

휴대용 컴퓨터 내에 실장된 강제공랭 모듈 주위의 유체유동과 온도분포

박 상 희* · 신 대 중*

(2003년 9월 6일 접수, 2004년 1월 9일 심사완료)

Fluid Flow and Temperature Distribution Around a Surface-Mounted Module Cooled by Forced Air Flow in a Portable Personal Computers Sang Hee Park and Dae Jong Shin

Key Words: Portable Personal Computer(휴대용 컴퓨터), Thermal Resistance (열저항), Adiabatic Wall Temperature(단열벽온도), Module(모듈), Board(기판), Liquid Crystal Film(액정막)

Abstract

This paper reports an experimental study around a module about forced air flow by blower ($35 \times 35 \times 6 \text{mm}^3$) in a portable personal computer model($200 \times 235 \times 10 \text{mm}^3$). Experimental report is to know three data to investigate thermal resistance, adiabatic wall temperature and visualized fluid flow around the module by combination of the moving number and the arrangement method of blower. The channel inlet flow velocity has been varied between 0.26, 0.52 and 0.78m/s, and input power (Q_p) to the module is 4W. To investigate thermal resistance, the heated module is mounted on two boards($110 \times 110 \times 1.2 \text{mm}^3$, $k=20.73$, $0.494 \text{W/m}^\circ\text{C}$) in parallel-plate channel to forced air flow. The temperature distribution were visualized by heated module on acrylic board($k=0.262 \text{W/m}^\circ\text{C}$) using liquid crystal film. Fluid flow around the module were visualized using particle image velocimetry system.

1. 서 론

최근 칩에 있어서 회로를 고집적화하는 기술이 비약적으로 발전하여 전자기기의 논리처리부(CPU)는 1개의 모듈로 구성되어지고 있다. 또한 모듈을 기판에 실장하는 방식은 입출력 핀(I/O pin)을 기판의 구멍에 삽입하는 방식으로부터 입출력 핀을 보다 고밀도화 시키기 위한 BGA(ball grid array) 형태의 표면실장 방식으로 변화하고

있다. 이로 인하여 전자기기의 성능은 더욱더 향상되었고, 전자 시스템의 크기는 점점 소형화로 가속화되고 있다. 특히 휴대용 컴퓨터에 있어서도 CPU 칩의 성능은 비약적으로 증가하였고, 컴퓨터 본체의 두께는 현재 20mm에서 앞으로 10mm로 점점 얇아지고 있는 추세이다. 따라서 휴대용 컴퓨터의 열설계 측면에서는 더욱더 열악한 조건으로 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 휴대용 컴퓨터의 기판을 열시스템으로 고려하면, Fig. 1과 같이 기판에 실장된 1개의 모듈(발열체)로부터 발생하는 열은 평행평판 채널 내에 흐르는 공기로 방열하게 된다. 모듈로부터의 열전달은 기판 표면상에서 대류와 전도가 혼합된 복합열전달이 일어나게 된다. 모듈

† 책임저자, 회원, 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : parksh@kumoh.ac.kr
TEL : (054)467-4203 FAX : (054)467-4472

* 알티전자(주) 기술연구소

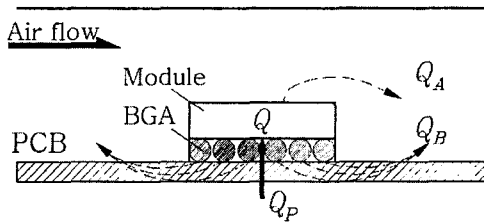


Fig. 1 Heat transfer paths from surface-mounted module to channel air flow

로부터 발생한 발열량 Q 는 여러 경로를 통하여 냉각공기류로 전달된다. 즉 모듈표면으로부터 공기류로 직접 전해지는 대류 열전달량 Q_A 과 전도로 인해 입출력 핀과 기판을 통과하여, 그 후 기판표면으로부터 냉각공기로 전달되는 열전달량 Q_B 있다. 후자의 열전달 과정은 기판내부의 열전도, 모듈 주위의 공기유동, 기판에 접하는 공기온도와 복합되어 매우 복잡하다. 이러한 기판표면에서의 전도/대류 복합열전달 문제를 연구한 사례는 적고, 방열설계에 도움이 될 자료도 매우 적기 때문에 이에 대한 기초 연구가 절실히 요구된다.

평행평판 채널 내에 한 개의 모듈이 실장되었을 때 모듈에 대한 유체유동 및 강제대류 열전달에 관한 연구는 다음과 같다. 즉 평행평판 채널과 발열체의 높이 변화에 따른 모듈에 의한 유체유동 및 열전달 특성에 대한 실험적 연구,^(1,2) CFD 시뮬레이션을 이용하여 모듈 주위의 3차원 난류유동 및 열전달 특성에 관한 연구,^(3,4) 흐름영각에 따른 모듈 주위의 유체 흐름과 열전달 특성을 실험적으로 연구^(5,6)가 문헌에 나타나 있다. 이상의 연구들을 검토해 보면 유체유동을 완전 발달된 유동으로 가정하여 모듈로부터 공기로의 대류열전달만을 연구하였다. 이들의 연구에서는 기판으로의 전도열전달을 무시하였다. 3차원 모듈을 대상으로 하여 기판으로의 전도열전달을 고려한 기존의 문헌에 있어서 최초로 Graham 등⁽⁷⁾은 3차원 모듈에 대한 전도/대류 복합 열전달의 중요성을 강조하였다. Nakayama와 Park⁽⁸⁾은 강제공랭되는 3차원 단일모듈로부터의 전도/대류 복합열전달 특성을 실험 및 수치해석으로 연구하였다. 이들의 연구를 기초로 하여 혼합대류 유동 내에서 모듈로부터의 전도/대류 복합열전달에 대

