

컴퓨터 CPU 냉각용 미세채널 워터블록의 열성능에 관한 연구

최 미 진**, 권 오 경, 차 동 안, 윤 재 호*

한국생산기술연구원 열유체시스템팀

A Study on Thermal Performance of Microchannel Waterblock for Cooling of CPU in Desktop

Mi-Jin Choi**, Oh-Kyung Kwon, Dong-An Cha, Jae-Ho Yun*

ABSTRACT: The microchannel waterblock has a good capability in the cooling of electronic devices. The object of this paper is to study on thermal performance of microchannel water block for cooling of CPU in desktop. The effects of header shape, liquid flow rate, and inlet temperature on the thermal performances of microchannel waterblock are investigated experimentally. Three types of waterblock with different header shape are manufactured from the micro milling and brazing processing. The experiments are conducted using water, over a liquid flow rate ranging from 0.7 to 2.0 LPM and inlet temperature ranging from 20 to 35°C. Waterblocks are attached both horizontally and vertically on the test section to anticipate a performance of waterblock under the actual state in computer. The base temperature and thermal resistance decrease with increasing of liquid flow rate. It was found that the sample #1 was appropriate for the prototype of liquid cooling system.

Key Words: Base Temperature(밑면 온도), Microchannel(마이크로채널), Pressure Drop(압력강하), Thermal Resistance(열저항), Waterblock(워터블록)

기호설명

D_h : 상당직경, 식(2) [mm]
 H : 높이 [mm]
 P : 파워서플라이 열량 [W]
 R : 열저항, 식(1) [°C/W]
 T : 온도 [°C]
 W : 폭 [mm]

a : 형상비, 식(3)

하첨자

base : 베이스부
ch : 채널
fin : 핀
in : 입구

그리스 문자

1. 서론

† Corresponding author
Tel.: +82-41-589-8342; fax: +82-41-589-8330
E-mail address: kut01@kitech.re.kr

칩의 고집적화로 전자통신 기기 및 부품의 성능은 눈부신 속도로 발전해 왔으며 그 크기는 점점 작아지고 있다. 그러나 칩의 고집적화는 단위면적당 발열량의 증가, 기기의 소형화는 냉각 시

스텝의 공간적 제한이라는 이면을 가지고 있다. 이러한 상황에서 칩으로부터 발생하는 열을 효율적으로 순환시켜 주지 못할 경우, 시스템 온도 상승으로 인해 칩 성능의 안정성에 문제가 발생한다. 이러한 이유로 전자통신 기기 및 부품의 냉각기술은 그 성과와 직결되어 다양한 형태로 연구가 진행되어 왔다.

그중 하나인 마이크로채널은 Tuckerman 등⁽¹⁾이 초고집적회로(VLSI)의 냉각을 위해 처음으로 제안하였다. 마이크로채널은 제작기술의 발달로 단위부피당 열교환 면적을 극대화 (~105m²/m³) 할 수 있다.⁽²⁾ 또한 물을 작동유체로 사용할 경우 공기를 사용할 때 보다 열전달 계수가 100배정도 큰 이점을 가지고 있다.⁽³⁾ 이러한 점에 착안하여 CPU 냉각을 위해 사용하던 기존의 공냉(Air cooling) 방식의 제품을 대체할 수냉(Liquid cooling) 방식의 제품이 개발되고 있다.

