전자기기 냉각용 마이크로채널 워터블록의 냉각성능에 관한 실험적 연구

권오경†·최미진*·차동안*·윤재호*

An Experimental Study on Cooling Performance of Microchannel Waterblock for Electronic Devices Cooling

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

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

Abstract

The demand of high speed and miniaturization of electronic devices results in increased power dissipation requirement for thermal management. In this work, the effects of microchannel width, height and liquid flowrate on the cooling performances of microchannel waterblock are investigated experimentally. The microchannel waterblock considered ranged in width from 0.5 to 0.9 mm, with the channel height being nominally 1.7 to 9 times the width in each case. The experiments were conducted using water, over a liquid flow rate ranging from 0.2 to 2.0 lpm. The base temperature, thermal resistance and pressure drop increase with increasing of liquid flow rate. The measured thermal resistances ranged from 0.10 to 0.23 ℃/W for the channel 5.

1. 서 론

최근의 전자기기는 갈수록 고집적화, 고성능화가 되면서 이로 인해 시스템의 단위 면적당 발열량이 급격히 증가하여 열적인 문제로 인한 시스템 오류와 기기 수명이 크게 단축되고 있는 실정이다. 이에 따라서 국내외의 많은 연구자들은 고성능, 컴팩트한 전자기기 냉각장치 개발에 연구를 집중하고 있으며, 이러한 경향은 앞으로 더욱 가속될 전망이다.

국내외에서 전자기기 냉각방법으로 많이 사용되고 있는 공냉 방식(Air Cooling)의 경우 펜티엄 4이상의 CPU가 등장하면서 CPU 소비전력은 100W 정도에 이르게 되어 냉각의 한계성, 소음 등이 점차 문제로 제기되고 있다. 이에 대한 기술대안으로 일본, 대만 등을 중심으로 수냉 방식(Liquid Cooling)의 제품들이 출시되어 컴퓨터에 장착되고 있다.

수냉 방식은 펌프를 통하여 액체가 순환되며 히트싱크에서 열을 흡수하고 라디에이터에서 열을 방출하여 냉각하는 방식으로서 물이 가지는 높은 열전도율로 인하여 냉각시스템의 효율과 소음이 크게 향상되는 것으로 보고되고 있다. 수냉 방식은 워터블록(Water block), 라디에이터(Radiator), 펌프(Pump), 팬(Fan), 저장조(Reservoir) 및 냉매배관 등으로 구성되어 있으며 이중에서도 워터블록의 성능이 수냉 방식에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

특히 Tuckerman 등[(1)]은 마이크로 채널을 이용한 초고집적회로(VLSI)의 냉각에 관한 연구를 처

† 회원, 한국생산기술연구원 열유체시스템팀
E-mail : kwonok@kitech.re.kr
TEL : (041)589-8528 FAX : (041)589-8330
* 회원, 한국생산기술연구원 열유체시스템팀

음으로 제안하였으며, 이들은 정상상태의 관내유동에서 관내 열전달계수가 관경에 반비례한다는 것에 착안하여 마이크로 채널을 만들고 그 채널 속으로 유체를 흘려 냉각하는 방식을 구현하였고 이 마이크로 채널을 이용한 냉각실험을 통하여 790W/cm^{2}이라는 높은 냉각성능을 구현하였으며 이는 그 당시 알려진 어떤 방식보다 큰 냉각능력을 나타낸 것이었다. 이후 많은 연구자들이 보다 효율적인 냉각메커니즘으로 마이크로 채널을 이용한 열전달에 큰 관심을 갖게 되었으며 마이크로 채널을 히트싱크에 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.[(2~8)]

본 연구에서는 전자기기 액체냉각용 마이크로 채널 워터블록의 냉각성능 특성을 평가하기 위하여 냉매로서 물을 사용하고 채널폭과 핀높이가 다른 6종의 마이크로 채널 히트싱크를 설계, 제작하여 채널폭 및 높이에 따른 열저항, 열전달계수 및 압력강하에 미치는 정량적인 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치를 나타낸 것이다. 실험장치는 냉매를 순환시키기 위한 마이크로 기어펌프, 실험부에 해당되는 테스트섹션부(Test section), 워터블록에 일정한 열을 가해주는 파워서플라이(DC power supply), 입출구의 차압을 측정할 수 있는 차압계, 냉매의 온도를 일정하게 조절하여 주는 항온조와 유량 측정을 위한 전자유량계, 물속에 함유되어 있는 불순물을 걸러주는 마이크로 필터, 각 데이터 처리를 위한 데이터 레코더(Data recorder)로 구성되어 있다.

