

채널 내 돌출된 열원의 냉각특성 실험

신 지 영[†], 손 영 석, 김 상 민^{*}

동의대학교 기계공학부, ^{*}동의대학교 대학원

Experiment on the Cooling Characteristics of Protruding Heat Sources in a Channel

Jee-Young Shin[†], Young-Seok Son, Sang-Min Kim^{*}

Department of Mechanical Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

^{*}Graduate School, Dong-Eui Univeristy, Busan 614-714, Korea

(Received December 31, 2004; revision received June 17, 2004)

ABSTRACT: Cooling characteristics of protruding heat sources in a parallel channel with or without baffles are studied experimentally. The test section consists of two channels formed by two covers and one board made of polycarbonate which has three uniform heat source blocks. Five different cooling methods are considered to find out the most efficient cooling method in a given geometry and heat sources. The velocity and temperature of cooling medium, the temperature of the block surface are measured. The results are compared to examine the cooling characteristics of the different cooling methods.

Key words: Experiment(실험), Cooling characteristics(냉각특성), Protruding heat source(돌출된 열원), Channel(채널)

기 호 설 명

그리스 문자

D_h : 채널 수력직경, $4A/P$ [m]

ν : 동점성 계수 [m^2/s]

H : 채널 높이 [m]

θ : 무차원온도

k : 열전도율 [$W/m \cdot K$]

하첨자

Q : 히터 단위길이당 투입전력 [W/m]

Re : Reynolds 수, VD_h/ν

f : 유체

T : 온도 [K]

s : 고체

V : 유속 [m/s]

w : 표면

W : 채널 폭 [m]

∞ : 주위

1. 서 론

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1650; fax: +82-51-890-2232

E-mail address: jyshin@deu.ac.kr

최근 전자통신장비들은 반도체 기술의 급속한 발전에 따라 장비의 전체적인 크기는 점점 작아

지는 반면, 그 기능은 고도화되는 추세를 보이고 있다. 전자장비에서 이러한 집적화 및 고도화는 방출되는 열의 증대를 의미한다.

전자장비에서 접점온도(junction temperature)가 85℃ 이상에서 매 10℃씩 증가할 때마다, 전자부품의 수명은 절반으로 감소하게 된다.^(1,2) 발열량의 증가는 장시간 동안의 신뢰성을 요구하는 전자장비에 있어서 가장 큰 걸림돌이 되어, 부품의 온도를 허용온도 이하로 유지시키는 것이 전자장비에서 필수적 과제로 부각되고 있다.

전자장비의 냉각방법은 다음과 같이 분류할 수 있다.⁽³⁾ 전도냉각은 전자장비 내의 열의 소산 및 냉각을 위해 전도블록 및 TCP(tape carrier package)와 같은 전도체를 이용한 경우와 고발열량의 CPU 및 멀티칩 모듈을 냉각하기 위한 TCM(thermal conduction module)을 들 수 있다.^(4,5) 대류를 이용한 방식으로는 자연대류나 강제대류 냉각방법이 가장 널리 이용되고 있다. 강제대류 냉각의 경우 자연대류의 냉각방법보다는 냉각효율이 우수하지만 냉각팬에서 발생하는 소음, 진동 및 공간적인 제한 등으로 인하여 그 대안이 요구되고 있다. 반면, 자연대류를 이용한 냉각방법은 그 특유의 신뢰도, 간편성 및 경제성 등으로 인해 점점 증가하는 추세이지만, 공기의 열 제거 능력이 타 냉각방법에 비하여 많이 떨어지기 때문에 비교적 작은 발열량의 전자장비에서만 사용된다.⁽⁶⁾ 또한, 절연액체를 이용한 액침냉각(immersion cooling)이나 외부로의 열전달량을 증대시키는 핀을 부착시키거나, 또는 전자장비의 케이스에 배출구(vent)를 두는 방법 등을 사용하여 냉각효과를 증대시키고 있다.

지금까지의 냉각방법 중 자연대류 냉각방법은 장비의 소형화 및 경량화, 유지보수, 경제성 면에 있어서 많은 장점을 내포하고 있다. 이러한 배경에서 PCB(printed circuiting board) 채널에서의 자연대류 열전달특성을 조사한 많은 연구결과들이 발표된 바 있다.

