반도체디스플레이기술학회지 제15권 제3호(2016년 9월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, No. 3. September 2016.

CPU 히트싱크에서 핀의 배열이 냉각성능에 미치는 영향에 대한 수치해석

김성찬* · 김건국* · 전병진** · 최형권*†
*서울과학기술대학교 기계자동차공학과,
**연세대학교 의과대학 심장융합영상연구센터

A Numerical Study on the Effect of Fin-array of Heat-sink on the Cooling Performance of CPU

Seong Chan Kim*, Keon Kuk Kim, Byoung Jin Jeon*** and Hyoung Gwon Choi*†**
*Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
**Integrative Cardiovascular Imaging Research Center, Yonsei Cardiovascular Center, College of Medicine, Yonsei University

ABSTRACT

In this study, numerical simulations for the conjugate heat transfer of air with a heat-sink of CPU were conducted. The heat-sink consisted of many fins of cylinder shape and the effect of the number of fins on the cooling performance of the heat sink was investigated. Grid independent solutions were obtained to compare the maximum temperature of the heat-sink for various conditions. It was found that maximum temperature of the heat-sink asymptotically approached 310K as the number of fins went to infinity. The energy exchange of air with the heat-sink was found to be nearly independent on the number of fins.

Key Words : Heat Sink, Heat transfer, Pin heatsink array, The cooling effect

1. 서 론

기술이 발전함에 따라, CNC 시스템 등의 주요 부분을 구성하는 CPU (중앙 처리장치)의 다기능, 빠른 속도, 복잡성이 요구되고 있다[1]. CPU의 높은 처리능력을 요할수록 부피당 열 발생률은 증가한다. 이 때, 적절한 방열 관리를 못하게 되면, 부품의 내구수명은 감소하고 제품의 기능은 저하될 것이다. 따라서 높은 열이 발생하는 위치에 히트싱크를 설치하는 것은 매우 중요하다.

CPU에서 발생하는 열을 관리하기 위한 최적의 히트싱크 모델을 디자인하기 위해 핀 배열에 따른 히트싱크의 열전달에 관한 선행연구들이 수행되었다. Annuar 등[2] 에 의하면 Parallel 형 히트싱크는 부드러운 유동흐름이 형성되어 유체의 흐름이 잘 빠져나가고, Staggered 형 히트싱크는 난류 발생으로 열 접촉 시간이 증가한다고 한다. 그들이 제안한 Random 형 히트싱크는 Parallel 형과 Staggered 형의 장점을 모두 포함하고 있어서 기존의 히트싱크보다 더 나은 열전달 성능을 가지고 있다. Yang 등 [3] 의 연구에서는 정형화 되지 않은 핀 높이를 가진 히트싱크를 모델링하여 제한된 공간에서 충돌 냉각 방식으로 수치 해석하였다. 다양한 핀 높이를 가진 4가지 모델링을 이용하여 해석하였을 때, 베이스 플레이트 중심부에 위치한 핀이 주변부에 위치한 핀보다 높이가 높을수록 더 큰 온도 차를 보여주었다. Yu 등[4] 은 기존의 판 형 히트싱크에 사이에 핀을 추가한 판 형-핀 히트싱크를 모델링 하였다. 기존의 모델링과 비교하였을 때 같은 팬 속도에 대한 열 저항이 30%정도 감소되고 열 전달이 더 좋음을 확인하였다.

