

압전세라믹 냉각팬에 의한 강제 공랭 모듈 주위의 유체유동과 열전달 특성

박 규 진[†], 박 상 희^{*}

Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics around a Surface-Mounted Module Cooled by Forced Air Flow by Piezoelectric Cooling Fan

G.J. Park and S.H. Park

Key Words: Adiabatic wall temperature(단열벽온도), Piezoelectric Fan(압전 팬), Module(모듈)
Flow Visualization(유동 가시화), PIV(입자영상유속계)

Abstract

This paper reports the fluid flow and heat transfer around a module cooled by forced air flow generated by a piezoelectric(PZT) cooling fan. A flexible PZT fan with distortion in a fluid transport system of comparatively simple structure which was mounted on a PCB in a parallel-plate channel($450 \times 80 \times 700 \text{mm}^3$) accelerates surrounding fluid locally. Input voltages of 20–100V and a resonance frequency of 23Hz were used to vibrate the cooling fan. Input power to the module was 4W. The cooling effect using a PZT fan was larger than that of free convection. Fluid flow around the module were visualized by using PIV system. The temperature distribution around heated module were visualized by using liquid crystal film(LCF). We found that the flow type was y-shaped and the cooling effect was increased by the wake generated by a piezoelectric cooling fan.

기호설명

a : 모듈의 중심축과 vortex의
유동 방향과의 각[°]
 b : PZT 팬의 후단에서 유동과의 폭[m]
 d : PZT 팬의 변위[mm]
 F : 열외류계수 [K/W]
 f : PZT 팬의 주파수[Hz]
 T_o : 채널입구의 온도 [K]
 T_M : 모듈 온도 [K]

V_i : 채널로의 유입공기 속도 [m/s]
 V_p : PZT 팬의 인가 전압[V]
 X : 모듈중심에서의 가로방향 좌표축[m]
 Y : 모듈중심에서의 세로방향 좌표축[m]
 Z : 모듈중심에서의 연직방향 좌표축[m]

1. 서 론

최근 중앙처리장치(CPU)에 집적하는 회로의 미세화 기술의 비약적인 진전은 컴퓨터를 비롯한 전자기기의 성능을 한층 더 높이고 있으며, 또한 전자기기의 시스템 크기도 급속하게 다운사이징(downsizing)화 시키고 있다. 이러한 전자기기의 고성능화 및 소형화의 추세는 CPU에 더 많은 반도체 소자들이 집적되어 CPU의 단위 면적당의 발열량을 크게 증가시키고 있다. CPU의 발열량