Bar-Cohen and Rohsenow⁽⁷⁾는 등온 및 일정 열유속 조건 하에서 완전발달된 유동의 Nusselt 수에 관해 연구하였다. Afrid et al.⁽⁸⁾은 단열 수직벽에 한 개 및 3개의 발열체가 부착되어 있을 때의 자연대류 열전달을 연구하였는데, 발열체의 크기가 클수록 냉각효과가 향상된다고 주장하였다. Kang and Jaluria⁽⁹⁾는 수평 평판과 수직 평판

에 대하여 발열체가 있을 때, 발열량의 크기에 따른 자연대류 열전달특성을 실험적으로 연구하였다. Shakerin et al.⁽¹⁰⁾은 밀폐공간에서 한쪽의 수직벽에 돌출된 발열체가 부착되어 있을 때, 발열체가 열전달에 미치는 영향을 실험 및 수치적 방법으로 조사하였다.

공기를 냉각유체로 이용한 강제대류냉각 연구를 살펴보면 Davalath and Bayazitoglu⁽¹¹⁾는 평행 평판 상의 열원으로 대표되는 직사각형 블록의 배열 위를 지나는 2차원 복합열전달에 대해 연구하였다. Hung and Fu⁽¹²⁾는 상·하부채널로 구성된 평행유동에서 중간 인쇄회로기판 상의 돌출된 블록의 간격 사이에 상·하부로 개방된 부분을 두고 열전달 및 유동장을 해석하여 냉각특성을 연구하였다. Young and Vafai⁽¹³⁾는 돌출된 열원을 갖는 채널에서 강제대류의 특성을 수치 및 실험을 통해 조사하였다.

기존의 연구들은 전술한 각각의 냉각방법에 대해 연구를 수행하였으나, 주어진 시스템의 형상 및 발열량에서 어느 방법이 더 효과적인 냉각방법인지에 대한 비교 연구는 많이 이루어지지 않았다.⁽¹⁴⁾ 따라서 본 연구에서는 돌출된 열원이 있는 인쇄회로기판을 중심으로 상부 및 하부채널에 대류와 전도 열전달을 이용하는 경우, 각각의 방식이 전자부품의 냉각특성에 미치는 영향을 실험을 통해 비교·분석하여 효과적인 냉각방법을 알아보고자 하였다. 이를 위해 고려한 냉각방법은 상부채널에는 강제대류를 이용하고, 하부채널에는 강제대류, 자연대류, 전도블록을 이용하는 방식으로, 특히 상부채널에 강제대류를 이용하면서 열전달 증진을 위해 배플을 2개 및 1개 설치한 경우를 고려함으로써 기존의 강제대류 방식을 개선할 수 있는 가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 2개의 팬(fan)을 통해 상부채널과 하부채널에 주위공기(25~30℃)를 공급하고, 팬을 통해 유입된 공기는 시험부로 도달하기 전에 덕트내에서 충분히 완전발달된 유동으로 되어 시험부를 통과하게 된다. 시험부 상부채널 전·후에

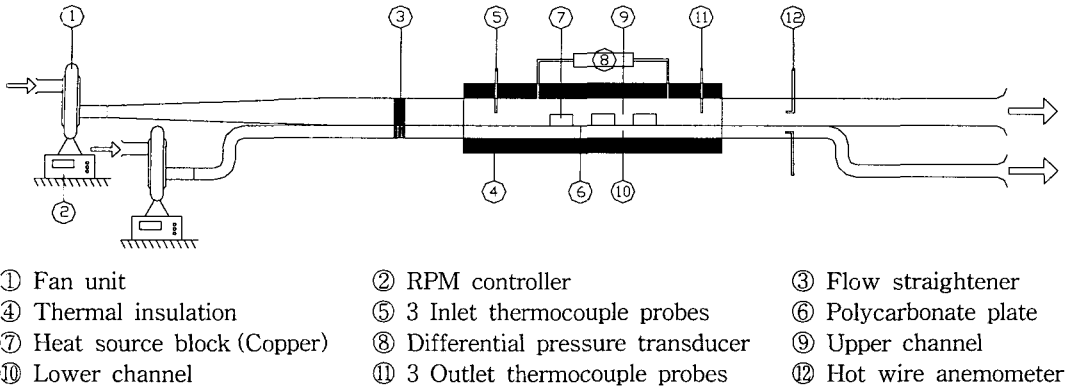


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

압력손실을 측정하기 위한 압력탭을 설치하였고, 시험부를 통과한 유동은 열선유속계를 통과하여 실험장치 밖으로 유출된다.