수냉 방식은 워터블록(Waterblock), 라디에이터(Radiator), 펌프(Pump), 팬(Fan), 저장조(Reservoir) 및 냉매 배관 등으로 구성되어 있다. 펌프를 통해 작동유체가 순환되며 워터블록이 열원으로부터 흡수한 열을 라디에이터에서 방출하여 냉각하는 방식이다. 이 중 워터블록의 성능은 수냉 방식의 제품 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 직사각형의 미세채널을 갖는 워터블록의 열성능에 관한 실험을 수행하였다. 헤

더부 형상에 따른 열성능을 평가하기 위해 서로 다른 헤더 형태를 가진 총 3종의 시제품을 설계·제작하였다. 워터블록의 입구온도 및 유량의 변화, 수평·수직 부착에 따른 바닥면의 표면온도, 열저항, 압력강하를 측정하였으며 수냉 방식의 시제품 설계에 필요한 기본 데이터로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치를 나타낸 것이다. 항온조에서 나온 작동유체는 마이크로기어펌프를 통해 일정 유량으로 유지되면서 실험부(Test section)로 보내진다. 이때 불순물을 제거하기 위해 마이크로 필터를 사용하였으며 전자유량계를 통해 유량이 측정된다. 실험부의 입출구에서는 차압계를 통해 압력강하를 측정하였고, 워터블록의 밑면에는 파워서플라이(DC power supply)에 의해 일정 열량이 가해진다. 워터블록 밑면의 온도를 측정하기 위해 5개의 T타입 열전대(Thermocouple)를 사용하였다. 각각의 측정 결과는 데이터 레코더(Data recorder)에 의해 저장된다.

Fig. 2는 워터블록의 내부 형상에 대한 상세도이다. 재질은 구리이며, 내부 채널은 마이크로 밀

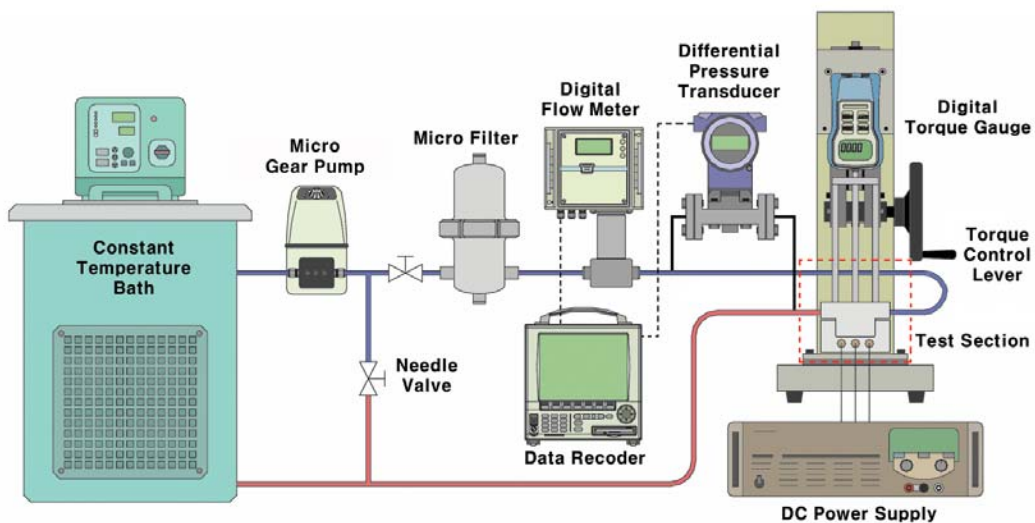


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

링가공을 하였고 외부에 커버가 브레이징으로 부착되어 채널을 형성하게 된다. 표시된 치수는 시제품 3개에 대해 공통된 사항이며 W_{ch} , W_{fin} , H_{base} , H_{ch} 는 Table 1에 나타내었다. 채널의 상당 직경은 0.76mm이다.

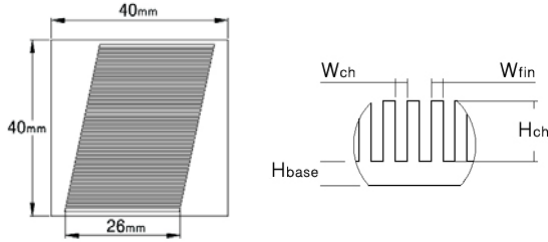


Fig. 2 Details of microchannel waterblock.