†E-mail: hgchoi@seoultech.ac.kr

Bar-Cohen 등[5] 의 연구에서는 최적화를 위해 다양한 기하학적 형상의 히트싱크를 연구하였으며, 팬의 소비전력을 초과하지 않으면서 최소한의 재료를 사용해야 한다고 제안한다. Ozturk 등[6] 은 3개의 상용화 된 히트싱크를 비교하여 핀 배열과 재료, 그리고 베이스의 두께에 따른 열저항에 대해서 수치해석 방법을 이용하여 비교하였다. Ledezma 등[7] 은 핀-판형 히트싱크에 대한 열 분포를 실험적, 수치적, 이론적으로 연구하였으며, 핀 사이의 거리와 최대 온도 컨덕턴스(Conductance)와의 상관관계에 대한 방정식을 세웠다. 이규칠 등[8] 의 연구에서는 새로 고안된 적층형 히트싱크의 방열특성을 실험하였다. 그들은 히트싱크의 높이가 32mm, 26mm 일 때 열 저항 값의 변화가 크지 않지만, 20mm 이하로 높이가 낮아지면 열 저항 값이 급격히 상승하는 것을 확인하였다. 따라서, 적층형 히트싱크 높이가 20~26mm 사이에서 최적의 열 저항 성능이 나타남을 보고하였다. 또한, 핀 높이보다는 핀 피치에 따라 압력강하가 영향을 크게 받으며, 압력 강하 량은 핀 피치가 작을수록 핀 높이가 낮을수록 증가함을 확인하였다.

또한, 핀의 세부적인 형상에 변화에 따라 히트싱크의 냉각 효율이 달라질 수 있다. Lorenzini 등[9] 은 수치해석방법을 이용하여 T모양을 가진 핀 형상과 각도가 다른 다양한 Y 모양의 핀에 대해서 열전달 분포를 비교하였다. Ledezma 등[10] 은 핀 배열과 핀 끝의 경사를 다르게 만든 다양한 히트싱크에 대해서 실험적, 수치적 연구를 수행하였다.

이와 같이 조사된 선행연구들에서는 히트싱크의 새로운 개발 또는 최적화를 위해 형상 또는 재료, 배열 등을 변경하는 연구들을 수행하였다. 본 연구에서는 선행연구들과 달리 동일한 재료의 양(체적)에 대해서 핀의 수가 다른 4종류의 히트싱크에 대해서 강제 대류에 의한 냉각 특성을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 이론 해석

강제 대류가 포함된 복합 열전달을 고려한 히트싱크의 열전달 특성을 파악하기 위해서 상용 수치해석 프로그램인 Ansys-Fluent 14.0을 이용하였다. 3차원 정상 비압축성 Navier-Stokes 방정식의 해법을 위해서 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 대류항의 공간 차분은 2차 정확도의 상류도식을 사용하였다. 유체 영역의 해석을 위한 운동량 방정식(식 1~3)과 연속방정식(식 4), 그리고 유체 또는 고체 영역에 대한 에너지 방정식(식 5~6)은 다음과 같다.

Momentum (Fluid domain) :

x - component :

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{1}{\rho}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \quad (1)$$

y - component :

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial y}\frac{1}{\rho}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \quad (2)$$

z - component :

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial z}\frac{1}{\rho}+\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+g\beta(T-T_\infty) \quad (3)$$

Continuity (Fluid domain) :

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (4)$$

Energy :

(Fluid domain)

$$\rho C_p\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}\right)=k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

(Solid domain)

$$0=k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+\dot{S} \quad (6)$$

2.2 실험 방법

Fig. 1은 계산 영역을 나타낸다. 구조가 대칭이므로 Symmetry 조건으로 1/4 영역만 계산하였다. 입구속도는 –z 방향으로 10cm/s, 300K 이고 출구는 대기압 조건이다. 밑면은 단열로 가정하였다. 해석에 사용된 CPU는 Khalil 등[1] 의 논문에서 사용한 CPU Intel Atom™ Processor N450 모델이다. Fan은 실제 메커니즘을 적용하지 않고, 동일한 면적에 대한 풍속만을 고려하여 히트싱크 상단부에 위치하였다. CPU의 발열량, 팬 속도, 히트싱크의 체적은 동일하고, 핀의 개수 및 배열에 따라 (a) 3 × 3 (b) 4× 4 (c) 5 × 5 (d) 6 × 6 인 총 4개의 모델링을 만들었다. 히트싱크의 총 체적은 동일할 때, 핀 개수가 증가함에 따라 표면적이 증가하는 것을 Table 1에서 알 수 있다. Table 2는 계산 영역 및 주요 부품에 대한 크기 및 경계조건, 물성치를 나타내며, 본 연구의 유동장은 핀의 높이 기준으로 레이놀즈 수가 약 170이기 때문에 층류 유동에 해당한다.