[†] 금오공과대학교 기계공학과 대학원

^{*} 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : parksh@kumoh.ac.kr

TEL : (054)467-4203 FAX : (054)467-4472

증가는 부품에 있어서 허용한계온도 이상으로 되면 부품은 고장을 일으키게 된다. 따라서 CPU의 온도를 허용한계온도 이하로 유지시키기 위해서는 반드시 CPU를 냉각하여야 한다. 현재 PC를 비롯한 전자기기에 이용되고 있는 CPU의 냉각방법은 CPU의 표면에 방열 환을 부착하고, 환 상부에 냉각 팬을 설치하여 강제대류 방식으로 CPU 표면으로부터 주위공기로 열을 제거하여 CPU를 냉각하고 있다. 이 방식을 이용하여 CPU의 냉각 효과를 높이기 위하여는 냉각 팬의 용량을 증대시키거나 또는 방열 환의 전열면적을 확대시키는 것이다. 전자의 경우는 냉각 팬의 용량을 증가시키면 냉각 효과는 크게 높일 수 있으나 팬의 회전수 증가로 인하여 소음 및 에너지 소비의 증가로 전자기기에 있어서 품질의 저하 요인이 된다. 후자의 경우는 전열면적의 증대로 인하여 방열 환의 크기가 커짐에 따라 시스템 내의 설치 공간이 증가하여 다운사이징화에 어려운 상황에 부딪치게 되므로 소형화를 요구하는 휴대용 전자기기에는 사용하기 어려운 단점이 있다. 이러한 기존의 CPU 냉각법의 문제점을 해결할 수 있는 효과적인 냉각 방법이 절실히 요구되는 실정이다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 모사 CPU(모듈) 표면 위에 압전 세라믹(piezoelectric ceramic, PZT) 팬을 설치하여 모듈을 냉각하는 시스템을 고려하고자 한다. PZT는 세라믹에 기계적인 압력이 가해졌을 때 전압을 발생하고, 전계가 가해졌을 때 기계적인 변형이 일어나는 소자이다. 이 소자에 전기에너지를 가하면 PZT 팬은 기계적 에너지 즉 진동을 유발시켜 모듈을 냉각시키게 된다. 기존의 PZT 팬을 이용한 연구를 살펴보면 Tsutsui 등⁽¹⁾은 진동판을 이용하여 Ma-Zenda 간섭계를 이용하여 유동장내의 비정상 2차원 온도 분포를 실험적으로 수행하였다. Takato 등⁽²⁾은 탄성진동 평판 주위에서 발생하는 유동을 해석하였다. 최근에는 Tsutsui 등⁽³⁾은 발열체 상에 설치된 진동바의 진동에 의해 발생한 와류가 열전달 촉진에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 김 용

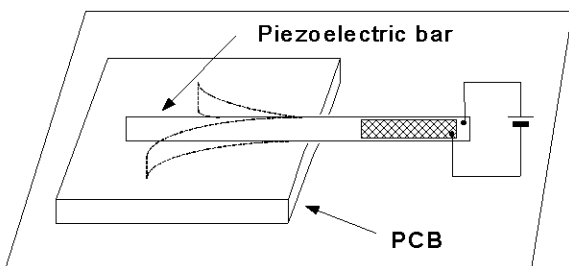


Fig. 1 Structure of heat dissipator using one piezoelectric fan

환 등⁽⁴⁾은 진동하는 외팔보 주위의 유동장을 가시화하여 속도분포를 얻었다. 상기의 연구자들은 채널내의 모듈 주위의 유동장 및 온도장을 가시화 또는 해석하는 것에만 연구하였다. 따라서 본 연구에서는 PZT 팬에 의한 모듈 주위의 유동을 가시화하고, 팬에 의한 모듈의 냉각 효과를 규명하고자 한다. 이에 대하여 본 연구에서는 PZT 팬에 공급하는 전압, 냉각방식을 변화시켜 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 전체적인 개략도를 나타낸다. 실험장치는 크게 시험부, 전력공급장치, 데이터 획득장치, 영상처리장치로 나뉘어진다. 시험부는 높이 80mm인 수직 평행평판 채널로 시험부의 유동가시화를 용이하게 하기 위해 투명 아크릴로 제작하였다.

전력공급 장치는 직류전원 공급 장치에 의해서 모듈에 전력을 공급하고, 디지털 멀티미터(FLUKE-8842A)를 이용하여 모듈에 공급되는 전력을 조절하도록 구성하였다. 데이터 획득 장치는 시험부 입구, 모듈표면, 평행평판 채널의 상부표면에 부착된 3개의 직경 0.2mm의 T형 열전대를 온도측정장치(Fluke 2286A)에 연결하여 실시간으로 온도를 획득하고, 데이터 처리 시스템을 이용하여 통계적으로 분석하도록 구성하였다. 영상처리 장치는 모듈 주위의 유동분포를 가시화하기 위하여 Nd-Yag laser와 CCD 카메라를 이용하였으며, CCD 카메라로 취득한 데이터는 영상처리 시스템을 이용하여 정리하였다.