Table 1 Specifications of water block

W_{ch} (mm)	H_{ch} (mm)	W_{fin} (mm)	H_{base} (mm)	D_h (mm)	α
0.4	7.5	0.5	1	0.76	18.75

Table 2 Shape of header

Sample No.	Header shape
#1	
#2	
#3	

Table 3 Experimental conditions

Parameters		Range
Water	Flow rate (L/min)	0.7, 1.2, 1.7, 2.0
	Temp.(°C)	20, 25, 30, 35
Input power(W)		150

Table 2는 각각의 시제품에 대한 헤더의 형상을 정리하였다. 샘플 #1과 #2는 대각선 방향으로 입출구가 나와 있으며 샘플 #3은 가운데로 나와 있다.

Table 3은 실험조건을 정리한 내용이며, CPU 발열량은 150W를 가정하여 워터블록 밑면에 파워플라이로 일정하게 가하였다. 또한 실제 컴퓨터에 설치 될 경우의 성능을 예측해 보기 위해 동일한 실험조건으로 수평뿐만 아니라 수직으로 부착하여 실험하였다.

2.2 실험관계식

워터블록의 열적인 성능을 알아보기 위해서 열저항은 식 (1)과 같이 구하였으며 상당직경과 형상비는 식(2) 및 (3)과 같이 구하였다.

$$R = \frac{T_{base} - T_{in}}{P} \quad (1)$$

$$D_h = \frac{2 W_{ch} H_{ch}}{W_{ch} + H_{ch}} \quad (2)$$

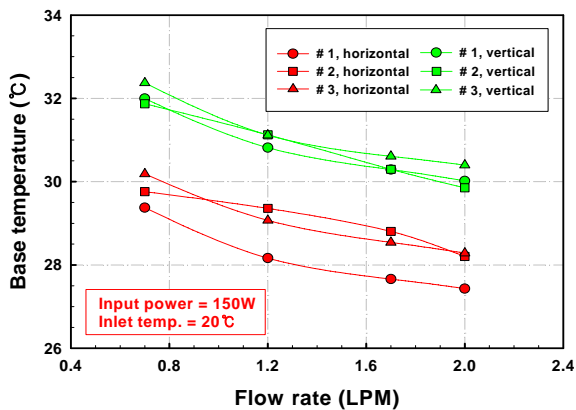
$$\alpha = \frac{H_{ch}}{W_{ch}} \quad (3)$$

3. 실험결과 및 고찰

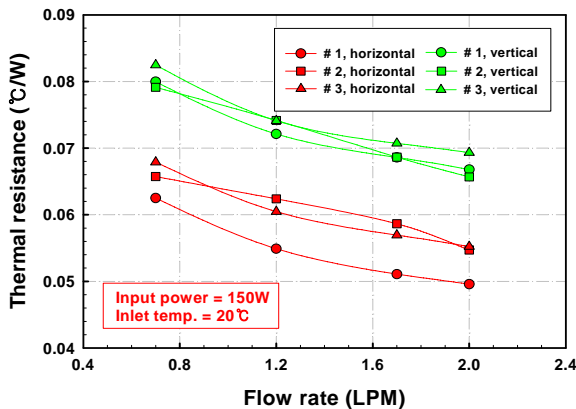
3.1 열전달 특성

Fig. 3은 각 샘플에 대해 유량에 따라 변하는 열전달 특성을 수직 및 수평에 대해 함께 비교하였다. 공급되는 열량은 150W, 입구 온도는 20°C

이다. 작동유체의 유량이 증가함에 따라 워터블록 밑면의 온도와 열저항이 감소하는 일반적인 경향을 보였다. 또한 수평으로 부착되었을 때 보다 수직으로 부착되었을 경우 열전달 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 수직으로 부착될 경우 중력의 작용으로 인한 작동유체의 불균등한 분배 때문이라 판단된다. 샘플 #1의 경우 2.0 LPM 일때 워터블록 밑면의 온도가 수직에서 27.43°C, 수평에서 30.02°C, 열저항이 각각 0.05°C/W, 0.067°C/W로 열전달 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 샘플 #2의 경우 유량 증가에 따른 열전달 성능 향상 경향이 다른 샘플들과는 상이한 결과를 보이고 있다. 이는 샘플 #2의 물이 유입되어 나가는 방향과 채널 내로 흐르는 방향이 평행하지 않아 생기는 내부 유동의 특이성 때문으로 판단된다.



