

미세채널 워터블록의 채널 내 유량분배에 따른 열유동 특성

최 미 진^{*†}, 권 오 경, 차 동 안, 윤 재 호

한국생산기술연구원 열유체시스템팀

Thermal and Flow Characteristic of the Microchannel Waterblock with Flow Distributions

Mi-Jin Choi^{*†}, Oh-Kyung Kwon, Dong-An Cha, Jae-Ho Yeun

ABSTRACT: The present study has been studied on a thermal and flow characteristic of the microchannel waterblock with flow distributions in each channels. Results of a numerical analysis using the CFX-11 are compared with results of an experiment. Numerical analysis and experiment are conducted under a heat transfer rate of 150W, inlet temperature of 20°C and mass flow rates of 0.7 ~ 2.0 kg/min. Base temperature and pressure drop are investigated with standard deviations of mass flow rates in each channels of samples at 0.7 kg/min.

Key words: Microchannel waterblock(미세채널 워터블록), Flow distributions(유량분배), Base temperature(바닥면 온도), Pressure drop(압력강하)

기 호 설 명

- D_h : 수력직경 [m]
- H_{ch} : 채널 높이 [m]
- H_{base} : 베이스 높이 [m]
- W_{ch} : 채널 폭 [m]
- W_{fin} : 핀 폭 [m]

1. 서 론

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

스템의 공간적 제한이라는 이면을 가지고 있다. 실제 2000년 출시된 펜티엄IV 1.5 GHz 칩의 발열량은 50 W 이상이였지만 최근 출시된 인텔의 코어2 익스트림 3.2 GHz의 경우 130 W 이상이다. 칩으로부터 발생하는 열을 효율적으로 제거시켜 주지 못할 경우, 시스템 온도 상승으로 인해 칩 성능의 안정성에 문제가 발생한다. Pecht는 CPU의 온도가 10°C 낮아질 경우 성능은 1~3% 상승하며 고장률은 2배로 감소한다고 발표하였다.⁽¹⁾ 이러한 이유로 전자통신 기기 및 부품의 냉각기술은 그 성능과 직결되어 다양한 형태로 연구가 진행되어 왔다.^(2,3)

제작기술의 발달로 미세채널 히트싱크는 단위 부피당 열교환 면적을 극대화 (~10⁵ m²/m³) 할 수 있으며⁽⁴⁾ 강제대류 방식의 냉각시스템에서 물을 작동유체로 사용할 경우 공기를 사용할 때보다 열전달 계수가 100배정도 큰 이점을 가지고 있다.⁽⁵⁾ 이러한 점에 착안하여 CPU 냉각을 위해 사용하던 기존의 공냉(Air cooling) 방식의 제품

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

을 대체할 수냉(Liquid cooling) 방식의 제품들이 활발히 개발되고 있다.

수냉식 냉각시스템은 크게 워터블록(Waterblock), 펌프(Pump), 라디에이터(Radiator) 및 팬(Fan), 배관(Tube), 작동유체를 저장하는 저장조(Reservoir)로 구성된다. 펌프에 의해 시스템 내부를 순환하는 작동유체는 발열체(CPU)에 부착된 워터블록을 지나면서 발열체로부터 열을 전달받는다. 이로 인해 뜨거워진 유체는 배관을 따라 라디에이터 및 팬으로 이동하고 이곳에서 차가운 외부공기와 열교환을 하게 된다. 라디에이터를 통과한 작동유체는 다시 저온의 상태이며 워터블록을 지나면서 발열체로부터 다시 열을 전달받는 과정을 반복한다. 현재 전자통신 기기의 소형화로 냉각시스템 또한 공간적 제한을 받고 있으며, 각 요소들의 배치와 배관 등을 효율적으로 하기 위해 다양한 아이디어들이 나오고 있다.

본 연구에서는 발열부에서 발생하는 열을 직접 전달받아 운송하는 미세채널 워터블록의 채널 내 유량분배에 영향을 미치는 헤더의 형태 및 입출구 위치에 따라 총 4개의 샘플을 선정하였다. 이들의 열 및 유동성능을 해석적 방법을 통해 예측해 보았으며 그 결과의 타당성을 실험결과를 통해 확인하였다. 미세채널 워터블록의 성능에 관한 해석적 연구를 위해 CFD 상용 코드인 FX-11을 사용하였다.