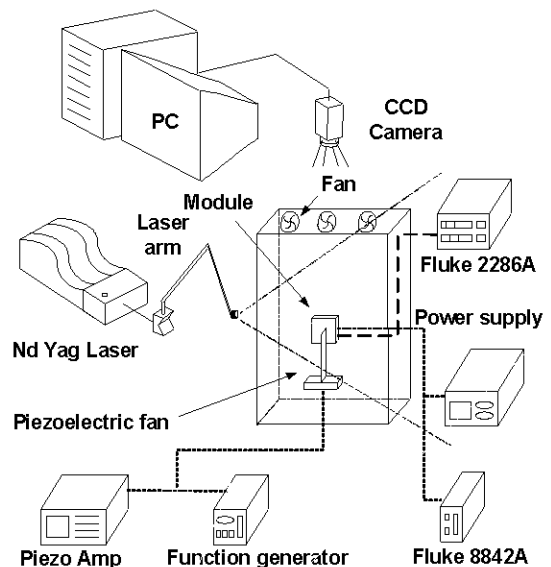


Fig. 2 Schematic of experimental setup

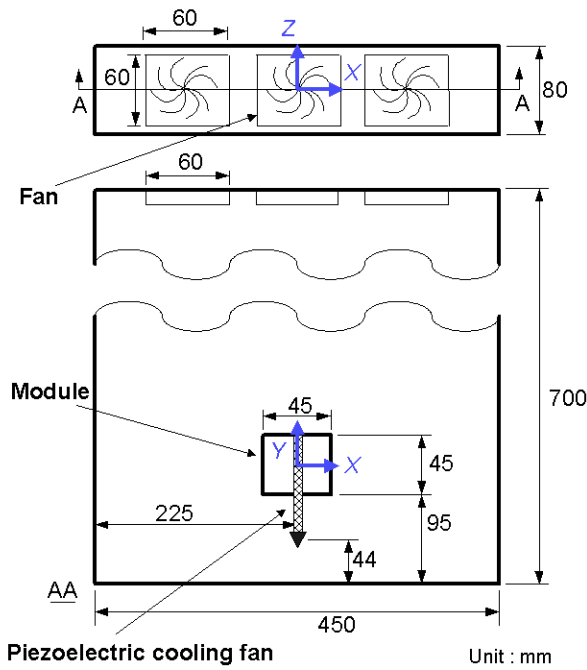


Fig. 3 Schematic of test section

Fig. 3은 본 실험에 사용된 시험부의 개략도를 나타낸 그림이다. 시험부는 가로 450mm, 세로 80mm, 높이 700mm인 수직평행평판 채널로서 투명한 아크릴로 제작하였다. 채널의 상부에는 3개의 원심형 팬(60×60mm²)을 설치하여 채널의 하부에서 공기가 유입되도록 하였다. 한변이 45mm인 모사모듈은 채널 하단으로부터 상부 방향으로 95mm인 위치에 모듈의 선단부가 오도록 부착하였다. 모듈의 표면으로부터 2mm⁽⁵⁾ 떨어진 위치에 PZT 팬을 설치하였다. PZT 팬은 모듈의 선단부에 별도로 고정 시스템을 제작하여 고정하였다.

Fig. 4는 실험에 사용한 모사모듈의 개략도이다. 모듈은 45×45×1.2mm³의 크기를 갖는 2개의 정방형 동판 사이에 저항값이 50.8Ω인 film heater(45×45×0.1mm³)를 삽입하여 만들었다. 모듈로의 입력전력은 4W이다.