유동에 수직인 시험부 단면적은 상부채널의 경우 $200 \times 10 \text{ mm}$ (수력직경 $D_h = 19.05 \text{ mm}$), 하부채널의 경우 $200 \times 5 \text{ mm}$ (수력직경 $D_h = 9.76 \text{ mm}$)로 장치의 깊이는 200 mm 이다. 폭과 높이의 비 (W/H)는 각각 상부채널과 하부채널이 각각 20, 40이다. 시험부의 길이는 210 mm 이며, 덕트 전체 길이는 $1,000 \text{ mm}$ 이다. 시험부 상부채널로 유입되는 공기를 완전 발달된 유동으로 하기 위해 입구영역을 500 mm (수력직경의 약 26배)로 하였다. 덕트의 외부 벽면은 단열재로 덮어 주위로의 열손실을 최소화하였다.

Fig. 2는 실험에 사용된 시험부의 기하학적 형상과 치수를 나타낸 것이다. 상부채널에는 열전도율이 우수한 3개의 구리 ($k=401 \text{ W/mK}$) 블록을 설치하였으며, 이 구리블록 ($200 \times 20 \times 5 \text{ mm}$)의 하부에 MINCO사의 박판히터(foil heater)를 부착하여 발열블록을 형성하였다. 또한, 구리블록과 박판히터 사이의 접촉저항을 최소화하기 위해 구리성분 접착제를 사용하였다. 여기서, 박판히터는 저항이 48.7

Ω 이고, 발열온도 범위는 $-200 \sim 200^\circ\text{C}$ 이다. 상부채널과 하부채널은 1 mm 두께의 폴리카보네이트판(polycarbonate plate, $k=0.26 \text{ W/mK}$)으로 분리되어 있다. 또한, 발열블록의 박판히터를 폴리카보네이트판에 구리성분 접착제로 부착하였다.

병렬로 연결된 3개의 박판히터에 교류전원 공급장치를 이용하여 각각의 박판히터에 5 W 의 전력을 공급하였다. 여기서, 공급되는 전력량은 디지털 멀티미터(Model : Tecpel-035, $0 \sim 350 \text{ W}$, $\pm 2\%$)를 사용하여 각각의 박판히터에 대해 직접 측정하였다. 시험부의 발열블록 표면의 온도를 측정하기 위해 깊이방향 50 mm 간격으로 3개의 열전대를 발열블록 표면에 구리성분 접착제로 부착하여 온도를 측정하였고, 덕트의 입구와 출구에 횡방향(깊이방향)으로 각각 3개의 열전대를 삽입해서 유체의 온도를 계측하였다. 주위의 온도를 측정하기 위해 1개의 열전대를 실험장치 작동의 영향을 받지 않는 장소에 설치하여 측정하였다. 온도계측에 사용된 열전대는 36-게이지(직경 0.127 mm)인 T-형(구리-콘스탄탄)이다.

채널을 통과한 공기의 유속을 측정하기 위해 열선유속계를 시험부에서 $1,500 \text{ mm}$ 떨어진 부분

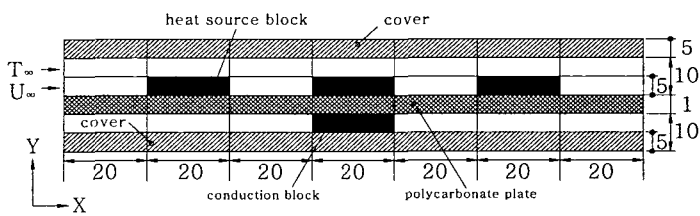


Fig. 2 Geometry and dimension of the test section (Unit: mm).

에 설치하였으며, 유속은 유동단면의 중앙에서 측정하였다.

상부채널의 경우 0.5 m/s, 0.8 m/s, 1.2 m/s의 유속에 대해 실험을 수행하였다. 하부채널에서 자연대류의 경우 흡입부와 토출부를 개방하여 공기의 밀도에 의한 유동만 일어나도록 하였고(Case 1), 강제대류의 경우 0.8 m/s의 유속에 대하여 실험하였다(Case 2). 그리고, 전도에 의한 열전달을 고찰하기 위해 하부채널에 알루미늄 재질로 된 전도블록(200×20×5 mm)을 삽입하여 실험하였다(Case 3). 한편, 상부채널에 배플을 각각 2개(Case 4), 1개(Case 5) 설치하여 기존 방식(Case 1)에 비해 열전달 성능을 개선할 수 있는 가능성을 검토하였다.

