

사각 채널 내에서 열원이 부착된 수평 평판에서 자연대류의 수치해석

김병철*·주동인**

A Numerical Analysis on the Natural Convection of the Square Channel inner from the Horizontal Plate with Protruding Heat Source

Byung-Chul Kim*, Dong-IN Ju**

Key Words : Heat Flow(열흐름) Natural Convection(자연대류) Air Flow(공기흐름) Amount of Heat(열량)

Abstract

The real chip and similarity model were used to investigate the thermal behavior and velocity distribution of air from the heat source with the location and the amount of heat experimentally and numerically, and compared. The heat generated in the block is not cooled by convection and show the high temperature by the stagnation of heat flow. After maintaining the high temperature of block by the natural convection, the sudden drop of temperature with the air flow was shown in the channel but the decreasing rate was small with the time. The inward block was effected by infinitesimal air flow generated between block and channel and outward block was effected by the entry condition.

1. 서론

고도의 연구 개발에 따른 전자제품의 성능향상으로 전자장비의 수명(life cycle)이 짧아지고 있으며 이와 함께 전자장비에서의 발생열량에 대한 문제가 대두되고 있다.

이에 대한 방편으로 전압을 낮추어 발열량을 줄이는 방법이 시도되고 있으나 고속의 처리속도로 인하여 발열량이 한층 더 증가되고 있으므로 낮은 가격대를 유지하면서 제품의 열 성능을 예측하여 설계기간을 단축하는 기술과 전자장비의 냉각능력을 가능한 최대로 하여 작동에 문제가 발생하지 않도록 많은 연구가 이루어지고 있다.⁽¹⁻²⁾

전자 부품이 일정한 간격으로 놓여있는 수평기관 위에 완전히 발달된 속도분포로 공기가 유입될 경우, 균일하게 발열되는 전자부품에 의해 발생하는 부력에 의해 압력강하가 커지거나 발생하는 열전달 증가량이 압력강하에 의한 손실보다 커서 냉각에 효과가 있음을 Braaten과 Patankar 등⁽³⁾은 보고하였고, 또한 Kang 등⁽⁴⁾은 수평 평판위에 설치된 발열체에서의 온도증가는 혼합대류의 열전달계수($Gr/Re^{5/2}$)에 많은 영향을 받으며, 순수 자연대류로부터 강제대류

로의 천이과정과 돌출부의 각 위치에 따른 국소 열전달을 연구하여 2차 경계층 시작점에서 최대 국소 열전달 계수를 구하였으며, 이 외에도 모사된 전자장비의 칩이나 모듈에서 강제대류를 사용한 냉각방식에 관한 많은 연구가 여러 연구자들에 의해 수행되었다.⁽⁵⁾ 대류 열전달에 대한 개괄적인 연구현황이 Incropera⁽⁶⁾에 의해 보고된 이후, Jaluria⁽⁷⁾는 수직으로 위치한 단일벽면에 균일한 열유속을 갖는 띠(strip)가 분산된 경우와 열전달의 궤적(path line)과 후류(wake)에서의 유동상태 그리고 열원으로부터 떨어진 벽면에서의 유동 및 온도분포를 수치적으로 해석하여 부품간격이 표면온도에 미치는 영향을 보고하였고, Afrid와 Zebib 등⁽⁸⁾은 단일벽면에 돌출된 균일하게 발열되는 열원으로부터 열전달을 연구하여 최대온도와 열발생률의 선형적인 관계를 규명하였으나, 이들 대부분은 유입되는 공기를 거의 완전히 발달된 경우로 취급하였으며, 모듈 표면으로부터 대류와 환들로 구성된 연결부로의 전도등이 고려되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 전자장비 채널내 실제 칩모양과 전자부품의 칩이 부착되어 있는 유사한 모델을 선택하여 발열량, 발열위치에 따른 열적거동, 공기 속도분포가 칩 주위의 특성검토, 유동현상과 열전달의 상관관계, 유사 조건에 대한 수치적 해석 및 실험결과분석을 실시하여 발열부를 포함하는 수평 채널내에서 발열부의 방출열량에 따른 자연대류에 대한 특성을 해석하고자 한다.