한 연구,⁽⁹⁾ 강제공랭에 있어서 채널의 높이 변화와 기판의 열확산에 따른 모듈로부터의 복합열전달에 대한 실험적 연구⁽¹⁰⁾와 수치해석적 연구⁽¹¹⁾가 수행되어졌다.

또한 실제의 휴대용 컴퓨터를 대상으로 선행된 연구는 다음과 같다. Kobayashi 등⁽¹²⁾은 두께 12 mm의 초박형 휴대용 컴퓨터 내의 열확산자의 크기와 기하학적 형상을 최적화하였다. Hisano 등⁽¹³⁾은 휴대용 컴퓨터 내의 열원으로부터 주변장치로의 복합열전달에 대해 실험 및 해석 방법으로 연구를 수행하였다. Viswanath와 Ali⁽¹⁴⁾는 heat pipe가 부착된 휴대용 컴퓨터 내의 열전달 특성에 대하여 연구하였다. 이들은 기판의 열전도계수, 자연대류에서의 소비전력의 한계 등을 파라미터로 하여 검토하였다.

따라서 본 연구에서는 두께가 매우 얇은 휴대용 컴퓨터 내의 기판에 실장된 강제 공랭되는 3차원 정방형 모듈로부터의 대류열저항, 모듈 주위의 유동가시화 그리고 모듈로부터의 방열이 단열벽온도에 미치는 영향을 고려한 열와인자(thermal wake function)의 분포를 구하여 협소한 평행평판 채널 내에서의 전도/대류 복합열전달을 예측하는데 필요한 자료를 구축하는 것이다. 모듈 주위의 유체 유동 및 단열벽온도 분포는 블로어(blower)의 가동개수 및 배열방법 그리고 PCB의 종류를 각각 변화시켜 가면서 실험적으로 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다. 시험부는 높이 10mm인 평행평판 채널로 구성된 휴대용 컴퓨터를 모델로 하였다. 시험부는 유동가시화를 용이하게 하기 위해 투명 아크릴로 제작하였다. 본 연구에서는 시험부 내의 유체 유동을 가시화하기 위해 PIV(particle imaging velocimetry) 시스템을 이용하였다. PIV는 120mJ/pulse의 이중 펄스 방식의 Nd:Yag 레이저 시스템과 1K×1K의 고해상도 CCD카메라, 동기화장치(synchronizer), 화상처리장치로 구성되어 있다. CCD카메라의 촬영속도는 15Hz이다. 레이저 광원으로부터 조사된 레이저 빔은 레이저 암을 통과하면서 평면 빔으로 만들어져 기판 표면으로부터 1.5mm 떨어진 위치에서 시험부로 조

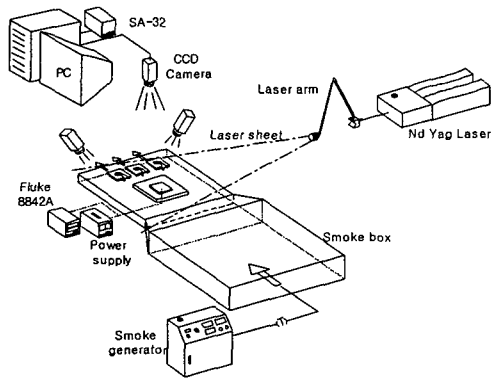


Fig. 2 Experimental setup

사된다. 가시화에 사용된 유동 입자는 파라핀오일 에어로졸이다. 이 에어로졸은 연기발생장치에서 기화되며, 생성된 파라핀 연기를 채널 입구에 설치된 연저장고에 저장시킨 후, 시험부 출구에 설치된 블로어를 가동시켜 시험부 입구로 연기를 유입되게 하였다. 시험부에 설치된 모듈로의 전력 공급은 직류전원 공급장치에 의해서 전력을 공급하고, 디지털 멀티메타(FLUKE-8842A)를 이용하여 모듈에 공급되는 전력을 조절하도록 하였다. 시험부 입구의 공기온도, 모듈의 표면온도 그리고 채널의 상부표면 온도는 직경 0.2mm의 T형 열전대를 온도측정 장치(SA-32)에 연결하여 측정하였다.