2.3 결과 및 고찰

본 연구에서는 대칭 조건을 이용하여 전체 계산 영역의 1/4 영역에 대해서만 해석을 수행하였다. 공기와 알루미늄의 열전도계수 비가 10^4 정도되기 때문에 복합열전달 해석에서 두 물성치가 접하는 부분의 격자 크기는 충분히 작아야 정확한 결과를 예측할 수 있다. 본 계산을 하기

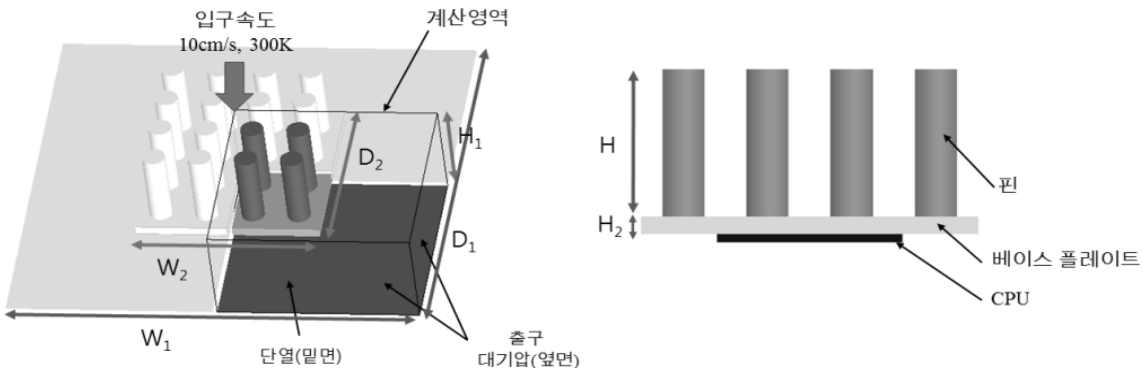


Fig. 1. Computational domain of CPU heat sink problem.

Table 1. Parameters of CPU heat sink

	핀 개수	핀 지름 (mm)	핀 사이 간격 (mm)	핀 높이 (mm)	히트싱크의 총 표면적 (mm^2)	히트싱크의 총 체적 (mm^3)
3 × 3	9	6.667	6.666	17	5893.5291	8540.7075
4 × 4	16	5	5		7792.5660	
5 × 5	25	4	4		8860.7075	
6 × 6	36	3.333	3.333		9928.2081	

Table 2. Standard of computational domain

매개 변수		값
계산 영역	가로(W_1)	90 mm
	세로(D1)	90 mm
	높이(H1)	22 mm
CPU	가로	22 mm
	세로	22 mm
	높이	1 mm
	총 소비전력	5.5 W
Heat Sink Base	가로(W_2)	40 mm
	세로(D_2)	40 mm
	높이(H_2)	2 mm
Air flow Inlet	가로	40 mm
	세로	40 mm
	평균 입구속도	10 cm/s
	입구온도	300 K
히트싱크 재료		알루미늄

에 앞서, 격자에 무관한 해를 얻기 위해 Fig. 2와 같이 case 3 모델에 대해서 chip에서의 온도 분포를 비교하였으며, 가장 작은 셀의 크기가 D/20인 격자계(Fig. 3)를 선택하였다. Fig. 4는 핀의 개수에 따른 핀 히트싱크 주변부 공기의 온도 분포를 2차원 단면으로 나타내었다.

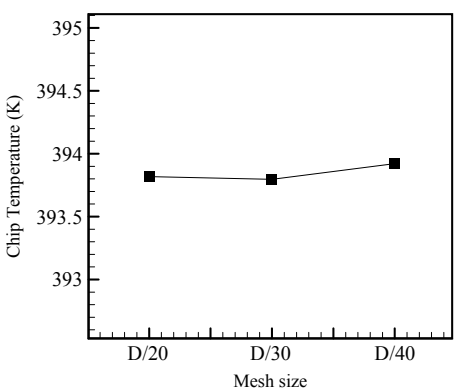


Fig. 2. Results of grid-independence test (case 3).