* 조선대학교 기계공학과, bckim@chosun.ac.kr

** 광주기능대학, mtrjdi@kjpc.ac.kr

2. 수치 해석 방법

수치 해석적 방법은 상용 코드인 FLUENT Ver 5.3을 이용하였으며, FLUENT는 유한체적법을 사용하는 프로그램이다. 수치적 해의 수렴과정을 Fig. 1에서 보여주고 있는데 온도에 대해서는 해의 정확성을 높이기 위하여 1.0×10^{-6} 이하에서 수렴된 것으로 판정하였다. 본 과정을 수행하기 위하여 덕트에 사용된 격자는 많은 양의 메모리와 계산시간을 요구한다. 따라서 구조상 z 방향으로 대칭적으로 이루어져 있으므로 채널의 반절만 계산하기로 하였다. 유동이 급격하게 변하는 곳에는 많은 격자를 주었고 그 외의 유동에서는 점차적으로 격자의 간격을 늘려나가는 방법을 사용하였다. 총 사용된 격자의 수는 577,422개이다.

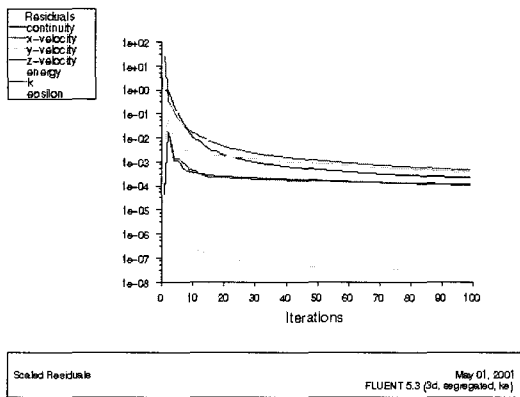


Fig. 1 The complete residual history.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도 분포의 오차범위

Fig. 2에서 보여지는 것과 같이 블록의 중앙에서 수치적으로 해석한 블록 표면에서의 온도와 실험적으로 측정되어진 온도를 발열이 정상상태에 이른 후 발열이 중지된 상태에서 살펴본 결과가 거의 일치하였다. 정상상태 이후 35분이 지나서 실험과 수치 값은 차이가 36K이었으나 그 이후에는 차이가 점차 줄면서 3시간이 지나며 5K 정도의 차이를 보이고 있다. 왜냐하면 실험에서는 발열체가 채널에 부착되어 있고 채널은 바깥과 단열 되어 있기 때문이다. 따라서 발열체의 표면에서 발생하는 발열은 발열체 내면으로 이동한 후 채널로 전도되는 열이 존재하게 된다.

그러나 수치적으로 해석한 결과에서는 채널은 모

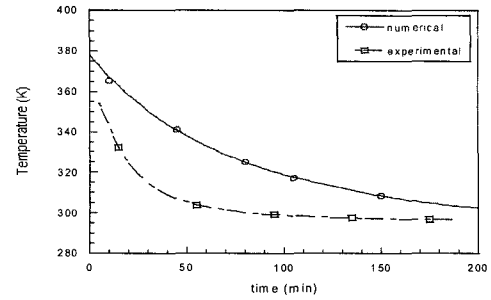


Fig. 2 Comparison of temperature profiles predicted from simulations and from experiment

두 단열로 처리하였기 때문에 초기의 냉각과정에서 실험에 의한 값과는 많은 차이를 보이고 있다. 수치 해와 정상상태 이후 실험적 해는 35분이 지난 상태에서는 11%의 차이가 발생 하나 전체적인 평균값으로 환산해 보면 약 7%의 차이를 보이고 있다. 발열체에서 발열이 이루어질 때에는 채널로 전도되어지는 열량보다 발열되는 열량이 많아서 실험과 수치적인 해는 많은 차이가 없으나 정상 상태 이후 수치적인 해는 채널로 이동되어지는 열량은 고려하지 않은 상태이다. 이런 상태에서 실험과의 오차가 전체적으로 7%이내에 있다면 수치적인 해를 사용할 수가 있다.

3.2 발열 위치 변화에 따른 열적 거동

발열체에서 발생하는 열량이 첫 번째 블록, 두 번째 블록, 세 번째 블록에서 각각 발생이 될 때 전체에 미치는 열적인 거동과 각 블록 주위에서 발생하는 자연대류 변화를 살펴본다.