열전대, 압력계, 속도계 등은 각각 아날로그-디지털 변환기인 데이터 획득장치(Agilent 34970A)에 연결하여 측정하였으며, 데이터 획득장치로부터 얻은 데이터를 GPIB 카드를 통해 컴퓨터로 전송하였다. 또한 Labview 소프트웨어를 이용하여 데이터 획득장치를 원격 조정하여 측정한 데이터를 컴퓨터에 저장하고 분석하였다.

2.2 실험방법

발열체의 온도와 시험부 입·출구 온도를 측정하기 위하여 3개의 발열체 및 시험부의 입·출구에 횡방향으로 각각 50 mm 간격으로 열전대를 삽입했다. 또, 상부채널과 하부채널에 설치된 열선유속계로부터 시험부를 통하는 공기의 유속을 측정하였고, 시험부 전후의 압력강하는 차압계를 이용하여 측정하였다.

실험 전에 제작한 발열블록으로부터의 균일 열유속을 확인하기 위한 예비실험을 수행하였다. 즉, 유동이 없는 상태에서 3개의 발열블록에 전원을 공급하고 발열블록의 표면온도를 측정한 결과, 각 블록 표면의 하나의 지점에서 측정된 3개의 표면

온도들이 0.2℃ 이내에서 일치하였으며, 이로부터 블록에 균일한 열유속이 공급되는 것을 확인할 수 있었다. 모든 실험장치의 전원을 연결하고, 시험부의 각 발열블록에 실험조건에 맞는 전압을 공급한다. 온도가 정상상태에 도달하는 과정을 확인하기 위해 시간변화에 따른 온도변화를 관찰한다. 본 실험에서는 온도변화가 0.3℃ 이내일 때를 정상상태에 도달하는 기준으로 정하였다. 즉, 실험장치 가동 후 정상상태에 도달한 것으로 판단되면, 15초 간격으로 측정된 10회의 데이터를 비교하여 온도변화가 위의 조건을 만족하면 10회의 측정 데이터 중 마지막 5회의 값을 계산에 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 주로 대류와 전도 열전달을 이용하는 경우, 각각의 냉각방법이 냉각특성에 미치는 영향과 효과적인 냉각방법을 알아보고자 한다. 이를 위해 고려한 냉각방법을 Table 1에 정리하였으며, 각각의 경우에 대한 시험부의 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 이러한 5가지 경우에 대하여 냉각특성을 실험하고, 각 방법에 따른 냉각 성능을 비교하였다.

Case 1부터 Case 5까지 모든 경우에서 중앙부 폴리카보네이트판 상에 있는 3개의 돌출블록은 각각 5 W의 균일한 열원을 가진다. 강제대류를 이용하는 경우 상부채널에 유입속도는 0.5 m/s, 0.8 m/s 1.2 m/s로 각각의 Reynolds 수는 600, 960, 1,440에 해당한다. 여기서, Reynolds 수는 다음과 같이 정의된다.

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\nu} \quad (1)$$

그리고 발열블록의 표면의 온도를 나타내기 위

Table 1 Cooling method in each case

	Upper channel	Lower channel
Case 1	Forced convection	Natural convection
Case 2	Forced convection	Forced convection
Case 3	Forced convection	Conduction block
Case 4	Forced convection with 2 baffles	Natural convection
Case 5	Forced convection with 1 baffle	Natural convection