(a) Variation of base temperature

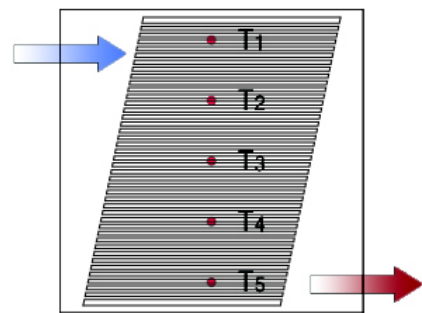


(b) Variation of thermal resistance

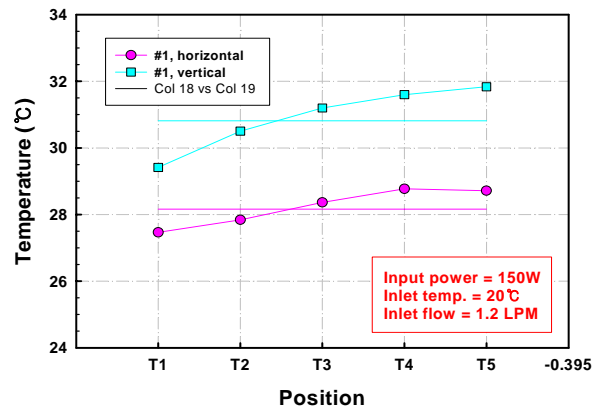
Fig. 3 Comparison between horizontal and vertical .

Fig. 4는 열전대의 위치에 따른 워터블록 밑면의 온도분포를 나타낸 것이다. 입구에서 출구로 갈수록 온도가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 수직 실험에서 최저 온도와 최고온도의 차이가 2°C 로 수평 실험에 비해 높게 나타났다. 이는 유량의 분배가 수평일 때 보다 균일하지 않다는 판단의 근거가 될 수 있다.

Fig. 5는 샘플 #1의 물의 유입온도변화에 따른 워터블록 밑면의 온도변화를 나타내었다. 실제 워터블록이 컴퓨터 내에 설치되어 사용될 경우 주위 환경의 영향으로 인해 유입되는 물의 온도는 20°C 이상이다. 이와 동일한 조건에서 워터블록의 열전달 성능을 확인해 보았다. 수평 및 수직 실험의 결과 입구의 온도가 증가함에 따라 워터블록 밑면의 온도가 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 수직 실험에서 유량이 0.7LPM인