2. 해석영역 및 해석방법

2.1 해석영역 및 격자계

미세채널 워터블록의 채널 내 유량분배에 영향을 미치는 헤더의 형태 및 입출구의 위치에 따라 총 4개의 샘플을 선정하였으며 이에 따른 해석적 연구의 계산영역을 표 1에 나타내었다. 샘플 1번~3번은 입출구의 위치가 수평하며 4번의 입출구는 수직하게 위치하였다. 샘플 1번, 2번, 4번은 채널의 배열에 구배를 주었고 3번의 경우 채널을 나란히 배열하였다. 샘플 2번의 경우 1번과 달리 입출구의 방향과 채널의 방향이 수직을 이루고 있다. 표2와 그림 1에 미세채널 워터블록의 자세한 형태와 치수를 나타내었다. 표 2의 세부 크기는 4개의 샘플 모두 동일하며 발열체에 부착되는 바닥면은 40 mm × 40 mm 채널의 길이는 26 mm이다.

Table 1 Figures of computational domain

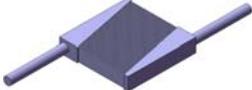
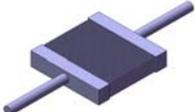
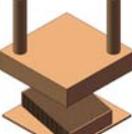
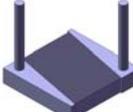
Sample No.	Solid	Fluid
1		
2		
3		
4		

Table 2 Specifications of the microchannel waterblock

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

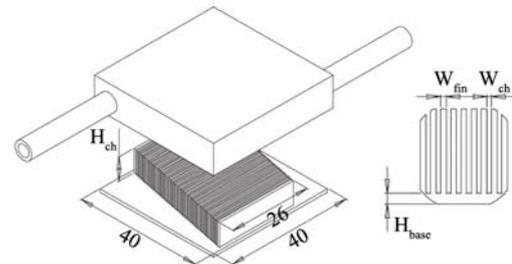


Fig. 1 Drawing of the microchannel waterblock.

표 3은 해석영역에 대한 격자계를 보여주고 있다. 격자의 생성은 CFX-Mesh를 사용하였으며 비정렬 격자를 기본으로 열전달이 주로 일어나는 채널부의 벽면에 프리즘격자를 생성하여 계산의 정확도를 높였다. 고체부의 경우 격자점의 수는 약 1,100,000개, 유체부의 경우 약 1,500,000개 이다.

Table 3 Figures of the grid

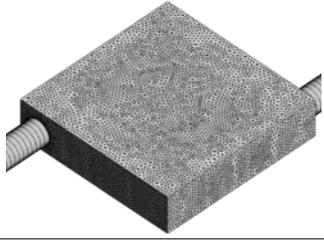
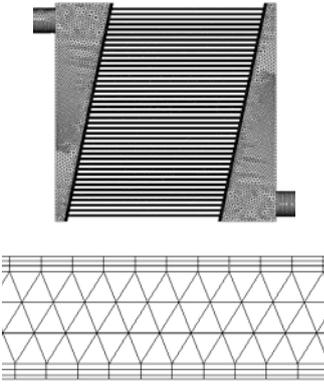
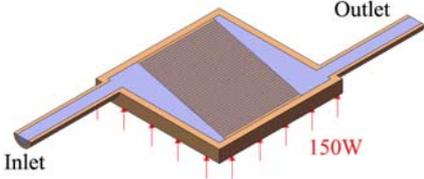
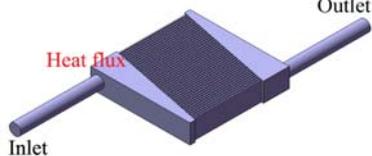
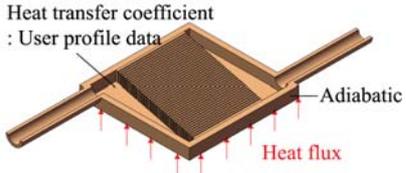
Domain	Grid
Solid	
Fluid	