실험은 냉매의 입구온도와 유량이 정상상태에 도달하였을 때 실험데이터를 취득하였으며 각각 2회 반복실험하고 평균값을 취하여 실험에 의한 오차를 최소화하였다.

Fig. 2는 테스트섹션부를 나타낸 것으로 냉매입출구포트, 마이크로채널, 히팅블록, 상하 테프론 단열재 등으로 되어 있다. 히팅블록은 카트리지 히터 100W 3개로 구성되어 있으며, 그 표면에는 T 타입의 써모커플(Thermocouple) 5개를 설치하여 온도를 측정할 수 있도록 하였다.

Fig. 3은 마이크로 채널 워터블록의 상세도를 나타낸 것으로 입출구 헤더부, 마이크로 채널부 이들을 조일수 있는 오링(Oring) 으로 되어 있다.

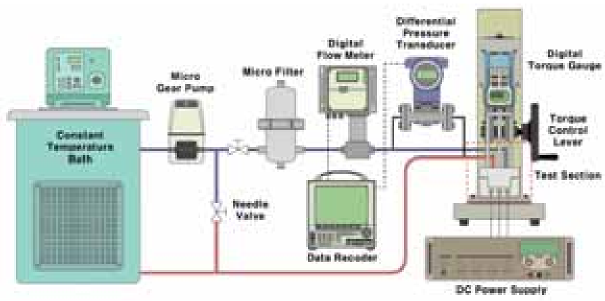

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

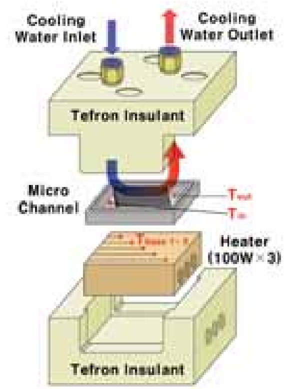

Fig. 2 Test section of experimental setup.

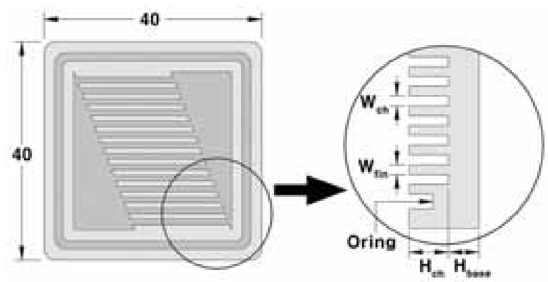

Fig. 3 Details of micro channel waterblock.

Table 1은 실험에 사용된 마이크로 채널 워터블록 6가지의 샘플을 나타낸 것이며, 냉각성능의 차이를 알아보기 위해 채널의 폭과 채널 높이를 변화시켰다. 시제품별 상당직경(Hydraulic diameter)은 0.75~.13, 아스펙트 비(Aspect ratio)는 1.67~9.0에 해당된다.

Table 2는 실험에 사용된 실험조건을 나타낸 것이며, 냉매의 입구 온도는 20℃로 일정하게 고정시켜 놓고 냉매의 유량을 변화시켰다. 또한 히터의 파워는 CPU의 발열량에 해당되는 열량인 100W 및 120W에 대하여 실험을 수행하였다.

2.2 실험관계식

마이크로 채널 워터블록의 냉각성능을 알아보기 위해서 열저항은 식 (1)과 같이 구하였다. 아스펙트 비와 상당직경은 식 (2) 및 (3)과 같이 구하였다. 또한 냉매가 얻은 열량, 열전달계수 및 누셀트수(Nusselt number)는 식 (4)~(6)과 같다. 레이놀즈수(Reynolds number)와 마찰계수(Fanning friction factor)는 식 (8) 및 (9)와 같다.