단열벽온도(T_{ad})를 측정하기 위해 벽면에 두께 0.2mm의 천을 부착하고 그 위에 액정막을 접착시켰다. 액정막(liquid crystal film)은 측온범위가 32.3~39.6°C이며, 고온측으로부터 감청색, 청색, 녹색, 적색, 갈색의 순으로 5종류의 색을 나타낸다. 특히 33.7°C(갈색/적색), 34.9°C(적색/녹색) 그리고 37°C(녹색/청색)에서 변색경계가 식별 용이하였으며, 이들의 경계를 측정으로 이용하였다. 액정막의 지시온도의 검정은 액정보정장치에 열전대를 부착하여 행하였다. 모듈 주위의 색분포는 채널 상부에 설치된 디지털 카메라와 보조 광원 2대를 이용하여 촬영하였으며, 촬영된 결과는 영상처리장치를 이용하여 데이터를 정리하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 시험부의 개략도를 나타낸 그림이다. 시험부는 길이 235mm, 폭 200mm, 높이 10mm인 평행평판 채널로서 투명한 아크릴로 제작하였다. 시험부 내의 공기는 채널의

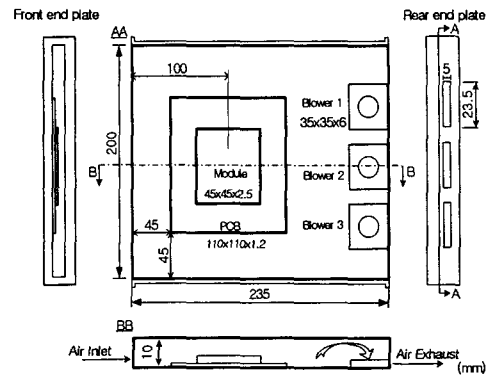


Fig. 3 Diagram of test section

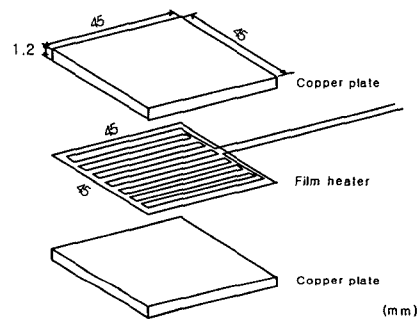


Fig. 4 Structure of simulated module

출구에 부착된 3개의 블로어(Sunon-GB0535)에 의해 유입된다. 본 연구에 사용된 블로어는 폭과 길이가 각각 23.5mm, 두께 5mm의 치수를 가지는 원심 쉐(fan)이다. 시험부 입구의 평균유속 V 는 블로어 1개가 가동할 때는 $V=0.26m/s$, 블로어 2개일 때는 $0.52m/s$, 블로어 3개일 때는 $0.78m/s$ 이다. 기관은 $110 \times 110 \times 1.2mm^3$ 의 크기를 가지는 저밀도기관(열전도계수 $k=0.494W/mK$)과 고밀도기관($k=20.73W/mK$)으로 2종류의 인쇄회로기판(printed circuit board)을 사용하였다.

Fig. 4는 본 실험에 사용된 모사모듈을 나타내고 있다. 모사모듈은 $45 \times 45 \times 1.2mm^3$ 의 크기를 갖는 2개의 정방형 동판사이에 저항 값이 50.8Ω 이고, 크기가 $45 \times 45 \times 0.1mm^3$ 인 필름 히터(film heater)를 삽입하여 제작하였다. 모듈로의 입력전력은 4W이다. 모듈은 채널 입구로부터 77.5mm

Table 1 Cases studied : Combinations of activated blowers

Model	Blower 1	Blower 2	Blower 3
Exp. 1	ON	ON	ON
Exp. 2	ON	ON	OFF
Exp. 3	ON	OFF	ON
Exp. 4	OFF	ON	ON
Exp. 5	ON	OFF	OFF
Exp. 6	OFF	ON	OFF
Exp. 7	OFF	OFF	ON

떨어진 위치에 모듈의 선단부가 놓이도록 설치하였다. 모듈과 기판 사이에는 두께가 0.5mm이고, 열전도계수가 4.0W/mK인 열전도성 시트를 삽입하였다. 본 실험에서 수행한 측정의 불확실성은 Kline과 McClintock⁽¹⁵⁾의 방법으로 평가하여 다음과 같이 추정하였다. 채널입구의 공기온도는 ±0.3K, 모듈온도 ±0.3K, 벽면온도 ±0.3K, 액정막의 변색 경계의 공간분해능 약 1mm, 채널입구의 평균속도 10%, 모듈로의 입력전력은 0.32%, 복사에 의한 열손실량은 0.43%로 평가되었다.

Table 1은 채널 내의 출구부분에 설치된 블로어의 가동개수 및 배열방법의 조합을 나타낸 것이다. 실험 모델은 7가지 조건으로서 Exp. 1~Exp. 7로 나타내었다. 이들 실험 모델은 블로어의 가동개수와 가동되는 블로어의 배열 위치를 조합시켰으며 그 모델은 다음과 같다. 즉 Exp. 1은 3개의 블로어가 모두 가동되는 상태이고, 이들 각 블로어의 배열 위치는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 채널 내의 블로어 1, 2, 3의 위치에 해당한다. 실험 조건 Exp. 2~4는 블로어 3개중 2개만 가동되는 상태이다. 즉 Exp. 2는 블로어 1과 2가, Exp. 3은 블로어 1과 3이, Exp. 4는 블로어 2와 3이 가동된다. 실험 조건 Exp. 5~7은 블로어 3개중 1개만 가동되는 상태이다. 즉 Exp. 5는 블로어 1만, Exp. 6은 블로어 2만, Exp. 7은 블로어 3만 가동되는 경우를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모듈표면상의 열저항, Rc