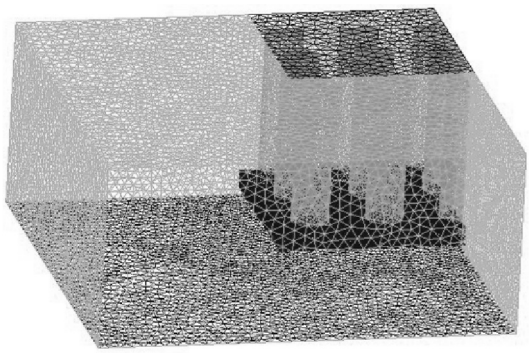


Fig. 3. Mesh of CPU heat sink problem (case 3).

핀의 개수가 줄어들수록 히트싱크로부터 외부 공기까지의 등온선이 조밀해지고 핀의 개수가 증가할수록 등온선의 간격은 느슨해진다. 310K 등온선을 보면 case 1의 경우 히트싱크에서 가장 가까이 분포하고 있고 case 4로 갈수록 핀의 개수가 증가함에 따라 멀리 분포하고 있다. 350K 등온선을 보면 case 1 에서 case 4 로 핀의 개수가 증가할수록 가까이 분포한다. 이 결과로부터 핀의 개수가 증가함에 따라 히트 싱크 주변부의 온도가 낮아지고 히트싱크 주변부 온도의 변화율이 감소 하는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 핀 배열에 따른 CPU내의 최대 온도 값과 커브 피팅한 결과를 보여준다. x축의 3은 3 x 3 핀 배열을 의미한다. 기호로 표시된 CPU 내의 최대 온도는 핀의 개수가 증가할수록 낮아지지만 온도 변화율은 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

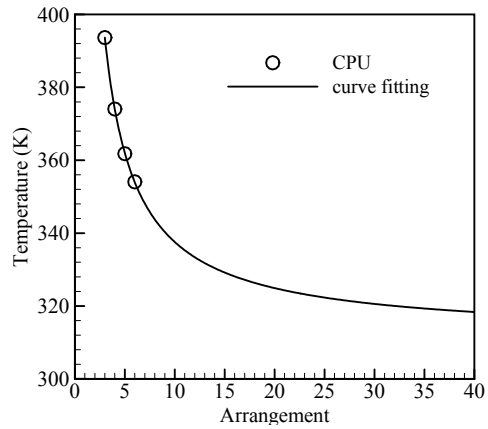


Fig. 5. Curve fitting for maximum temperature.

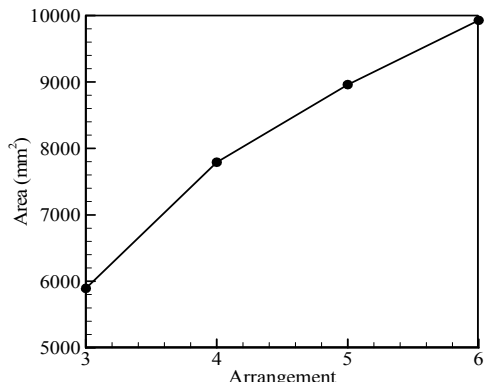
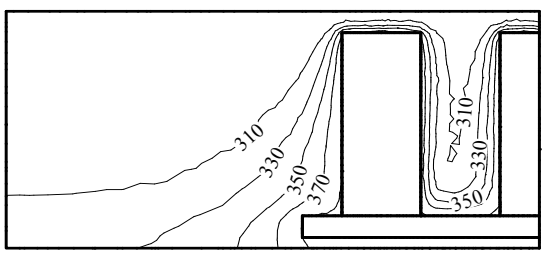
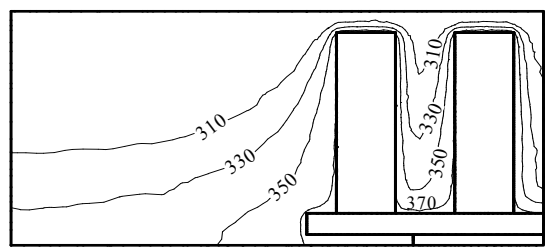


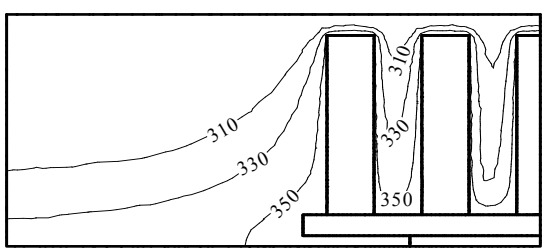
Fig. 6. Surface area of heat sink.