$$R = \frac{T_{base} - T_{in}}{P} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{H_{ch}}{W_{ch}} \tag{2}$$

$$D_h = \frac{2W_{ch}H_{ch}}{W_{ch} + H_{ch}} \tag{3}$$

$$Q = \dot{m}\, c_p (T_{out} - T_{in}) \tag{4}$$

$$h = \frac{Q}{A(T_w - T_m)} \tag{5}$$

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \tag{6}$$

$$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu} \tag{7}$$

$$f = \frac{(\Delta P/L)D_h}{(1/2)\rho U^2} \tag{8}$$

Table 1 Specifications of micro channel water block

Sample No.	W_{ch}	H_{ch}	W_{fin}	H_{base}	D_h	α
1	0.5	1.5	0.5	1.0	0.75	3.0
2	0.7	1.5	0.5	1.0	0.95	2.15
3	0.9	1.5	0.5	1.0	1.13	1.67
4	0.5	2.5	0.5	1.0	0.83	5.0
5	0.5	3.5	0.5	1.0	0.88	7.0
6	0.5	4.5	0.5	1.0	0.9	9.0

Table 2 Experimental conditions

Parameters		Range
Water	Flow rate (L/min)	0.2, 0.7, 1.2, 1.7, 2.0
	Temp.(℃)	20
Heater power(W)		100, 120

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열전달 특성

Fig. 4는 히터열량 100W인 경우 유량에 따른 베이스부의 온도변화를 나타낸 것이다. 모든 마이크로 채널 워터블록 시제품에 대해서 유량이 증가함에 따라 온도는 감소함을 나타내었으며, 시제품 3 및 2의 냉각성능이 가장 나쁘게 나타났다. 이것은 다른 시제품에 비해 시제품 3 및 2가 수력직경이 큰 것에서 그 원인이 있다고 판단된다.

Fig. 5는 히터열량 120W인 경우 유량에 따른 베이스부의 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 4의 경우처럼 유량에 따른 온도변화는 유사한 경향을 나타나고 있으며, 유량 0.2L/min에서 시제품 3의 온도가 55℃에 근접하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 CPU 허용온도는 60℃이내이므로[9], 유량 0.2L/min, 120W인 경우에도 안전하게 사용할 수 있다고 판단된다.

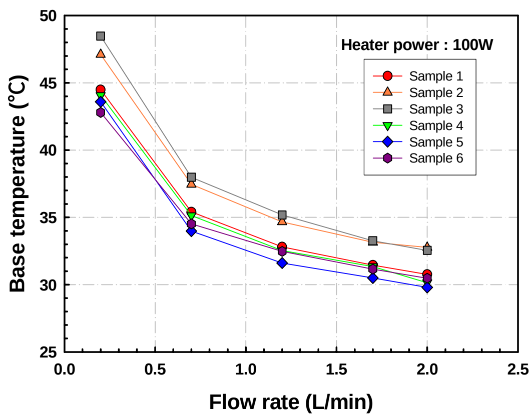

Fig. 4 Variation of base temperatrue with the flow rate at 100W.

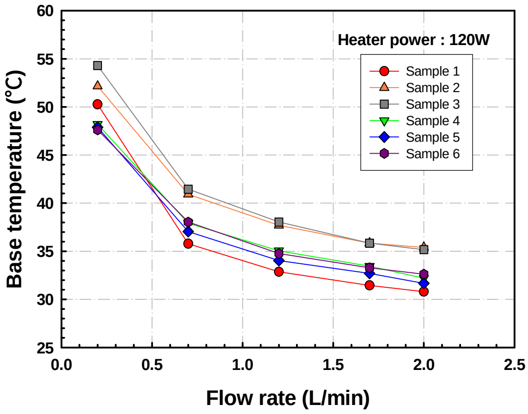

Fig. 5 Variation of base temperatrue with the flow rate at 120W.

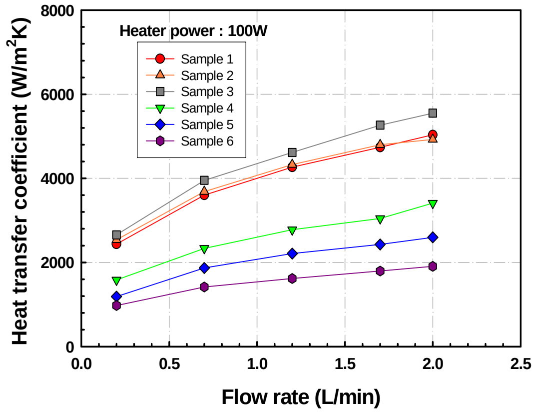

Fig. 7 Variation of heat transfer coefficient with the flow rate at 100W.