본 실험에 있어서 모듈표면상의 대류 열저항

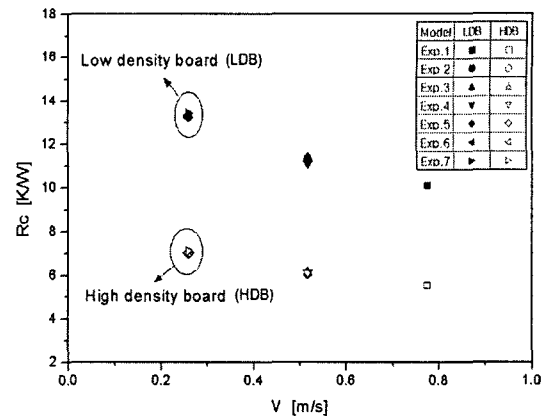


Fig. 5 Thermal resistance Rc vs. air velocity V

Rc는 다음 식으로 계산하였다.

$$R_c = \frac{T_M - T_\infty}{Q_P} \quad (1)$$

여기서 T_M 은 모듈의 표면온도이고, T_∞ 는 채널입구의 공기온도, Q_P 는 모듈로의 공급전력이다.

Fig. 5는 채널입구의 평균유속(V) 및 기판의 종류에 따른 모듈표면상의 대류열저항(Rc) 값을 나타낸다. 기판은 저밀도기판($k=0.494W/mK$)과 고밀도기판($k=20.73W/mK$)을 이용하였다. 본 실험조건은 Exp. 1~Exp. 7까지로 Table 1에 나타낸 바와 같다. 대류열저항 Rc는 저밀도기판과 고밀도기판에 있어서 블로어의 가동 개수가 많을수록 즉 채널입구의 평균유속이 증가할수록 감소함을 보였다. 즉 블로어가 3개 가동할 때가 1개 가동할 때에 비해 Rc가 약 33% 감소하였다. 또한 블로어가 1개($V=0.26m/s$, Exp. 5~7) 또는 2개($V=0.52m/s$, Exp. 2~4)로 고정되어 가동되면서, 블로어의 가동유무의 위치만을 변화시켜 가면서 구한 Rc 값은 서로 중첩됨을 보였다. 이것은 채널 입구의 공기 속도가 일정할 때 출구부분에 설치된 각 블로어의 배열 위치의 변화가 모듈표면상의 대류열전달량(Q_A)에 큰 영향을 미치지 않음을 의미한다. 기판의 종류에 따른 대류열저항 Rc를 비교해 보면 본 실험에 사용된 고밀도기판은 저밀도기판에 비해 열전도계수가 42배 더 크다. 따라서 고밀도기판에 탑재된 모듈 표면상의 대류

열저항 R_c 는 저밀도기관에서의 열저항 R_c 에 비해 $6.3K/W(V=0.78m/s) \sim 4.7K/W(V=0.26m/s)$ 정도 감소함을 보였다. 이것은 기관의 열전도계수가 클수록 모듈로부터 기관으로 전도열전달량이 증가함을 의미한다. 이러한 결과는 휴대용 PC와 같은 유속과 시스템 공간에 제한을 받는 전자장비의 경우에 기관을 열확산자로 설정하여 열설계의 변수로 활용될 수 있다.

3.2 유동가시화

Fig. 6~8은 블로어의 가동개수 및 배열 방법의 변화에 따른 채널 내의 모듈 주위의 공기유동의 가시화 사진이다. 채널 내의 중앙에 위치한 1개의 검은색 정사각형은 모듈이고, 흰색 선은 공기흐름을 나타내는 유맥선이다. 채널의 밑면과 모듈 표면은 유동가시화를 명확하게 보여주기 위해 표면이 매끈한 검정색 색지를 부착시켰다. Fig. 6~8에서 ON 또는 OFF가 표시된 3개의 검은 사각형은 블로어이고, 블로어 내의 반시계 방향의 화살표는 블로어의 회전방향을 나타낸다. 블로어의 번호는 왼쪽부터 블로어 1, 블로어 2 그리고 블로어 3이라 한다(Fig. 3). 본 논문에서는 결과를 제시하지 않았으나 채널 내에 모듈이 없을 때의 유동가시화 결과와도 고찰하였다.

Fig. 6은 블로어 3개가 가동할 때 유동을 가시화 한 결과를 보여준다(Exp. 1). 채널입구의 평균 유속은 $V=0.78m/s$ 이다. 본 실험의 유동 특징은 전체적인 공기흐름이 모듈을 중심으로 유동방향으로 대칭적인 흐름을 형성하고 있다. 특히 모듈 주위에는 말굽형 와류가 그리고 모듈 후방의 하향흐름 방향으로는 와류가 형성되었다. 또한 각 블로어의 앞쪽에는 블로어의 회전방향에 의해 작은 소용돌이 흐름이 발생되고 있다. 이 소용돌이는 채널 내에 모듈이 없을 때에 비하여 약 1.5배 정도 더 크게 성장되었다. 이것은 모듈에 의해 발생한 와류와 소용돌이가 서로 혼합되어 작용하기 때문인 것으로 추측된다. 그리고 블로어 1과 3의 양 측면인 모퉁이(corner) 영역에서는 순환 흐름(circulation flow)이 발생됨을 관찰하였다.