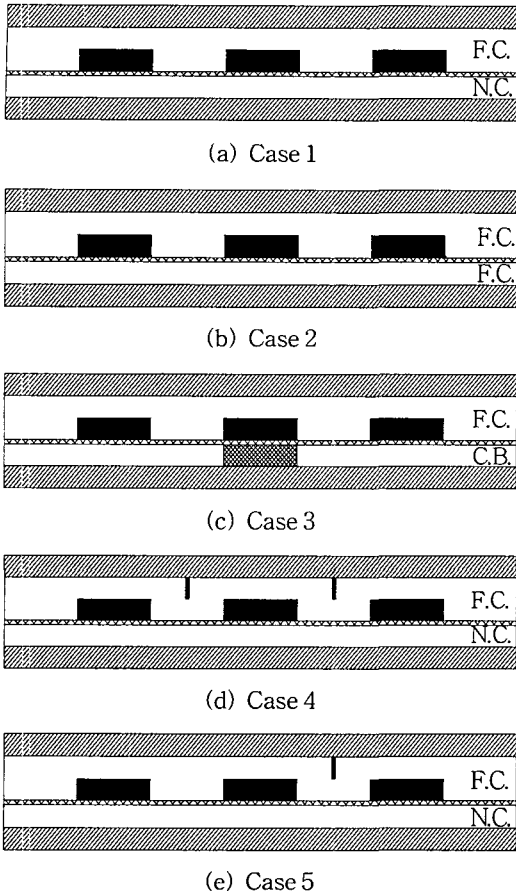


Fig. 3 Geometry of each case.

해 무차원 온도를 다음과 같이 정의하였다.

$$\theta = \frac{\overline{T_w} - T_\infty}{Q/k_f} \quad (2)$$

여기서, $\overline{T_w}$ 는 발열블록에 횡방향(유동방향에 수직)으로 설치된 열전대에서 측정된 온도를 평균한 값이며, T_∞ 는 주위온도이며 본 실험에서 시험부 입구온도와 동일하다고 가정하였다. Q 는 히터의 길이방향 길이(200 mm)를 기준으로 한 단위길이당 투입전력을 뜻한다.

Fig. 4는 유속 0.5 m/s, 0.8 m/s, 1.2 m/s에서의 각 경우에 대한 발열블록 표면의 무차원 온도를 나타낸 것이다. Case 1의 경우 상부채널의 강제대류에 의한 영향으로 첫번째 블록이 열전달이 가장 잘 일어나 블록 표면온도가 가장 낮고, 두번

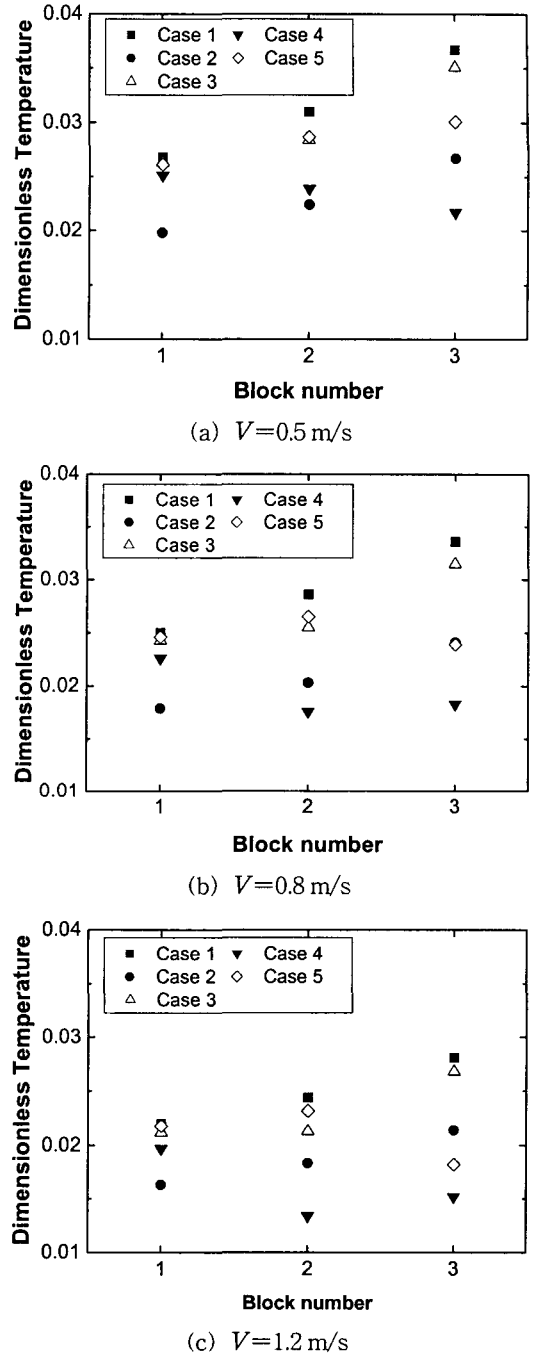


Fig. 4 Dimensionless temperature of the block surface for each case.