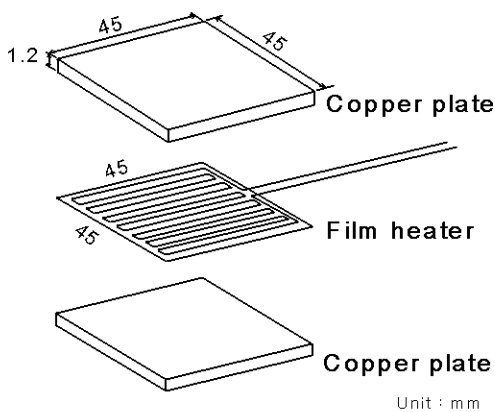


Fig. 4 Structure of simulated module

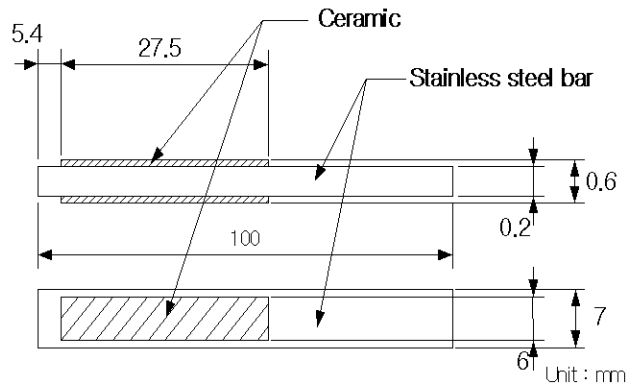


Fig. 5 Structure of piezoelectric cooling fan

Fig. 5는 PZT 팬의 구조를 나타내고 있다. PZT 팬은 길이 100mm, 두께 0.2mm, 폭 7mm의 치수를 가지는 직사각형 막대 형상으로 제작하였다. 팬에 있어서 shim의 재질은 스테인레스 강을 사용하였다. PZT 팬에 전류를 공급하여 진동시키기 위하여 팬의 고정단으로부터 길이 27.5mm, 두께 0.2mm, 폭 7mm의 압전 세라믹을 shim의 양측면에 부착하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 우선 PZT 팬의 공진 주파수를 측정하였다. PZT 팬에는 function generator에 의해 주어지는 주파수를 가진 전류를 증폭기 (piezo amp)을 이용하여 증가시켜 일정 범위의 전압을 PZT 팬에 공급한다. PZT 팬으로부터 수평방향 4cm 내에 위치시킨 gab-sensor(LC - 2400A)로 측정되는 변위를 개인용 컴퓨터를 이용하여 일차 공진 모드에서의 공진 주파수를 검출하였다. 그리고 나서 팬에 인가전압을 20V에서 100V까지 20V씩 증가시켜 가면서 진동하는 PZT 팬의 횡(X)방향의 변위를 측정하였다. 분석된 팬을 시험부 입구로부터 44mm 되는 곳에, PZT 팬과 모듈 사이의 거리는 2mm로 되는 곳에 각각 고정시켰다. Function generator에 의해 일정 주파수를 가진 전압을 증폭기인 piezo amp로 증폭시켜 PZT 팬에 공급하여, 4W로 공급되고 있는 모듈의 온도를 관찰하였다. 이와 동일한 방법으로 다양한 냉각 방식에 따른 모듈의 온도 변화를 실험하였다. 냉각 방식 즉 자연대류, 원심팬을 구동시킨 강제대류 그리고 PZT 팬에 의한 강제대류로 변화시켜 모듈의 온도 변화를 측정하였다. 모듈 주위의 유동가시화는 연발생장치를 이용하여 시험부에 연기를 주입하고, 그 후 Nd-Ya laser로부터 주사된 빛을 laser arm을 이용하여

시험부에 얇은 sheet의 빛을 조사시켜 모듈과 PZT 팬의 하단부 사이에 형성되는 유동을 채널 상부에 설치된 CCD 카메라로 획득하였다. 단열 벽온도 T_{ad} 를 측정하기 위해 벽면에 두께 0.2mm의 천을 부착하고 그 위에 액정막을 접착시켰다. 액정막(liquid crystal film)은 측정온도의 범위가 32.3~39.6°C이며, 고온측으로부터 감청색, 녹색, 적색, 갈색의 순으로 5종류의 색을 나타낸다. 특히 33.7°C(적색/녹색)와 37°C(녹색/청색)에서 변색 경계가 식별 용이하였다. 액정막의 지시온도의 검정은 액정보정장치에 열전대를 부착하여 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PZT 팬의 공진 주파수