Table 4 Computational procedures

	
Step 1	
Step 2	Export boundary condition profile data of wall heat transfer coefficients
Step 3	

2.2 해석방법

표 4에 미세채널 워터블록의 열 및 유동성능 예측을 위한 해석과정을 나타내었다. 미세채널의 특성상 해석영역의 최소길이(W_{ch})와 최대길이의 차이가 커 격자점의 수가 많아지므로 유체영역과 고체영역을 나누어 해석을 수행하였다. 실제 발열체로부터 워터블록 바닥면으로 전달되는 열량 150 W에 상응하는 열유속을 유체의 입출구를 제외한 모든 면에 가하고, 이로부터 얻어지는 벽면에서의 열전달계수를 고체영역의 내부 벽면에 대한 경계조건으로 사용하여 바닥면의 온도를 예측하였다.

정상상태에서의 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식의 이산화는 CFX-11에서 제공하는 2차항 이상의 정확도를 가지는 high resolution scheme을 사용하였다. 또한 열 유동 해석에 가장 널리 쓰이는 standard $k-\epsilon$ 난류모델을 적용하였다. 표 5에 해석조건을 나타내었으며 이 조건은 실험결과와 비교하기 위해 실험조건과 동일하게 선정하였다. 미세채널 워터블록의 재질은 구리이며 작동유체는 물이다. 워터블록에 가해지는 열전달률은 150 W이고 물의 입구온도는 20°C로 고정하였으며 유량은 0.7~1.2 kg/min 이다.

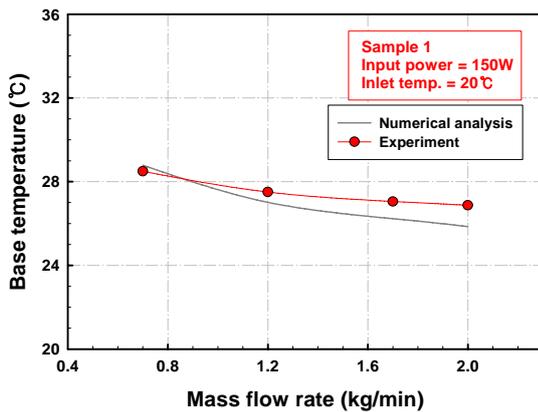
Table 5 Boundary conditions

Domain	Surface	Settings	
Fluid (water)	Inlet	Temp. (°C)	20
		Flow rate (kg/min)	0.7, 1.2, 1.7, 2.0
		Turbulence	Medium intensity and eddy viscosity ratio
	Outlet	Static pressure (Pa)	0
	Heat flux (W/m^2)	7694.79	
Solid (Copper)		Heat flux (W/m^2)	93750
	Wetted wall	User profile data (heat transfer coefficient)	
	Wall	Aadiabatic	

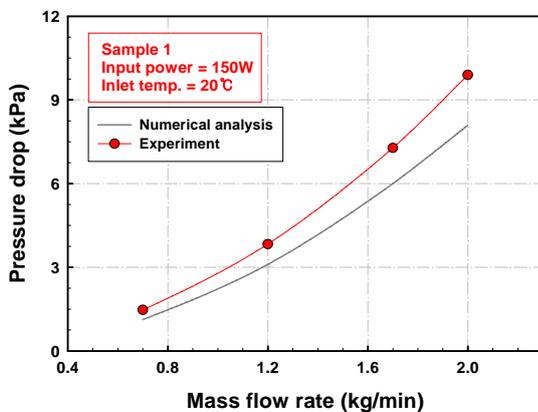
3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석결과의 검증

그림 2에서 미세채널 워터블록의 열 유동 해석결과와 실험결과의 비교를 통해 해석결과의 타당성을 검증하였다. 이는 샘플 1번에 대한 결과이며 기준유량 0.7 kg/min 에서 바닥면의 온도는 약 5%, 압력강하는 약 16% 이내에서 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 0.7 kg/min에서 바닥면 온도의 실험결과가 해석결과보다 낮게 나온 것은 적은 유량에서 유량이 불규칙하여 실제 유량보다 많은 유량이 흘렀기 때문이라 판단된다.