Fig. 7(a)~(c)는 Exp. 2~4의 조건으로 블로어 2개가 가동($V=0.52m/s$)할 때 유동을 가시화 한 결과를 나타낸다.

Fig. 7(a)의 유동 특징(Exp. 2)은 블로어 1과 2의 가동으로 인해 공기흐름이 모듈을 중심으로

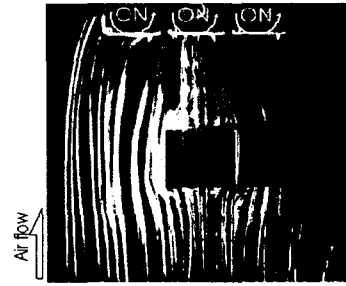


Fig. 6 Visualization of flow by smoke streaks around a module in the channel at $V=0.78m/s$

좌측으로 기울어지는 비대칭적인 흐름이 모듈을 중심으로 나타났다. 블로어 1과 2의 앞쪽에서는 블로어의 회전방향에 의해 작은 소용돌이가 발생됨을 관찰할 수 있었다. 또한 모듈 주위에는 비대칭적인 말굽형 와류가 발생하고 모듈 후방에는 모듈에 의해 발생한 와류가 블로어 1의 앞쪽에서 발생한 와류와 혼합되어 소용돌이는 채널 내에 모듈이 없을 때 발생한 소용돌이보다 약 1.7배 정도 더 크게 성장됨을 관찰하였다.

Fig. 7(b)의 Exp. 3에서의 유동 흐름은 블로어가 2개 가동(블로어 1과 3)할 때 유동가시화 결과이다. 블로어 1의 앞쪽에서 발생한 소용돌이와 모듈 후방의 와류와 혼합되어 그림과 같이 모듈 후단부로부터 블로어 1의 앞쪽 영역까지 전체를 영역을 가득 채우는 소용돌이로 성장됨을 알 수 있었다. 이것은 가동되는 블로어 1과 3의 간격이 넓어져 모듈 측면에서 발생한 말굽형와류와 모듈 후방에서 발생한 와류가 블로어 1과 3쪽으로 분류되고 이 흐름이 소용돌이와 혼합되어 크게 성장되는 것으로 예측된다. 이 크기는 모듈이 없을 때 보다 약 1.5배, Exp. 2(블로어 1과 2가동)와 Exp. 4(블로어 2과 3가동)에서 발생한 소용돌이보다 약 3.2배 정도 더 커졌다. 또한 블로어 3의 앞쪽에서도 큰 소용돌이 흐름이 발생되었다.

Exp. 4(Fig. 7(c))는 블로어 2와 3의 가동으로 인해 전체적인 공기흐름이 우측으로 기울어지는 비대칭적인 흐름이 발생되었다. 모듈 주위의 유동패턴은 Exp. 2(Fig. 7(a))와 유사하게 나타났으며 블로어 2와 3의 앞쪽에서 발생한 소용돌이는 와류와 혼합되어 모듈이 없을 때보다 약 1.7배 정도 더 크게 성장하였다.

Fig. 8(a)~(c)는 Exp. 5~7의 조건으로 블로어

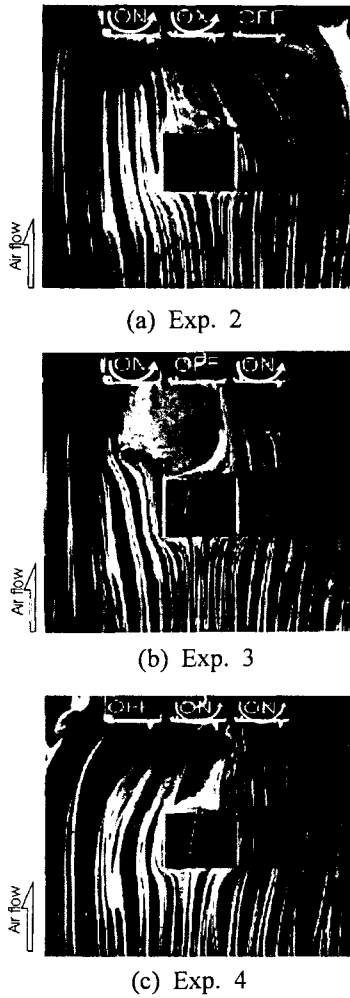


Fig. 7 Visualization of flow around a module at $V=0.52$ m/s

1개가 가동 ($V=0.26$ m/s)할 때 유동을 가시화 한 결과를 나타낸다.