Fig. 6은 PZT 팬의 인가전압에 따른 주파수와 변위량을 나타낸다. 여기서 V_P 는 팬에 공급되는 인가전압이고, f 는 주파수 그리고 d 는 팬의 선단부에서의 최대변위이다. 전계효과에 의해 작동하는 PZT 팬은 V_P 의 크기가 증가할수록 팬의 d 가 증가함을 알 수 있다. V_P 가 일정할 때 f 가 증가함에 따라 변위량도 점점 증가하다가 어느 특정 주파수에서는 최대 변위를 나타내었고, 특정 주파수이상에서는 변위량이 서서히 감소함을 알 수 있었다. 따라서 V_P 가 일정하면서 변위량이 최대가 되는 주파수가 공진주파수임을 알 수 있다. 본 연구에서 얻어진 공진 주파수는 23Hz이었다. 따라서 V_P 가 일정하면서 변위량이 최대 또한 인가전압을 변화시켜도 공진 주파수는 동일한 값으로 나타났다. 공진 주파수 영역에서

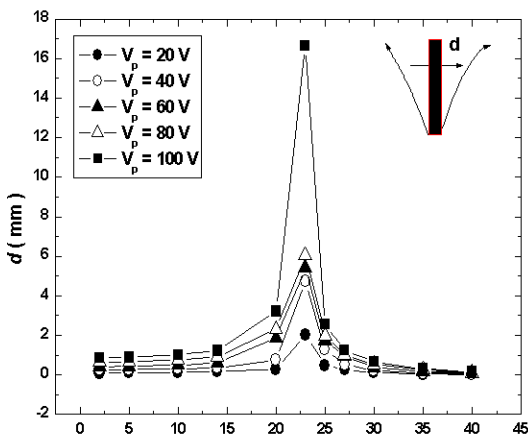


Fig. 6 Displacement versus frequency of a PZT fan

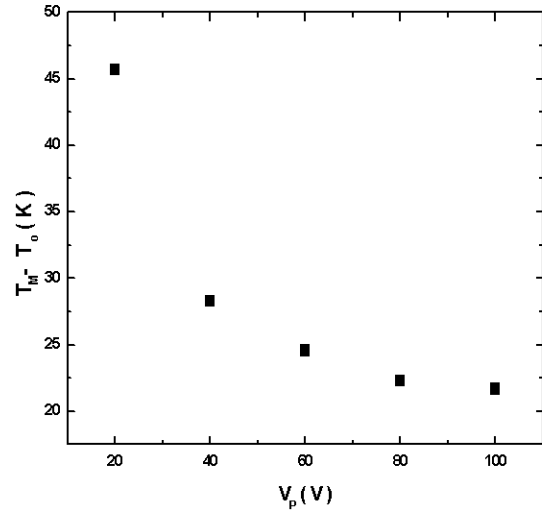


Fig. 7 Temperature difference according to input volt at $T_o=15^\circ\text{C}$

$V_P=20\text{V}$ 일 경우 최대 변위량은 약 2mm이고, 80V일 때는 약 6mm, 100V일 때는 약 16mm이었다. 즉 V_P 를 4배 증가시킬 경우 최대 변위량은 3배 증가하였고, V_P 가 5배 증가하는 경우 변위량은 8배 증가하였다. 이것은 PZT 팬의 변위가 급격히 증가하는 인가전압의 도약구간이 있음을 추측할 수 있다.