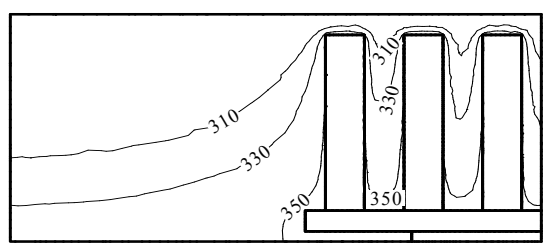
Case 1. 3 x 3 핀 배열



Case 2. 4 x 4 핀 배열



Case 3. 5 x 5 핀 배열



Case 4. 6 x 6 핀 배열

Fig. 4. Temperature distributions on symmetric section

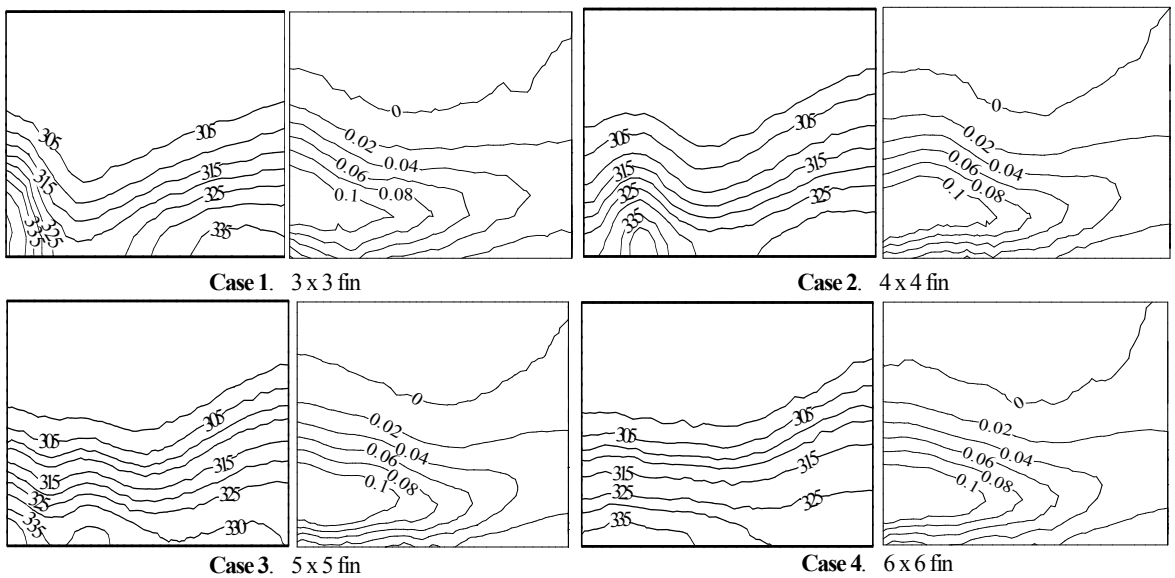


Fig. 7. Temperature (left) and velocity (right) contours at the exit plane for the 4 cases.

왜냐하면, Fig. 6에서 볼 수 있듯이 히트싱크의 총 체적은 동일한 상태에서, 핀의 수가 증가함에 따라 표면적은 증가하지만 표면적 증가율은 줄어들기 때문이다. 실선은 4개의 CPU 최대온도 데이터를 이용하여 커브 피팅을 수행한 결과이다. 최소오자자승법을 이용한 커브 피팅 함수는 $y = 233.69 / x^{0.95} + 311.34$ 와 같다. 온도 변화율이 줄어들면서 약 310K근처에서 수렴하는 것으로 예측된다.