(a) Variations of the base temperature

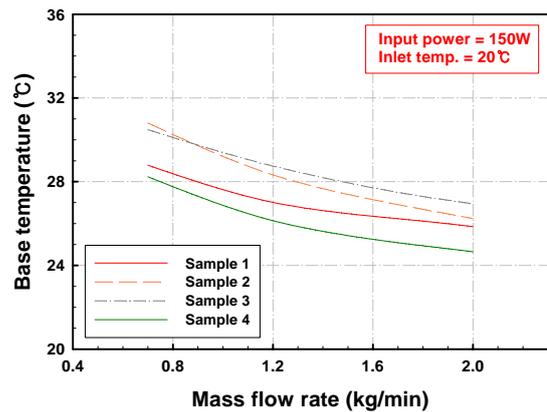


(b) Variations of pressure drop

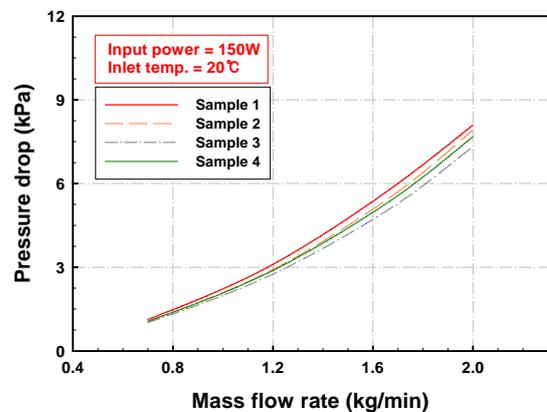
Fig. 2 Results of numerical analysis compared with experimental results for Sample 1.

3.2 열 및 유동특성

그림 3은 각 샘플의 열 유동 해석결과를 나타낸 것이다. 유량이 증가함에 따라 바닥면의 온도는 낮아지고, 압력강하가 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 입출구의 위치가 수평한 샘플 1번~3번은 0.7 kg/min 을 제외한 구간에서 1번~3번-2번 순으로 바닥면의 온도가 증가하고 압력강하는 감소하고 있다. 이는 열전달 성능이 향상될 때 압력강하가 커지는 일반적인 경향과 일치한다. 샘플 4번의 경우 입출구의 위치만 다른 샘플 1번보다 바닥면의 온도가 더 낮으며 유량이 증가할수록 그 차는 증가하고 있다. 압력강하 역시 낮게 나타나고 있다.



(a) Variations of base temperature



(b) Variations of pressure drop

Fig. 3 Results of numerical analysis of each samples.

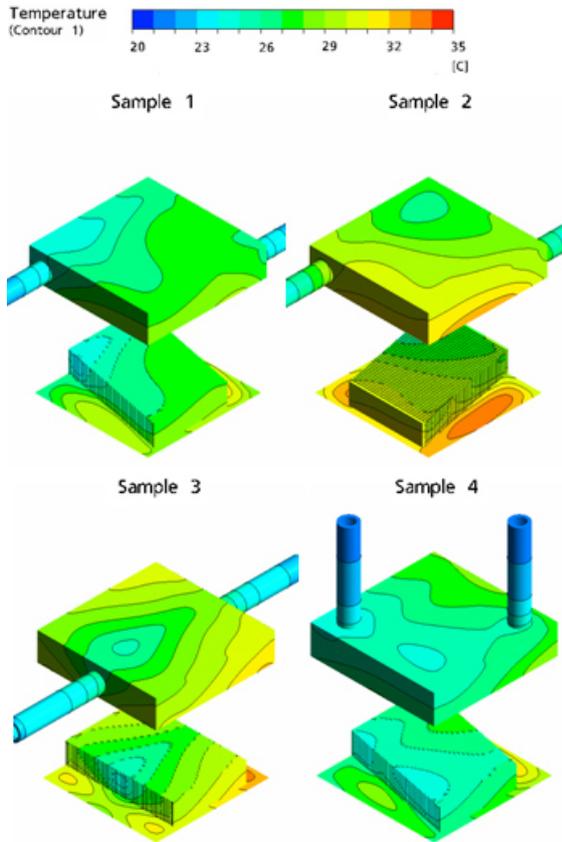


Fig. 4 Temperature contour of each samples.

