 영역에서 방열 성능이 더욱 우수하였다.

(3) 유속이 1 ~ 4 m/s로 증가할 때 PHP결합형 히트 싱크의 경우 열저항이 평균 49.9%, 기존의 히트싱크의 경우에는 평균 34.7%감소하였다. 이는 PHP 결합형 히트싱크의 경우에 히트파이프도 히트싱크와 함께 강제대류에 의해 냉각됨으로써 열저항을 더욱 감소시킨 것으로 보인다.

(4) PHP는 유속이 증가하고 입력 열량이 커질수록 히트싱크의 냉각성능을 향상시키는 것으로 나타났다. 이는 히트파이프가 전자기기에 이용되는 다양한 열량의 히트싱크에 적용이 가능함을 보여준다.

(5) ANSYS CFX를 이용하여 수치해석을 수행한 결과, 수치해석에 의한 열저항과 실험하여 PHP를 결합한 알루미늄 히트싱크의 온도 분포 평균화를 도식화 하였으며 열저항의 실험치와 계산치가 잘 일치되는 것을 확인하였다.

**참고문헌**

[1] J. H. Kim and J. H. Yoon, "An experimental study on the thermal resistance characteristics of layered heat sink" SAREK, vol. 13, no. 4, pp. 271-278, 2001.

[2] J. S. Kim, N. H. Bui, J. W. Kim and J. H. Kim, "Flow visualization of oscillating characteristics of liquid and vapor flow in the oscillating capillary tube heat pipe", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, vol. 17, no. 10, pp. 1507-1519, 2003

[3] K. W. Lee, K. H. Park and Lee K J, "Performance analysis of heat pipe heat sink for electronics cooling", Journal of the Korean Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, vol. 14, no. 8, pp. 664-670, 2002.

[4] J. G. Bintoro, Akbarzadeh, A. Mochizuki, M. and Nguyen. T, "A compact cooling system with triple technologies", Proceedings of the 7th Int'l. Heat Pipe Symposium, pp. 85-91, 2003.

[5] H. Shaukatullah, W. R. Storr, B. J. Hansen, and M. A. Gaynes, "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, 1996.

[6] S. H. Lee, S. W. Kong and J. S. Kim, "A study on the cooling performance of cosmetic refrigerator using thermoelectric module and Pulsating Heat Pipe", Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting, pp. 1573-1578, 2006

[7] W. H. Lee, "Study on Heat transfer and flow characteristics of oscillating capillary tube heat pipe", Pukyong National University Graduate

School Thesis for a degree of doctor, pp. 66-124, 2000.

**저 자 소 개**



**김종수(金鍾秀)**

1977년 부산 수산대학교 식품공학과(공학사), 1982년 부산 수산대학교 냉동공학과(공학석사), 1989년 와세다대학교 기계공학과(공학박사), 1983년 - 현재 부경대학교 냉동공조공학과(교수). 관심분야 냉동공학, 열전달, 공기조화, 열교환기, 진동형 히트파이프



**하수정(河水晶)**

2001년 부경대학교 냉동공조공학과(공학사), 2003년 부경대학교 냉동공조공학과(공학석사), 2005년 부경대학교 냉동공조공학과(박사수료), 현재 부경대학교 냉동공조공학과 강사, 관심분야 히트파이프, 열교환기, LED방열



**권용하(權容廈)**

2002년 부경대학교 냉동공조공학과(공학사), 2004년 부경대학교 냉동공조공학과(공학석사), 2007년 부경대학교 냉동공조공학과(박사수료), 현재 부경대학교 냉동공조공학과 강사, 관심분야 열교환기, 환기장치, 초저온공학