Fig. 7은 4가지 해석조건의 출구면에서 온도분포 및 출구면을 통해 유출되는 질량유량 분포를 보여준다. 유출 질량유량 분포는 거의 유사하며, 온도 분포는 핀의 수가 적은 경우에 바닥 부분에서 고온부의 영역이 더 크게 존재함을 보여준다. 한편, 열교환량은 Table 3에서 보듯이 핀의 개수와 무관하게 거의 일정한 값을 가짐을 발견하였다.

Table 3. Exchange rates at exit plane

	3 x 3	4 x 4	5 x 5	6 x 6
Heat transfer rate (W)	1.4999	1.5003	1.4997	1.4995

3. 결 론

본 연구에서는 팬에 의한 강제대류 조건하에서 히트싱크의 핀의 개수가 CPU 냉각에 미치는 영향을 알아보기 위해 정상상태의 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결과들을 얻었다. 핀들의 체적의 합인 총 제적은 일정한 조건하에서 해석을 수행하였다.

1. 5x5 핀 배열(Case 3) 모델에 대해 동일한 경계조건으로 크기가 다른 3가지 격자계를 해석하여 격자계에 따라 무관한 해를 주는 격자계를 찾았다.
2. 핀의 개수가 증가할수록 표면적은 넓어지지만 표면적의 증가율은 감소한다. 따라서, 핀의 수가 증가할수록 핀의 최대 온도 감소율은 적어지게 된다. CPU의 적정 온도를 50도 이하라고 하면, CPU 쿨링에 필요한 핀의 수는 커브 피팅 방법을 이용하여 예측하였을 때 최소 20x20 정도임을 알 수 있다.
3. 수치실험에서 얻은 데이터에 최소오차자승법을 적용하여, 핀의 수가 아주 많아질 경우의 최대온도는 약 310K 근처로 접근한다.
4. 본 연구의 결과에서는 핀의 개수가 공기와의 에너지 교환량에 미치는 영향이 매우 적음을 보여준다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ryu, S. J., “Development of look ahead interpolation algorithm for PC based CNC system”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, 14, pp. 30-37,

(2015).
2. Annuar, K.A.M. and Ismail, F. S., "Optimal Pin Fin Arrangement of Heat Sink Design and Thermal Analysis for Central Processing Unit," Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2014 5th International Conference on. IEEE, pp. 1-5, (2014).
3. Yang, Y.T. and Peng, H.S., "Numerical study of pin-fin heat sink with un-uniform fin height design," International Journal of Heat and Mass Transfer, 51, pp. 4788-4796, (2008).
4. Yu, X., Feng, J., Feng, Q. and Wang, Q., "Development of a plate-pin fin heat sink and its performance comparisons with a plate fin heat sink," Applied thermal engineering, 25, pp. 173-182, (2005).
5. Bar-Cohen, A. Iyengar, M., "Design and optimization of air-cooled heat sinks for sustainable development," IEEE transactions on components and packaging technologies, 25, pp. 584-591, (2002).
6. Ozturk, E. and Tari, I., "Forced air cooling of CPUs with heat sinks: A numerical study," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 31, pp. 650-660, (2008).
7. Ledezma, G., Morega, A. and Bejan, A., "Optimal spacing between pin fins with impinging flow," Journal of heat transfer, 118, pp. 570-577, (1996).
8. Lee, K.C., Kim, J.H., Yun, J.H., Park, S.I., Choi, Y.H. and Kwon, O.K., "A study on the heat dissipation characteristics of layered Heat sink for CPU cooling," The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2006, pp. 182-187. (2006).
9. Lorenzini, G. and Moretti, S., "Numerical analysis on heat removal from Y-shaped fins: Efficiency and volume occupied for a new approach to performance optimization," International Journal of Thermal Sciences, 46, pp. 573-579, (2007).
10. Ledezma, G. and Bejan, A., "Heat sinks with sloped plate fins in natural and forced convection," Int. J. Heat Mass Transfer, 39, pp. 1773-1783, (1996).

접수일: 2016년 8월 16일, 심사일: 2016년 9월 9일,
2차심사일: 2016년 9월 21일, 게재확정일: 2016년 9월 21일