3.2 PZT 팬을 이용한 모듈의 냉각 효과

Fig. 7은 $f=23\text{Hz}$ 일 때, V_P 에 따른 모듈의 온도 변화를 나타낸다. 인가전압이 증가할수록 모듈온도는 급격하게 감소하나 $V_P=80\text{V}$ 이상에서는 모듈온도는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

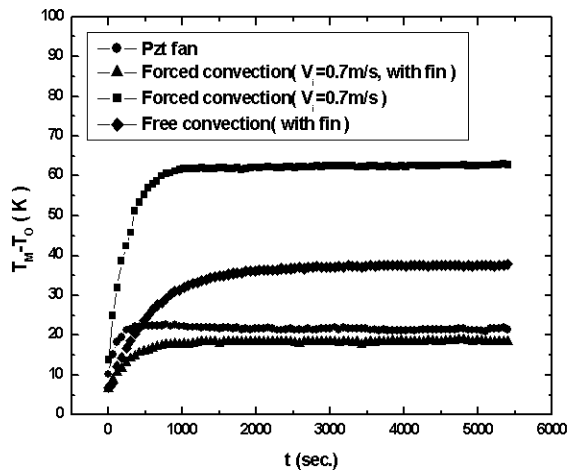


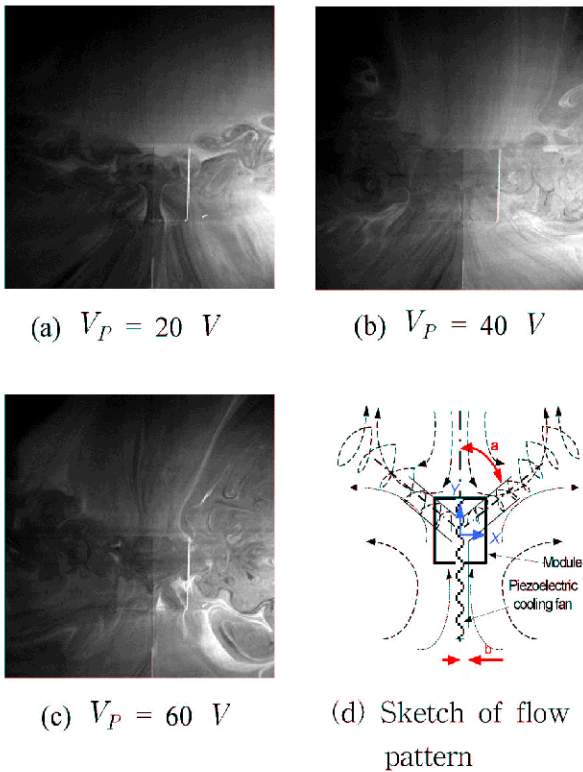
Fig. 8 Temperature difference according to cooling method at $T_o=15^\circ\text{C}$

Fig. 8은 $f=23\text{Hz}$, $V_P=100\text{V}$ 일 때의 냉각 방식에 따른 모듈의 온도 변화를 나타낸다. 강제대류 방식 중 환을 부착하지 않은 경우의 모듈온도가 가장 높게 나타났고, 모듈에 방열 환을 부착한 강제대류가 냉각 방식이 모듈온도가 가장 낮게 나타났다. PZT 팬에 의한 모듈의 냉각은 모듈에 방열 환을 부착하고 원심 팬을 가동시킨 강제대류 방식에 비해 모듈온도차가 3K 증가하였다. 이 결과는 PZT 팬을 이용한 냉각방식이 CPU에 부착된 방열 환을 제거시켜 시스템의 다운 사이징과 냉각에 매우 효과적인 방식임을 나타낸다.

3.3 유동가시화

Fig. 9는 공진주파수가 23Hz일 때 $V_P=20\text{V}$ (Fig. 9(a)), 40V (Fig. 9(b)), 60V (Fig. 9(c))로 변화함에 따른 모듈 주위의 유동가시화 그림이다. Fig. 9(a) ~ (c)의 유동가시화는 PZT 팬이 모듈 상단에서 좌에서 우로 움직일 때를 나타낸다.