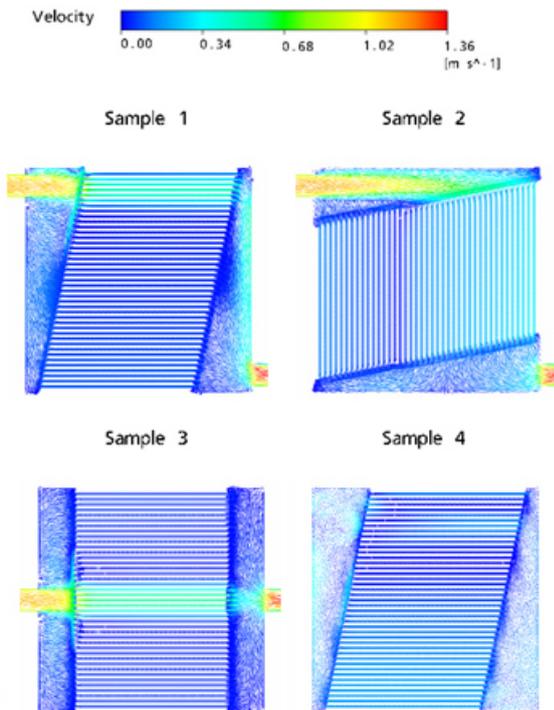


Fig. 5 Velocity vector of each samples.

그림 4와 5는 발열체로부터 150 W가 주어지고, 입구유량 0.7 kg/min, 입구온도 20°C일 때 미세채널 워터블록의 온도분포와 속도벡터를 나타낸 그림이다. 그림 3에서 확인하였듯이 샘플 4번의 온도가 가장 낮게 나타나고 있으며 샘플 2번과 3번은 비교적 높게 나타나고 있다. 입출구가 수평한 샘플 1번과 3번의 경우 입구에서의 관성으로 인해 입구와 가까운 곳의 채널에서 속도가 빠름을 확인할 수 있다. 샘플 2번의 경우 입구에서의 관성으로 인해 입구 측 헤더에 상대적으로 압력이 낮은 부분이 생기고 이로 인해 워터블록 내에서 물이 순환하고 있는 것을 알 수 있었다. 이와 달리 샘플 4번의 경우 속도벡터의 분포가 비교적 균일하게 나타나고 있다.

3.3 채널 내 유량분배

그림 6과 표 6에서 미세채널 워터블록의 각 채널 내로 분배되는 유량에 따른 워터블록 바닥면의 온도 및 압력강하를 정리하였다. 입출구가 수평한 샘플 1번과 3번의 경우 입구와 가까운 곳에 유량이 편중되고 있다. 그러나 샘플 1번의 각 채널로 분배되는 유량의 표준편차가 0.020 kg/min으로 샘플 3번보다 유량의 분배가 비교적 균일함을 알 수 있다. 유량의 분배가 균일할수록 워터블록 내 온도의 분포 또한 균일하여 열전달 성능에 긍정적인 영향을 줄 것이라 판단된다. 이는 그림 4에 나타나 있듯이 샘플 1번의 온도등고선이 3번의 온도등고선보다 완만함을 통해 확인할 수 있다. 채널 내 유량분배가 균일한 샘플 1번의 압력강하가 샘플 3번의 압력강하보다 큰 이유는 입출구의 위치가 서로 수평한 위치에 있는 3번과 달리 대각선방향으로 위치하여 생긴 결과라 판단된다. 샘플 2번의 유량분배의 표준편차가 샘플 1번과 3번 보다 작은 0.015 kg/min이지만 채널 위치 15번을 기준으로 일부 채널을 빠져나온 물이 출구측 헤더에서 다른 편 채널로 흘러 들어가 워터블록 내에서 순환하고 있어 바닥면의 온도가 높게 나타나고 있다고 판단된다. 샘플 4번의 유량분배의 표준편차는 입출구를 제외한 내부형상이 같은 샘플 1번의 경우보다 약 45%가량 감소하였음을 확인할 수 있다. 이에 따라 바닥면의 온도가 0.5°C 가량 감소하였으며 압력강하가 약 7% 감소한 1.06 kPa이다.