Fig. 3의 그림과 같이 두 번째 블록에서 발열되고 있을 때, 위와 아래의 블록에는 채널 내에 존재하는 공기와의 대류와 블록의 전도에 의해서 첫 번째와 세 번째 블록에서는 발열이 없음에도 온도가 주위의 온도보다 상승되고 있음을 볼 수 있다. 발생하는 열량은 블록과 블록사이에 존재하는 공기와 대류에 의해서 열이 전하여 진다. 전하여진 열량은 첫 번째 블록의 하단부에 전도되어 블록 내부의 열량을 전도시켜 온도를 높이게 된다. 또한 세 번째 블록과의 공기에 의해서 전달된 열량은 마찬가지로 블록으로 열이 전하여 지고 내부의 온도를 높이게 된다. 그러나 블록 표면에서 발생하는 열량은 부력 및 밀도 차에 의한 영향으로 세 번째 블록아래 보다는 첫 번째 블록 윗쪽으로 많은 열량이 이동하게 된다.

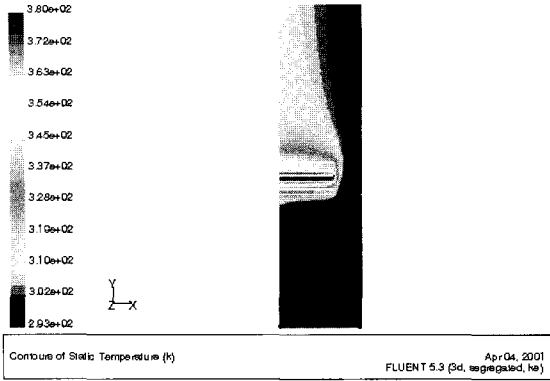


Fig. 3 Contours of temperature distribution at x-y plane. (Heating at the 2nd block)

그림에서 볼수 있듯이 위쪽으로는 많은 열량이 이동하고 있음을 보여주고 있지만 아래쪽으로는 적은 열량만이 이동하고 있음을 증명하고 있다. 블록의 열량발생에 의한 부력효과는 블록의 안쪽에 위치한 부분에서 채널을 따라 위쪽으로 보여지고 있다. 부력의 효과에 의해서 발생되어지는 압력의 변화는 블록과 반대편 채널사이에서 공기의 유동을 유발시키는 결과를 갖게된다.

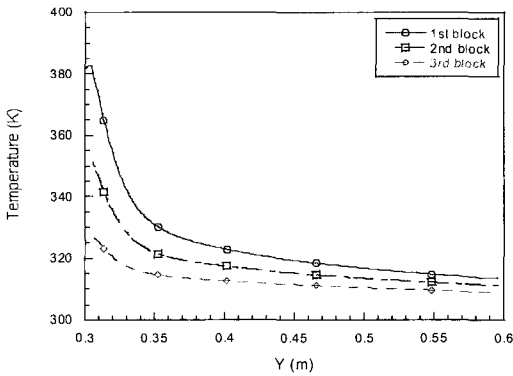


Fig. 4 Temperature distribution of the channel (x=100mm)

Fig. 4은 각 블록에서 발생하는 발생열량이 발열체 위에서 발생하는 부력의 효과를 x=100mm 위치에서 나타난 그림이다. 첫 번째 블록에서 발열이 되는 경우 가장 높은 온도 365K를 나타내며 채널위로 50mm 진행하면서 급격한 온도의 하강을 보이고 이후 완만한 온도의 분포를 보인다. 두 번째 블록에서 발열이 될 때에는 첫 번째 블록의 표면이 352K까지 상승하고 이 후 온도가 낮아짐을 보인다. 세 번째 블

록에서 발열이 이루어질 때에는 첫 번째 블록 표면의 온도는 327K까지 상승하고 이후 온도가 낮아진다. 두 번째나 세 번째 블록에서 발열이 될 때에는 블록사이 존재하는 공기 층에서의 대류와 블록의 전도에 의해서 첫 번째 블록까지 열이 이동된다. 발열체의 위 방향에 블록이 존재하게 되면 부력 및 밀도 차에 의해서 열의 이동이 원활하지 못하고 정체하게 된다. 이런 현상 때문에 전자장비에서 발생하는 열을 효과적으로 제거하지 못하고 국부적인 온도의 상승을 야기하는 원인이 될 수 있다.

3.3 수치 해석적 결과에 따른 상관관계식

Fig. 5은 블록에서 발생하는 열유속의 변화에 따라 얻어지는 Gr를 수정하여 Gr*과 Nu로서 표시한 그림이다.⁽⁹⁾ 실제 기관에서와 같이 돌출된 면에서 열이 발생하는 경우 열전달 현상에 영향을 주는 특성 길이는 발열체의 높이, 발열체의 돌출길이, 발열체 사이의 간격, 채널의 간격, 채널의 높이 등이다. 수평 채널에서 Nu 수의 특성 길이로는 채널의 간격 S를 사용하고, 본 논문에서는 수정된 Gr 수를 다음과 같이 채널간격 S를 발열면 부위만의 높이를 합산하여 나누는 특성 길이를 사용하여 다음과 같이 정의하였다.