(a) Position of thermocouples

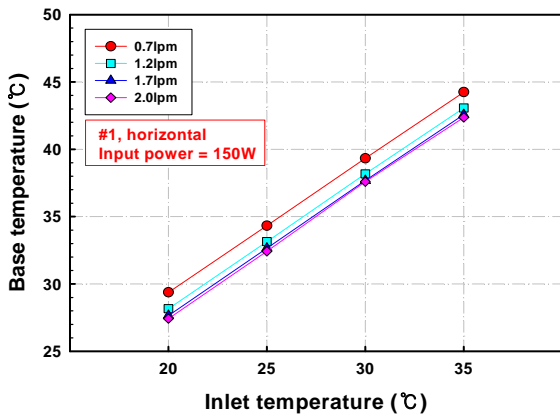


(b) Base temperature at each position

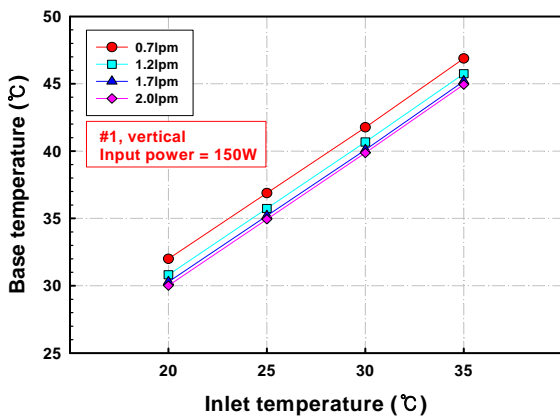
Fig. 4 Temperature distribution on the base.

경우에도 물의 온도가 35℃일 때 밑면의 온도가 46.89℃ 였다. 일반적으로 CPU 허용온도는 60℃ 이내이므로⁽⁴⁾ 향후 수냉 방식의 시제품 제작을 위한 워터블록 선정에 샘플 #1의 형태를 선택하는 것이 타당하다.

Fig. 6은 샘플 #1의 물의 유입온도변화에 따른 열저항의 결과를 나타내었다. 입구 온도가 증가함에 따른 열저항은 일정함을 확인하였다. 이는 워터블록 밑면의 온도변화가 선형적이고 결과적으로 식(1)의 $T_{base} - T_{in}$ 의 값이 일정하기 때문이다. 이를 통해 열량과 유량이 일정할 때 임의의 입구 온도에 대한 워터블록 밑면의 온도를 예측 할 수 있다.



(a) Horizontal experiment result

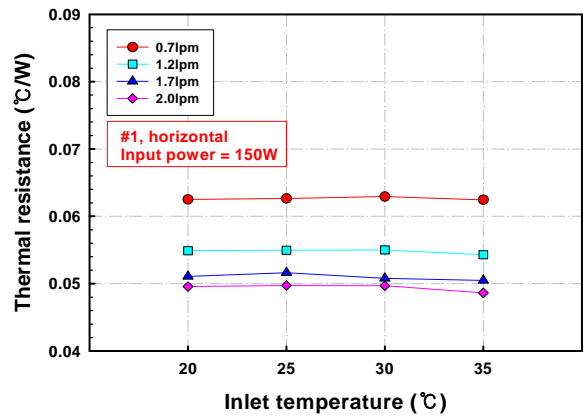


(b) Vertical experiment result

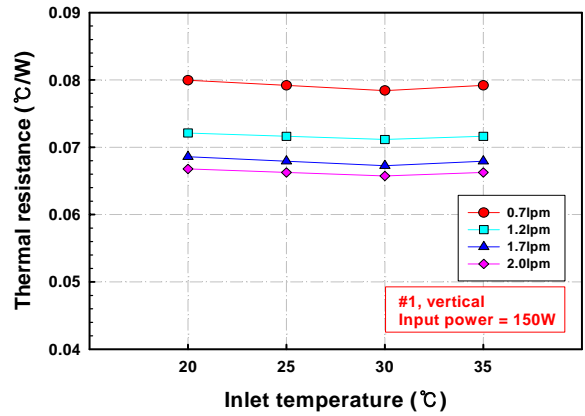
Fig. 5 Variation of base temperature with inlet temperature.

3.2 압력강하 특성

Fig. 7은 주어진 열량이 150W일 때 유량에 따른 각 샘플들의 압력강하 변화를 나타내었다. 모든 실험에서 유량이 증가함에 따라 압력강하의 증가율은 커지고 있으며, 열전달 성능이 좋은 수평 일 때 압력강하가 크음을 알 수 있다. 이는 열전달 성능을 높일수록 압력강하가 커지는 일반적인 경향과 일치한다. 마찬가지로 열전달 성능이 떨어지는 샘플 #3의 압력강하가 가장 낮게 나옴을 확인할 수 있었다. 샘플 #1의 압력강하가 가장 높은 것으로 나왔지만 그 차이가 크지 않고, 최고



(a) Horizontal experiment result



(b) Vertical experiment result

Fig. 6 Variation of thermal resistance with inlet temperature.