재 및 세번째 블록이 이보다 조금씩 높아진다.

Case 2의 경우 Case 1과 달리 하부채널에서 강제대류를 이용하므로 Case 1에 비해 블록 표면은

도가 급격히 낮아진 것을 알 수 있다. 하부채널에서 강제대류를 이용하는 Case 2는 하부채널에 자연대류를 이용하는 Case 1보다 냉각유체의 강제대류에 의해서 열전달량이 증대되었다고 볼 수 있다. 각 블록 표면의 전체적인 온도는 Case 1과 마찬가지로 첫번째 블록에서 열전달이 가장 잘 일어나 온도가 가장 낮고, 두번째 및 세번째 블록이 이보다 조금씩 높아짐을 알 수 있다. 온도가 가장 높은 세번째 블록의 온도는 Case 1에 비해 10, 8, 5°C(속도 0.5, 0.8, 1.2 m/s) 정도 낮게 나타났다.

Case 3은 하부채널에 열전도율이 높은 알루미늄 재질의 전도블록을 사용한 것으로, 첫번째 블록에서의 블록 표면온도는 Case 1과 비슷한 값인데 비해 두번째 블록에서 블록온도가 낮아진 것을 알 수 있다. 이는 두번째 블록에서 알루미늄 전도체에 의한 열전달로 인해 냉각효과가 증가하였기 때문이다. 또 세번째 블록에서 Case 1보다 낮은 온도를 나타낸다. 이는 두번째 블록에서 하부채널의 전도블록에 의해 열전달이 활발하게 이루어졌기 때문에, 세번째 블록에 도달한 상부채널의 유체온도가 Case 1보다 낮아서 대류 열전달이 증가한 것으로 판단된다. 한편, Case 3의 세번째 블록의 온도가 다소 급격하게 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 전도블록이 하부채널에서의 자연대류에 의한 유동을 방해하여 결국 열전달이 저하되어 세번째 블록의 온도가 상승한 것으로 보여진다. Son and Shin의 연구결과를 참고하면, Case 1에서는 하부채널에 넓게 분포하는 자연대류 유동이 Case 3에서는 전도블록에 의해 블록 양쪽 공간으로 제한되며 유동 자체도 매우 약해지는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁴⁾ 이 경우 Case 1에 비해 두번째 블록의 온도는 4~5°C 정도 낮아지지만, 세번째 블록의 온도가 불과 2~4°C 정도밖에 낮아지지 않는다.

Case 4는 상부채널의 발열블록 중간에 배플을 2개 설치한 경우이다. 상부채널에 배플이 없는 Case 1과 비교하여 보면, 배플 설치에 따른 유동 방향의 변화와 그에 따른 대류 열전달 증가로 전체 블록의 온도가 저하한 것을 볼 수 있다. 이는 배플을 설치함에 따라 냉각효과가 증대됨을 나타낸다. Case 4에서 유속의 변화에 따른 각 블록에서의 냉각효과를 살펴보면 유속이 증가할수록 전체 블록에서의 블록온도가 감소하는 것을 볼 수

있고, 특히 두번째 블록의 온도가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이것은 유속이 증가함에 따라 냉각효과가 증가한다는 것을 나타낸다. 그리고, 세번째 블록에서는 유속이 증가할수록 두번째 블록과 비교하여 상대적으로 블록온도가 상승하는 것을 볼 수 있는데, 이는 첫번째 및 두번째 블록에서의 냉각효과로 인해 유체의 온도가 상승하였기 때문인 것으로 사료된다.⁽¹⁴⁾ 온도가 가장 높은 세번째 블록의 경우 Case 1에 비해 표면온도가 많이 낮아진다(10~13°C).

배플 수에 따른 냉각효과를 보기 위해 Case 5에서는 두번째와 세번째 발열블록 사이에 1개의 배플만 설치하였다. 먼저 배플을 설치하지 않은 Case 1과 비교해 보면 두번째 블록과 세번째 블록 사이에 설치된 배플의 영향으로 인해 두번째 블록 뒷부분의 열전달이 다소 활발하게 일어나는 것으로 판단된다. 세번째 블록에서는 배플의 영향을 많이 받기 때문에 Case 1에 비해 블록의 온도가 많이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 한편, Case 4에서 첫번째 배플로 인해 열전달이 활발하게 일어나서 세번째 블록의 온도가 두번째 블록의 온도보다 높게 나타나는 현상은 배플의 갯수를 하나로 줄인 Case 5에서는 나타나지 않고 세번째 블록의 온도가 감소하는 경향을 보인다.