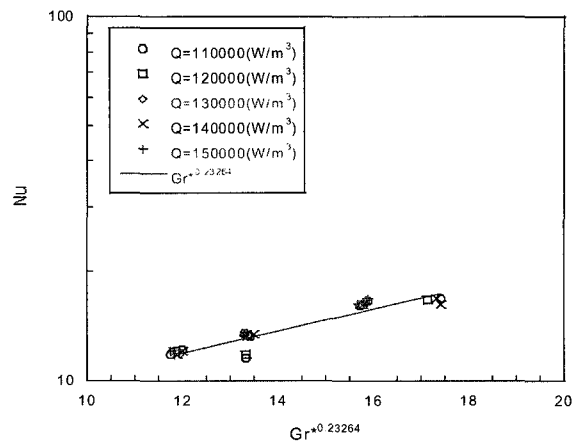


Fig. 5 Correlation between new Gr*

$$Nu = \frac{hS}{k}$$

$$Gr^* = \frac{g\beta q'' S^4}{\nu^2 k} \frac{S}{(\sum L_{i-1} + \frac{L_i}{2})}$$

여기에서 $(\sum L_{i-1} + \frac{L_i}{2})$ 는 계산하는 i 번째 발열체의 높이의 합이다.

수정된 Gr^* 에 의해서 표시된 값들을 무차원 수로 나타낸 열전달 관계식은 다음과 같다.

$$Nu = 0.170627 Gr^*^{0.23264}$$

이 상관관계식은 값들과 3%의 오차를 가지고 있다.

5. 결론

블록 표면에서 발생하는 열량에 의한 부력의 영향과 입구 유속에 의한 블록과 블록사이의 유동, 그리고 채널내의 안정화에 대해서 살펴보았다.

(1) 수치적 연구와 실험적 연구에서 정상상태 이후 35분이 경과 할 때 11%의 차이가 발생하나 전체적으로는 7%의 차이를 나타내었다.

(2) 블록에서 발생하는 열량은 구조상 대류 열전달에 의해서 냉각이 되지 않으면 국부적인 유동의 정체로 인하여 높은 온도 분포를 나타낸다.

(3) 블록 안쪽은 블록과 채널사이에서 발생하는 미소 유동의 영향을 받았으며 블록 바깥쪽은 입구에서 발생되어지는 조건에 영향을 받았다.

(4) 블록에서 발생하는 열유속의 변화에 따른 Gr^* 에 의해서 표시된 값들을 무차원 수로 나타낸 자연대류 상관 관계식은 다음과 같다.

$$Nu = 0.10054 (Gr^*^{0.134} Pr^{0.1304})$$

참고문헌

[1] Kennedy J.E, Roach Jr. G.M., Dowling M.F, and Abdel-Khalik,S.I. "The onset of flow instability in uniformly horizontal microchannels", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 122, (2000), pp. 118-125.

[2] Manca, O. Morrone,B. and Nardini, S. "Experimental analysis of thermal instability in natural convection between horizontal parallel plates uniformly heated", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 122, (2000), pp. 50-57.

[3] Braaten. M. E. and Patankar, S .V. " Analysis of laminar mixed convection in shrouded arrays of heated rectangular blocks", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.28, No.9, (1985), pp. 1699-1709.

[4] Kang, B. H., Jaluria,Y. and Tewari, S. S., "Mixed convection transport from an isolated heated source module on a horizontal plate", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 112, (1990), pp. 653-660.

[5] Hall, D. A., Vliet, G. C. and Bergman, T, L, "Natural convection cooling of vertical rectangular channels in air considering radiation and wall conduction", ASME Journal of Electronic Packaging, Vol. 121,(1999), pp. 75-84.

[6] Incropera, F. P. "Convection heat transfer in electronic equipment cooling", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 110, (1988), pp. 1097-1111.

[7] Jaluria,Y. "Interaction of natural convection surface", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 107,(1985), pp. 883-892.

[8] Afrid, M. and Zebib, A. "Natural convection air cooling of heated components mounted on a vertical wall", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 15, (1989), pp. 243-259.

[9] Choi, Y. M.. and Park, K. A. "Natural Convection in a Vertical Channel with Thermal Blocks" KSME Vol. 17, No. 2,(1992), pp. 438-444