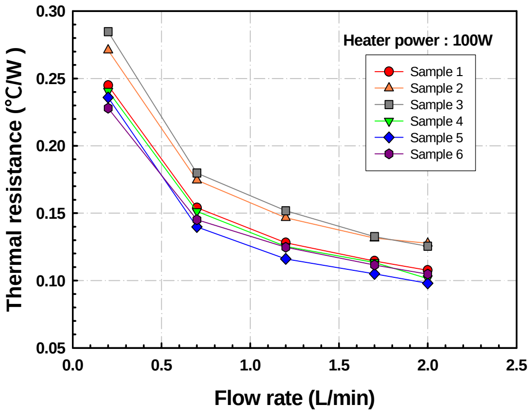

Fig. 6 Variation of thermal resistance with the flow rate at 100W.

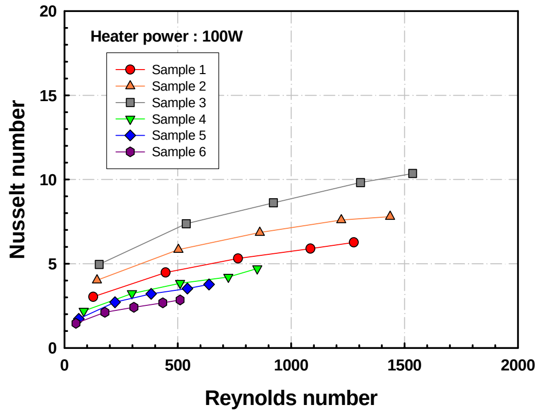

Fig. 8 Variation of Nusselt number with the Reynolds number at 100W.

Fig. 6은 히터열량 100W인 경우 유량에 따른 열저항의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4의 온도영향을 받아서 유량이 증가함에 따라 열저항은 감소하였으며, 시제품 3 및 2의 냉각성능이 가장 나쁘게 나타났다. 일반적으로 히트파이트(Heat pipe)의 열저항이 0.3℃/W 내외[10] 인 점으로 보았을 때 마이크로 채널을 이용한 수냉식 워터블록은 실험유량범위에서 열저항이 0.3℃/W 이내이고, 특히 시제품 5의 경우 2L/min인 경우 열저항이 0.1℃/W로 매우 성능이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 7은 히터열량 100W인 경우 유량에 따른 열전달계수의 변화를 나타낸 것이다. 유량이 증가함에 따라 열전달계수는 증가하고 있으며, 채널높이가 낮은 시제품 3, 2, 1의 열전달계수가 크게 나타났다.

Fig. 8은 히터열량 100W인 경우 레이놀즈수에 따른 누셀트수의 변화를 나타낸 것이다. 유량이 증가함에 따라 누셀트수는 증가하고 있으며, Fig. 7과 유사하게 열전달계수와 수력직경이 큰 시제품 3, 2, 1의 누셀트수가 크게 나타났다. 누셀트수는 시제품 3의 경우에 레이놀즈수 1,500에서 10.35정도로 가장 크게 나타났다.

3.2 압력강하 특성

Fig. 9는 히터열량 100W인 경우 유량에 따른 압력강하의 변화를 나타낸 것이다. 유량이 증가함에 따라 모든 시제품에서 압력강하는 크게 증가하였으며, 그중에서 수력직경이 큰 시제품 3 및 2는 약간 낮게 측정되었다. 일반적으로 잘 알려진 바와 같이 마이크로 채널 형태 워터블록의 열전달 성능은 우수하나 압력강하 특성이 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 압력강하가 크

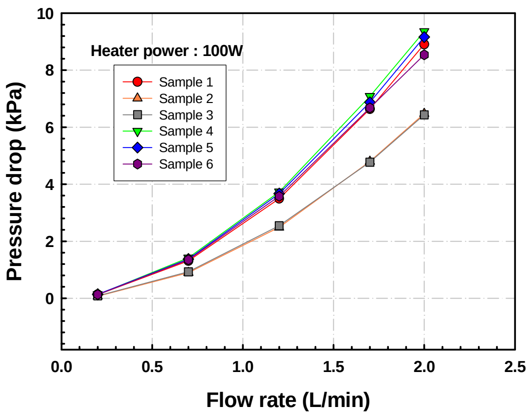

Fig. 9 Variation of pressure drop with the Reynolds number at 100W.