Fig. 8(a)은 블로어 1만 가동할 때의 결과로 기판상의 공기 흐름이 모듈을 중심으로 전체적으로 좌측으로 기울어지는 비대칭 흐름이 발생하였고, 블로어 1의 앞쪽에서는 블로어의 회전 방향에 의해 작은 소용돌이가 나타났다. 특히 모듈 주위의 말굽형 와류는 모듈의 좌측 후단부를 따라 발생하고 블로어 1의 앞쪽에서 발생한 소용돌이와 혼합하게 된다. 이러한 현상에 의해 블로어 1의 앞쪽에서 발생한 소용돌이는 모듈이 없을 때에 비해 약 1.2배 정도 더 성장하였다.

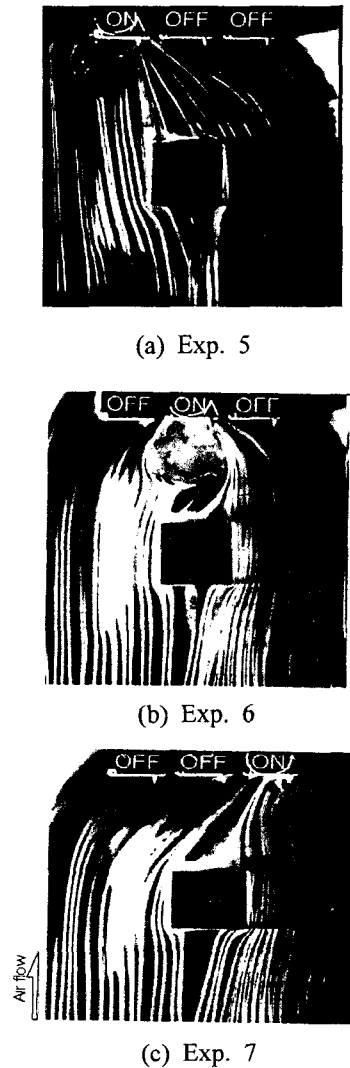


Fig. 8 Visualization of flow around a module at $V=0.26$ m/s

Fig. 8(b)는 블로어 2만 가동할 때 유동가시화 결과이다. 유동 특징은 블로어 2의 가동으로 인해 모듈을 중심으로 공기 흐름이 전체적으로 대칭을 이루며 블로어 2의 앞쪽에는 소용돌이가 발생하고 있다. 이 소용돌이는 모듈이 없을 때 발생한 소용돌이에 비해 약 2.2배 정도 더 크게 성장하였다. 이것은 모듈에 의해 발생한 와류와 혼합작용이 일어나기 때문인 것으로 추측된다.

Fig. 8(c)의 유동 패턴은 블로어 3의 가동으로 인해 기판상의 공기 흐름이 모듈을 중심으로 좌

측으로 기울어지는 비대칭적인 흐름이 나타났다. 특히 모듈 주위의 말굽형 와류는 모듈의 우측 후단부를 따라 유동방향으로 발생하여 블로어 3의 앞쪽에서 발생한 소용돌이와 혼합하게 됨을 관찰할 수 있었다. 이 소용돌이는 모듈이 없을 때 발생한 소용돌이에 비해 약 4배 정도 더 크게 증가하였다.

3.3 열와류인자

2장에서 설명한 단열벽온도 측정 방법에 의해 단열벽온도(T_{ad})를 측정하여 다음과 같은 식으로 열와류인자(F)를 구하였다.

$$F = \frac{T_{ad} - T_{\infty}}{Q_A} \quad (2)$$

F는 모듈 주위의 채널 벽면상의 열저항[K/W]을 나타내며, 모듈에 의해서 발생한 열와류가 벽면의 가까이에서 운반하는 엔탈피 수송을 열저항의 형태로 표현한 것이다. Q_A 는 모듈 표면상의 대류열전달량(W)이고 $Q_A = Q_P - Q_L$ 로 계산하였다. Q_L 는 열손실량이다. T_{∞} 는 채널입구의 공기온도이다.

Fig. 9~11(Exp. 1~Exp. 7)은 식 (2)를 이용하여 구한 F값의 선도를 나타낸다.

Fig. 9는 블로어 3개가 가동할 때 모듈 주위의 F값의 분포를 나타낸다. 그림에서 $F \geq 2.83\text{K/W}$ 의 영역은 단열벽 온도가 높은 영역($T_{ad} \geq 37^{\circ}\text{C}$)이고, $F < 2.83\text{K/W}$ 의 영역은 상대적으로 단열벽 온도가 낮은 영역을 나타낸다. F값의 분포는 모듈을 중심으로 흐름 방향으로 대칭적인 형태를 나타내었다. 특히 단열벽 온도가 높은 $F \geq 2.83\text{K/W}$ 의 영역은 모듈로부터 발생한 고온공기가 기판 표면상을 덮어서 엔탈피 수송이 잘 일어나지 않기 때문에 기판 표면상의 열저항이 증가하게 된다. $F < 2.83\text{K/W}$ 에서는 모듈 주위의 말굽형 와류와 가속유동에 의해 모듈로부터 멀어짐에 따라 F값이 낮아지게 된다. F값의 분포 형태는 Fig. 6의 유동가시화의 경향과 잘 일치함을 알 수 있었다.

Fig. 10(a)~(c)는 블로어 2개가 가동할 때 F값의 분포를 나타낸다. 그림에서 F의 크기에 대응되는 온도는 Fig. 9에서 설명한 바와 같다.