온도가 가장 높은 세번째 블록의 경우 Case 1에 비해 표면온도가 6~9°C 정도 낮아진다. 그렇지만, 이 감소폭은 Case 4의 세번째 블록의 온도가 Case 1에 비해 감소하는 정도와 비교하면 다소 작다.

또한, 유속이 증가할 경우 배플의 영향이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, Case 4의 경우 유속이 증가할수록 세번째 블록의 온도가 점점 높아져서 속도가 1.2 m/s가 되면 두번째 블록의 온도보다 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 두번째 블록에서의 열전달이 속도가 빠를수록 더 활발하게 일어나서 두번째 블록을 지난 유체의 온도가 상승하여 세번째 블록의 온도를 오히려 더 높게 만드는 것으로 판단된다. Case 5의 경우 이와는 반대로 속도가 빨라질수록 세번째 블록의 온도가 점점 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 세번째 블록 바로 전에 설치된 한 개의 배플에 의한 영향으로 보인다. Case 4와 Case 5에서 살펴본 바와 같이 배플의 위치 및 개수에 따라 각 블록의 온도가 다르게 나타나고 있는 것에 유의해야

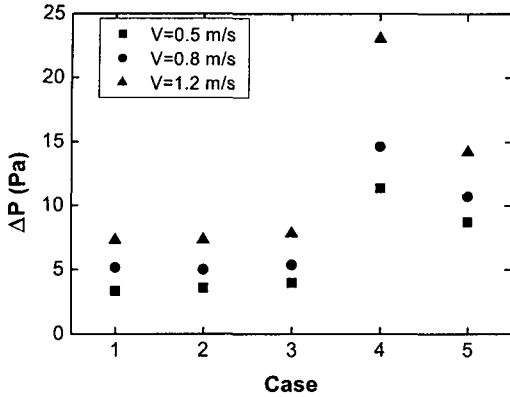


Fig. 5 Pressure drop with inlet velocity for each case.

할 필요가 있을 것이다.

Case 4와 Case 5의 경우에서 대류 열전달을 증가시키기 위해 배플을 설치할 경우 유체의 유동을 방해함으로써 압력강하가 커지게 된다. 압력강하가 커지게 되면 당연히 유체유동에 필요한 펌의 동력을 증대시켜야 하므로 전체적인 효율이 감소될 수 있다. Fig. 5는 각각의 경우에 대한 속도별 압력강하를 나타낸 것으로 Case 4에서 보듯이 배플의 수가 많아질수록 압력강하가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

이상의 실험결과에서 알 수 있듯이 돌출된 열원에서의 냉각성능은 첫번째 블록의 경우 Case 2가 가장 좋은 냉각효과를 나타내었고, 나머지 경우는 비슷한 냉각효과를 보였다. 그리고, 두번째 및 세번째 블록으로 갈수록 배플을 2개 설치한 경우인 Case 4가 냉각성능이 우수한 것으로 나타났다. 그리고, Case 3의 경우 전도블록을 설치한 두번째 블록에서 온도가 낮아졌으므로, 전도블록의 설치에 따른 냉각성능 증대시 유리하다는 사실을 알 수 있다. 즉 발열량이 각기 다른 발열블록이 존재할 경우 고 발열량 블록 하부에 전도블록을 설치하는 것이 효과적인 냉각방법이 될 수 있다. 또한, 배플 설치로 인해 상류측에서의 열전달이 활발하게 일어나서 하류에 도달한 냉각유체의 온도가 상승하기 때문에, 오히려 하류측 블록의 냉각성능을 저하시키는 결과를 가져올 수도 있다(Case 4). Case 5에서 알 수 있듯이 배플의 개수를 조절함으로써 두번째, 세번째 블록의 온도를 변화시킬 수 있으며, 유입공기의 속도와의 매우 밀접한 관계가 있다는 것에 주목할 필요가 있다.