모듈 주위의 유동가시화를 개략적으로 스케치한 그림을 Fig. 9(d)에 나타내었다. 좌표는 PZT 팬의 가동방향을 X로, 유체의 하향흐름 방향을 Y좌표로 나타내었다. 여기서 a는 모듈의 중심축과 vortex의 유동 방향과의 각을 나타내고, b는 PZT 팬의 후단에서 유동하는 유동 쪽을 나타낸다. Fig. 9(a)는 PZT 팬의 $V_P=20\text{V}$ 일 때의 유동



on the module according to input volt at 23Hz

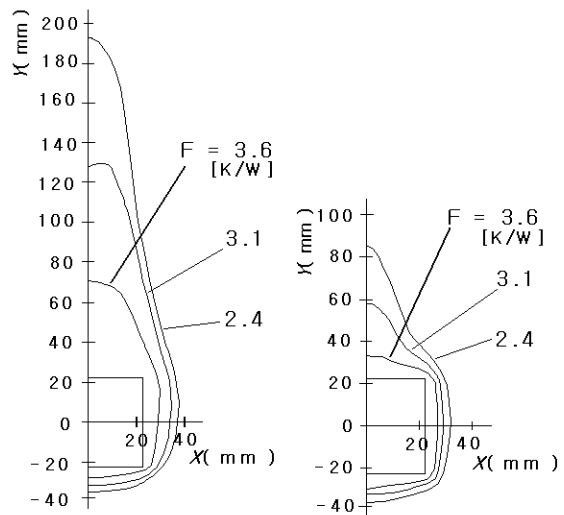
가시화 결과이다. 팬 후단부의 b영역에는 두께가 일정한 얇은 유동막으로 덮여 있고, 모듈을 중심으로 대칭적으로 Y형태의 유동이 형성됨을 관찰할 수 있었다. Y형태로 양 측면으로 분사되는 흐름은 vortex 유동이며, a가 매우 큼을 알 수 있었다. Fig. 9(b)는 PZT 팬의 $V_P=40\text{V}$ 일 때로써, Fig. 9(a)에 비하여 a가 작아졌고, b영역이 매우 얇아졌음을 알 수 있었다. Fig. 9(c)는 PZT 팬의 $V_P=60\text{V}$ 일 때로써, Y형태의 유동은 거의 보이지 않으며, 모듈의 후미에 작은 wake가 형성되어짐을 알 수 있었다. V_P 가 증가수록 b영역이 사라짐을 관찰할 수 있었다.

3.4 열와류 계수 F

단열벽온도(T_{ad})를 측정하여 다음과 같은 식으로 열와류 인자(F)를 구하였다.

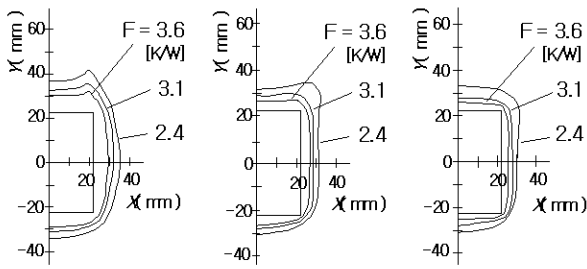
$$F = \frac{T_{ad} - T_o}{Q_A} \quad (1)$$

여기서 Q_A 는 모듈표면의 대류열전달량(W), T_{ad} 는 단열벽온도, T_o 는 채널입구의 공기온도이다. Fig. 10(a)는 자연대류 조건에서, Fig 10(b)는 강제대류로 팬을 3개 가동 시킨 경우($V_i=0.7\text{m/s}$)이다. Fig. 11(a) ~ (c)까지는 PZT 팬을 이용한 경우로 팬의 인가 전압(V_p)을 20V, 40V 그리고 60V일 때의 식(1)을 이용하여 구한 F값의 선도를 나타낸다. 단열벽 온도가 좌우 대칭인 분포를 형성하며, 높은 영역이 모듈 주변에 분포한다. 이것은 모듈 주위의 고온공기의 순환에 의해 엔탈