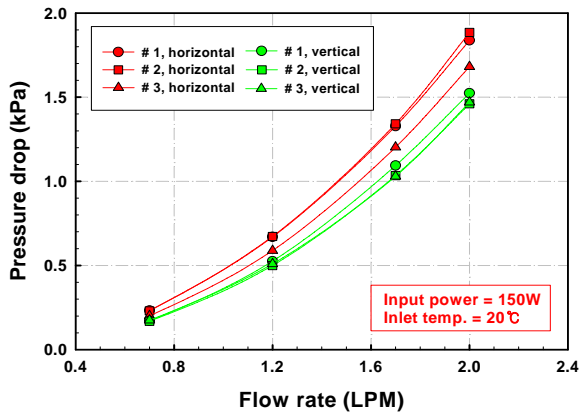


Fig. 7 Pressure drop with inlet flow rate.

유량 2.0 LPM일 때 이전 샘플들의 압력강하 (8kPa 이상)⁽⁵⁾의 25%에 해당하는 2kPa 이내이므로 수냉 방식의 시제품에 적합함을 확인하였다.

4. 결론

컴퓨터 CPU 냉각용 미세채널 워터블록의 열 성능에 관한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 작동유체의 유량이 증가함에 따라 워터블록 밑면의 온도 및 열저항은 감소하였으며, 샘플 #1의 경우 열량 150W, 입구온도 20°C, 유량 2.0 LPM 일때 워터블록 밑면의 온도가 수직에서 27.43°C, 수평에서 30.02°C, 열저항이 각각 0.05°C/w, 0.067°C/W 로 열전달 성능이 가장 뛰어난 것으로 나타났다.

(2) 샘플 #1의 바닥면의 온도분포는 입구에서 출구로 갈수록 온도가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 수평실험보다 수직실험에서 최저온도와 최고온도의 차가 큰 것을 확인할 수 있었다.

(3) 열량이 150W로 주어 질 때 작동유체의 입구온도가 증가함에 따라 바닥면의 온도는 선형적으로 증가하며 열저항은 일정한 값을 갖게 된다. 이를 통해 열량과 유량이 일정할 때 열저항으로부터 임의의 입구 온도에 대한 워터블록 바닥면

의 온도를 예측 할 수 있다.

(4) 작동유체의 유량이 증가함에 따라 압력강하의 증가율은 커지고 있으며, 수평실험의 압력강하가 더 높게 나타났다. 샘플 #1의 압력강하가 가장 높은 것으로 나왔지만 그 차이가 크지 않고, 최고 유량 2.0 LPM일 때 이전 샘플들의 압력강하 (8kPa 이상)⁽⁵⁾의 25%에 해당하는 2kPa 이내이므로 수냉 방식의 시제품 제작에 적합함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국가과학기술위원회산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 "차세대 냉각시스템 기술개발"의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Tuckerman, D. B. and Pease, R. F., 1981, High Performance Heat Sinking for VLSI, IEEE Electronic Devices Letters EDL-2, pp. 126-129.
2. Incropera, F. P., 1999, Liquid Cooling of Electronic Devices by Single-Phase Convection, Wiley, New York, pp. 151-153.
3. Steinberg, D. S., 1991, Cooling Techniques for Electronic Equipment, Wiley, New York, pp. 371-372.
4. Cho, Y. J., Choi, C. H., Kim, J. J. and Lee, J. H., 2001, Optimum Design of Microchannel Heat Sinks, Trans. of the KSME(B), Vol. 25, No. 1, pp. 117-123.
5. Kwon, O. K., Choi, M. J., Cha, D. A. and Yun, J. H., 2007, An Experimental Study on Cooling Performance of Microchannel Waterblock for Electronic Devices Cooling, Proceedings of the SAREK 2007 Summer Annual Conference, pp. 1242-1247.