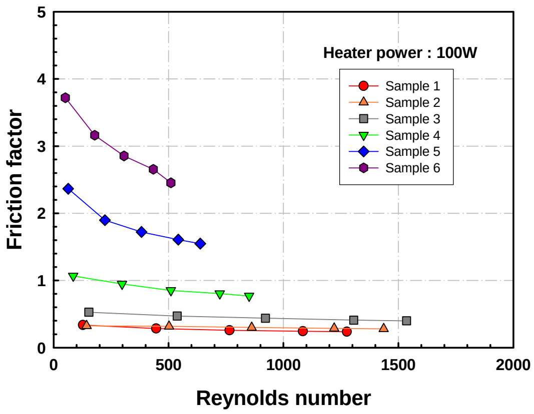

Fig. 10 Variation of friction factor with the Reynolds number at 100W.

게 나타나고 있으며 압력강하를 줄일 수 있는 마이크로 채널 형상 설계가 필요함을 알 수 있다.

Fig. 10은 히터열량 100W인 경우 레이놀즈수에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 레이놀즈수가 증가함에 따라 마찰계수는 감소하지만, 일반적으로 잘 알려진 층류에 대한 마찰계수값에 비해 시제품 6, 5, 4는 유체의 유속이 작고 압력강하가 크기 때문에 잘 일치하지 않았으며, 시제품 1, 2, 3의 경우에는 어느정도 일치함을 알 수 있다.

4. 결 론

전자기기 액체냉각용 마이크로채널 워터블록의 냉각성능 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 유량이 증가함에 따라 마이크로 채널 워터 블록 시제품의 온도와 열저항은 크게 감소하였으며, 시제품 5의 경우 100W, 2L/min에서 열저항이 0.1℃/W로 매우 성능이 우수함을 알 수 있었다.

(2) 열전달계수와 누셀트수는 유량이 증가함에 따라 증가하였으며, 채널높이가 낮은 시제품 3, 2, 1의 열전달계수 및 누셀트수가 크게 나타났다. 누셀트수는 시제품 3의 경우에 레이놀즈수 1,500에서 10.35정도로 가장 크게 나타났다.

(3) 유량이 증가함에 따라 모든 시제품에서 압력강하는 크게 증가하였다. 또한 레이놀즈수가 증가함에 따라 마찰계수는 감소하였으나 시제품 6, 5, 4는 유체의 유속이 작고 압력강하가 크기 때문에 일반적으로 잘 알려진 층류에 대한 마찰계수값에 비해 크게 나타났다.

향후에는 다양한 마이크로채널 워터블록의 형상 설계를 통해서 압력강하를 줄일 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

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) Zhang, H.Y., Pinjala, D., Wong, T.N., Toh, K.C. and Joshi, Y.K., 2005, "Single-Phase Liquid Cooled Microchannel Heat Sink for Electronic Packages," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp. 1472~1487.

(3) Lee, P.S., Garimella, S.V. and Liu, D., 2005, "Investigation of Heat Transfer in Rectangular Microchannels," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, pp. 1688~1704.

(4) Liu, D. and Garimella, S.V., 2004, "Investigations of Liquid Flow in Microchannels,"

Journal of Thermophysics and Heat Trasnfer, Vol. 18, pp. 65~72.
(5) Kawano, K., Sekimura, M., Minakami, K., Iwasaki, H. and Ishizuka, M., 2001, "Development of Micro Channel Heat Exchanging," *JSME International Journal B*, Vol. 44, pp. 592~598.
(6) Qu, W. and Mudawar, I., 2002, "Experimental and Numerical Study of Pressure Drop and Heat Transfer in a Single-Phase Micro-Channel Heat Sink," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, pp. 2549~2565.
(7) Qu, W. and Mudawar, I., 2002, "Analysis of Three-Dimensional Heat Transfer in Micro-Channel Heat Sinks," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, pp. 3973~3985.
(8) Toh, K.C., Chen, X.Y. and Chai, J.C., 2002, "Numerical Computation of Fluid Flow and Heat Transfer in Microchannels," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, pp. 5133~5141.
(9) Fedorov, G.A. and Viskanta, R., 2000, "Three-Dimensional Conjugate Heat Transfer in the Microchannel Heat Sink for Electronic Packing," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 43, pp. 399~415.
(10) 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..