Fig. 10(a)~(c)는 Exp. 2~4의 조건으로서 수행되었으며, 각각의 F분포 형태는 Fig. 7(a)~(c)

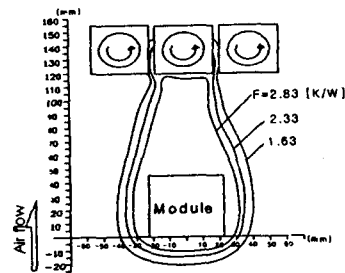
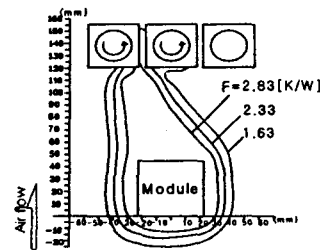
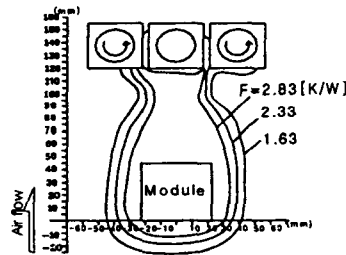


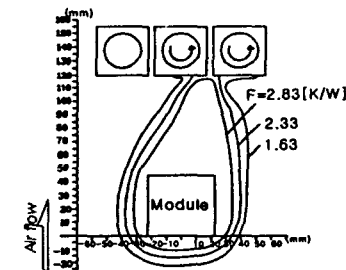
Fig. 9 Thermal wake function F on the board around a heated module ($V=0.78\text{m/s}$)



(a) Exp. 2



(b) Exp. 3



(c) Exp. 4

Fig. 10 Thermal wake function F on the board around a heated module ($V=0.52\text{m/s}$)

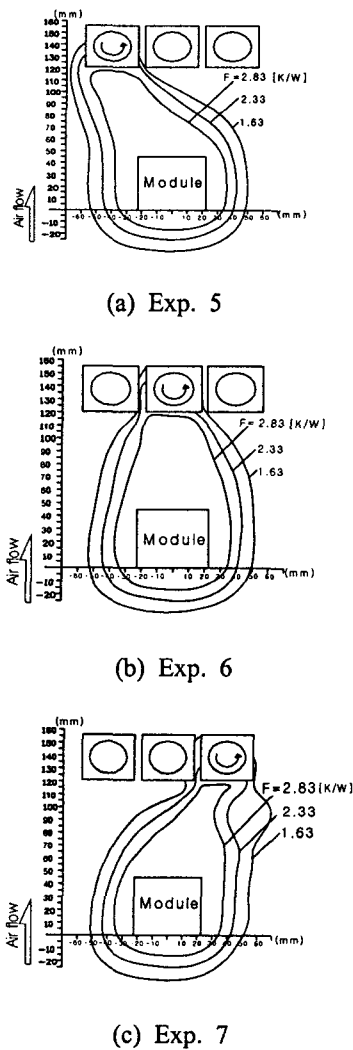


Fig. 11 Thermal wake function F on the board around a heated module ($V=0.26\text{m/s}$)

의 유동가시화 결과와 유사한 경향을 보였다. Fig. 10(a)~(c)에 있어서 $F \geq 2.83\text{K/W}$ 의 고온 영역의 면적은 채널 입구의 유속의 감속으로 인하여 Fig. 9에서 보여진 영역의 면적보다 Fig. 10(a)와 (c)경우는 약 2%, Fig. 10(b)는 약 8% 더 증가함을 보였다.

Fig. 11(a)~(c)는 가동 블로어가 1개 (Exp. 5~7) 일 때 F 의 분포를 나타낸다. 각 실험의 F 분포 형태는 Fig. 8(a)~(c)의 유동가시화 결과와 유사한 경향을 보였다. 각 실험에서 $F \geq 2.83\text{K/W}$ 의 면적은 Fig. 9의 결과보다 Fig. 10(a)와 (c)는

약 16%, Fig. 10(b)는 22% 증가하였다.

4. 결론

평행평판 채널 벽면에 부착된 모듈 주위의 유체유동 및 온도분포에 대한 기초 자료를 확립하기 위하여 기관의 종류, 블로어 가동개수 및 배열방법을 변화시켜 가면서 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 모듈 표면상의 대류열저항 R_c 는 블로어의 가동개수가 많을수록 즉 블로어 3개일 경우가 1개일 때보다 R_c 값은 약 33% 감소하였다. 또한 블로어가 1개 또는 2개 가동될 때에 블로어의 배열 위치만 변화시켜 구한 R_c 값은 서로 중첩됨을 보였다. 고밀도기관과 저밀도기관에 놓여진 모듈의 R_c 값은 기관의 열전도계수를 42배 증가시킬 때 $6.3\text{K/W}(V=0.78\text{m/s}) \sim 4.7\text{K/W}(0.26\text{m/s})$ 정도 감소함을 보였다.