4. 결 론

본 실험에서는 수평 채널 내 일정한 열발생을 갖는 돌출된 열원에 대해, 전도와 대류를 이용한 다양한 냉각방법을 적용하고 이를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일한 기하학적 구조와 열원을 갖고 배플이 없는 일반적인 냉각방식의 경우, 자연대류보다는 강제대류 방식이 우수하다는 것을 확인하였다. 온도가 가장 높은 세번째 블록의 온도는 강제대류 방식이 5~10°C 정도 낮게 나타났다.

(2) 발열블록 하단 면에 전도블록을 설치할 경우 해당 발열블록의 냉각성능 향상을 기대할 수 있다. 전도블록이 설치된 두번째 블록의 온도는 전도블록이 설치되지 않은 경우에 비해 4~5°C 정도 낮아지지만, 세번째 블록의 온도는 2~4°C 정도 낮아진다. 그러나 전도블록이 설치된 발열블록의 후류에 있는 다른 발열블록에서 과도한 온도 상승을 수반할 수 있기 때문에 이에 대한 해석이 필수적이다.

(3) 상부채널에서 공기에 위한 강제대류를 이용하고 발열블록 사이에 2개의 배플을 설치한 경우와, 하류측에 1개의 배플만 설치한 경우가 세번째 블록에서 상이한 냉각성능을 나타냄을 알 수 있었다. 배플을 2개 설치한 경우 1개 설치한 경우보다 속도가 $V=1.2, 0.8, 0.5$ m/s인 경우 블록의 최고온도는 각각 1°C, 3°C, 7°C 낮게 나타났다. 따라서, 전체적인 냉각성능 이외에도 각 부품의 작동온도가 중요한 경우 배플의 개수와 설치위치, 유속 등에 대한 종합적인 검토가 필요하다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-D00046).

참고문헌

- Hannemann, R. J., 1981, Microelectronic device thermal resistance: A format for standardization, Heat Transfer in Electronic Equipment (ASME HTD-20), pp. 39-48.
- Oktay, S., Hannemann, R. and Bar-Cohen, A., 1986, High heat from a small package,

- Mechanical Engineering, Vol. 108, No. 3, pp. 36-42.
3. Incropera, F. P., 1988, Convection heat transfer in electronic equipment cooling, Journal of Heat Transfer, Vol. 110, pp. 1097-1111.
 4. Nakayama, W., 1998, Recent Japanese Thermal Solutions for Portable Computers, Electronics Cooling Online.
 5. Xie, H., Aghazadeh, M., Lui, W. and Haley, K., 1996, Thermal solutions to pentium processors in TCP in notebooks and sub-notebooks, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 19, No. 1, pp. 54-65.
 6. Aung, W., 1991, Cooling Techniques for Computers, Hemisphere Publishing Corporation.
 7. Bar-Cohen, A. and Rohsenow, W. M., 1984, Thermally optimum spacing of vertical natural convection cooled parallel plates, Journal of Heat Transfer, Vol. 106, pp. 116-123.
 8. Afrid, M. and Zebib, A., 1989, Natural convection air cooling of heated components mounted on a vertical wall, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 15, pp. 243-259.
 9. Kang, B. H. and Jaluria, Y., 1990, Natural convection heat transfer characteristics of a protruding thermal source located on horizontal and vertical surfaces, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 33, No. 6, pp. 1347-1357.
 10. Shakerin, S., Bohn, M. and Loehrke, R. I., 1986, Natural convection in an enclosure with discrete roughness elements on a vertical heated wall, Proceedings of the Eighth International Heat Transfer Conference, San Francisco, U.S.A., pp. 1519-1525.
 11. Davalath, J. and Bayazitoglu, Y., 1987, Forced convection cooling across rectangular blocks, Journal of Heat Transfer, Vol. 109, pp. 321-328.
 12. Hung, T. C. and Fu, C. S., 1999, Conjugate heat transfer analysis for the passive enhancement of electronic cooling through geometric modification in a mixed convection domain, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 35, pp. 519-535.
 13. Young, T. J. and Vafai, K., 1999, Experimental and numerical investigation of forced convective characteristics of arrays of channel mounted obstacles, Journal of Heat Transfer, Vol. 121, pp. 34-42.
 14. Son, Y. S. and Shin, J. Y., 2002, Cooling characteristics of a parallel channel with protruding heat sources using convection and conduction heat transfer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 923-930.