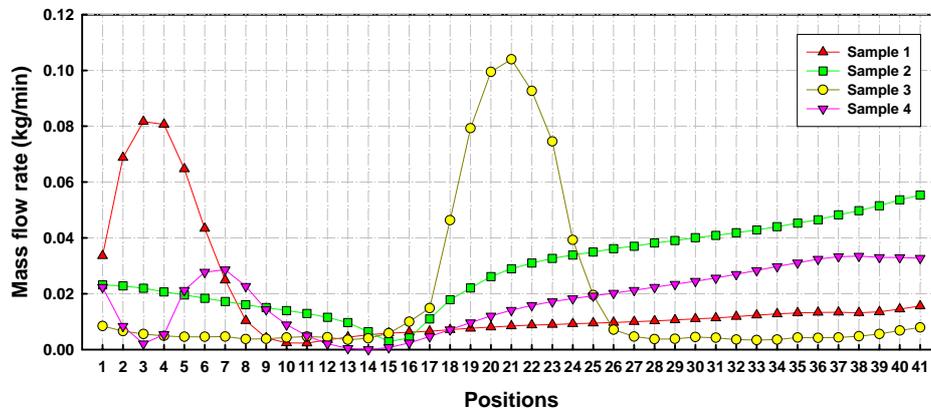


Fig. 6 Distributions of the mass flow rate in each channels.

Table 6 Comparison of results at 0.7 kg/min

Sample No.	1	2	3	4
Standard deviation (kg/min)	0.020	0.015	0.029	0.011
Base temp. (°C)	28.79	30.80	30.48	28.23
Pressure drop (kPa)	1.13	1.06	1.02	1.06

4. 결론

미세채널 워터블록의 채널 내 유량분배에 따른 열유동 특성에 대해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) CFD를 활용한 미세채널 워터블록의 열유동 해석결과와 실험결과는 오차범위 16%내에서 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

(2) 입출구가 수평한 샘플 1번과 3번의 채널 내 유량분배의 표준편차가 각각 0.020 kg/min, 0.029 kg/min 이며 헤더에 구배를 준 샘플 1번이 그 편차가 적고 온도등고선이 완만하며 바닥면의 온도가 더 낮게 나타났다.

(3) 샘플 2번의 경우 유량분배의 표준편차가 가장 작은 0.015 kg/min 이었지만, 물이 워터블록 내에서 순환하여 열성능에 부정적인 영향을 주고 있다.

(4) 입출구의 위치가 수직한 샘플 4번의 경우 입출구를 제외한 내부 형상이 같은 샘플 1번보다 채널 내 유량분배의 표준편차가 45%가량 감소하였으며, 이에 따라 바닥면의 온도가 0.5°C 감소하였으며 압력강하 또한 7% 감소한 1.06kPa 이다.

참고문헌

- Pecht, M., 1990, Handbook of Electronics Package Design, Marcel Dekker, Inc. pp. 40-43.
- Pastukhov, V. G., Maidanik, Yu. F., Vershinin, C. V., Korukov, M. A., 2003, Miniature Loop Heat Pipes for Electronics Cooling, Applied Thermal Engineering, Vol. 23, Issue 10, pp. 1125-1135.
- Yasushi, K., Hideaki, I., Masataka, M., Yuji, S., Shuichi, T., 2006, Numerical Analysis and Experimental Verification on Thermal Fluid Phenomena in a Vapor Chamber, Applied Thermal Engineering, Vol. 26, Issue 14-15, pp. 1669-1676.
- Incropera, F. P., 1999, Liquid Cooling of Electronic Devices by Single-phase Convection, Wiley, New York, pp. 151-153.
- Steinberg, D. S., 1991, Cooling Techniques for Electronic Equipment, Wiley, New York, pp. 371-372.