(2) 블로어의 가동개수 및 배열방법을 변화시켜 채널 내의 모듈 주위의 공기 흐름을 가시화한 결과, 모듈 주위의 말굽형와류, 모듈 후방영역의 와류유동 그리고 가동 블로어의 앞쪽에서의 소용돌이 유동이 관찰되었다. 모듈 주위의 유동 패턴은 블로어의 가동개수와 배열 위치에 따라 모듈을 중심으로 대칭적인 흐름 및 블로어의 가동 방향으로 좌우측으로 기울어지는 비대칭적인 흐름이 관찰되었다. 특히 주목할 만한 유동 특징은 모듈과 블로어 사이에서 발생하는 소용돌이이다. 이 소용돌이는 채널 내에 모듈이 없을 때에는 블로어의 앞쪽에서 블로어의 가동방향에 의해 작은 소용돌이가 발생하였으나 모듈이 존재할 경우에는 모듈 주위와 후방에서 발생한 와류와 소용돌이가 서로 혼합하여 소용돌이가 약 1.5배~3.2배 정도 더 크게 성장함을 관찰하였다. 또한 소용돌이의 크기는 블로어의 가동개수가 3개에서 1개로 감소할수록 약 2배 정도 더 크게 성장하였다.

(3) 모듈의 방열이 단열벽온도에 미치는 영향을 열와류인자 F 로 표시하여 채널 내 모듈 주위의 F 분포를 구하였다. F 분포의 양상은 모듈 주위의 유동 패턴과 유사한 경향을 보였다. 모듈 주위의 F 분포가 $F \geq 2.83\text{K/W}$ 인 고온 영역의 면적은 블로어 3개가 가동될 때를 기준으로 하면 블로어가 2개 가동될 때는 약 2%~8%, 블로어 1개 가동될 때는 16%~22% 더 크게 증가하였다.

참고문헌

- (1) Chang, M. J., Shyu, R. J. and Fang, L. J., 1987, "An Experimental Study of Heat Transfer from Surface Mounted Components to a Channel Airflow," *ASME Paper* No. 97-HT-75.
- (2) Roeller, P. T., Stevens, J., and Webb, B. W., 1991, "Heat Transfer and Turbulent Flow Characteristics of Isolated Three-Dimensional Protrusions in Channels," *ASME J. of Heat Transfer*, Vol. 113, pp. 597~603.
- (3) Rosten, H. I., and Viswanath, R., 1994, "Thermal Modeling of the Pentium TM Processor Package," *IEEE Electronic Component Technology Conf.*, Washington, D.C., pp. 421~428.
- (4) Behnia, M., Nakayama, W. and Wang, J., 1998, "CFD Simulation of Heat Transfer from a Heated Module in an Air Stream: Comparison with Experiments and a Parametric Study," *InterSociety Conf. on Thermal Phenomena*, pp. 43~151.
- (5) Nakamura, H., Igarashi, T. and Tsutsui, T., 2001, "Local Heat Transfer Around Wall-Mounted Cube in the Turbulent Boundary Layer," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44, pp. 3385~3395.
- (6) Park, S. H. and Shin, D. J., 2002, "A Study on the Heat Transfer Characteristics Around a Surface-Mounted Air-Cooled Module for the Flow Angle-of-Attack," *Trans. of the KSME, B*, Vol. 26, No. 9, pp. 1267~1275.
- (7) Graham, K. and Witzman, S., 1988, "Analytical Correlation of Thermal Design of Electronic Packages," *Cooling Technology for Electronic Equipment*, pp. 249~264.
- (8) Nakayama, W. and Park, S. H., 1996, "Conjugate Heat Transfer from a Single Surface-Mounted Block to Forced Convective Air Flow in a Channel," *ASME J. of Heat Transfer*, Vol. 118, pp. 301~309.
- (9) Lee, J. H., Park, S. H., Riu, K. J. and Bang, C. H., 2000, "Mixed Convection Transport from a Module on the Bottom Surface of Three Dimensional Channel," *Trans. of the KSME, B*, Vol. 24-15, pp. 632~639.
- (10) Park, S. H. and Hong, T., 2002, "Enhancement of Heat Transfer from an Air-Cooled 3-Dimensional Module by Means of Heat Spreading in the Board," *Trans. of the KSME, B*, Vol. 26, No. 7, pp. 1022~1030.
- (11) Zhang, X., Imamura, T. and Fujii M., 1999, "Conjugate Heat Transfer from Small Heat Source Mounted on a Conductive Wall," *ASME Advances in Electronic Packaging*, EEP-Vol. 26-1, pp. 511~519.
- (12) Kobayashi, T., Ogushi, T., Sumi, N. and Fujii, M., 1998, "Thermal Design of a Ultra-Slim Notebook Computer," in *InterSociety Conference on Thermal Phenomena*, pp. 15~21.
- (13) Hisano, K., Iwasaki, H. and Ishizuka, M., 1996, "Thermal Analysis of Compact Electronic Equipment," in *Proceedings of the 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery*, Vol. 2.
- (14) Viswanath, R. and Ali, I. A., 1997, "Thermal Modeling of High Performance Package in Portable Computers," in *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. Part A*, Vol. 20, No. 2.
- (15) Kline, S. J. and McClintock, F. A., 1953, "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, Jan, pp. 3~8.