(a) Free convection (b) Forced convection at $V_i=0.7\text{m/s}$

Fig. 10 Thermal wake function F on the floor



(a) $V_p = 20 V$ (b) $V_p = 40 V$ (c) $V_p = 60 V$

Fig. 11 Thermal wake function F on the floor using piezoelectric fan

피 수송이 일어나지 않아 기판 표면상의 열저항이 크기 때문이다. 유체의 하향 흐름 방향에서 유체의 부력에 의한 자연대류 열전달에서의 F 값의 분포가 강제대류 조건(Fig. 10(b)과 Fig. 11(a) ~ (c)에 비해 상대적으로 넓게 분포함을 알 수 있다. PZT 팬의 인가 전압의 변화에 따라 Fig. 9에서 나타난 바와 같이 Y형의 기류를 따라 $V_p=20V$ 일 때(Fig. 11(a))는 모듈의 좌우 상단 모서리에 작은 돌출부가 형성되며, $V_p=40V$ 일 때(Fig. 11(b))는 Y형 기류의 a값이 커져 모듈의 좌우 상단의 모서리 좌우편으로 돌출부가 치우쳐져 나타난다. 이와 같은 열와류의 분포는 기류의 형태가 Y형태의 기류임을 더욱 잘 나타내준다. $V_p=60V$ 일 때(Fig. 11(c))는 a값이 더욱 더 커져 돌출부의 형성은 보여지지 않는다. $F=3.1$ 을 기준으로 할 때, 이 면적은 $V_p=20V$ 에 비해 $60V$ 의 경우가 45% 감소 되었다. 이는 인가 전압이 증가함에 따라 PZT 팬에 의해서 발생한 vortex는 모듈로 부터의 열전달을 촉진시킴을 의미한다.

4.결론

PZT 팬을 이용하여 모듈 주위의 유동가시화 및 열전달 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인가 전압에 따른 PZT 팬의 공진 주파수와

최대 변위량을 도출하였다. 공진 주파수는 23Hz 이었다.

- (2) 모듈 냉각 방식으로 PZT 팬을 이용한 냉각 방식이 강제 공랭 방식에 비해 CPU에 부착된 방열 환을 제거시켜 시스템의 다운 사이징과 냉각에 매우 효과적임을 알았다.
- (3) 모듈 표면에 Y형태의 흐름내에 횡방향으로 vortex가 형성되며, 인가전압이 증가 할수록 커지며, PZT팬의 후단부 위치에는 vortex가 대칭적으로 형성됨을 관찰 하였다.
- (4) 열와류인자(F)를 이용하여 모듈표면에 생긴 횡방향으로의 vortex는 모듈로 부터의 열전달을 증가시킴을 알았다.

참고문헌

- (1) T. Tsutsui, M. Akiyama, H. Sugiyama and K. Takato, 1991, Experimental Analysis of 2D-Unsteady Temperature Field by Using Mach-Zehnder Interferogram Image, JSME, Vol. 62, No. 95, pp.297-303.
- (2) K. Takato, T. Tsutui, M. Akiyama, and H. Sugiyama,1998), Numerical Analysis of flow around a Vibrating Elastic Plate, JSME, Vol. 64, No. 97, pp.194-202.
- (3) M. Akiyama, H. Sugiyama, 1998, Heat Transfer Enhancement around a Rectangular Cylinder set in Near wake Generated by a cantilever vibrator, IHTC, Vol. 5, pp.321-326.
- (4) Y. H. Kim, Steve Werely, and C. H. Chun, 2002, FlowField Measurement around a Vibrating cantilever Plate, KSME, Joint Symposium
- (5) S. H. Park, S.D.Choi, and G. J. Park, 2002, Cooling Effect of a module by means of a Vibrating Elastic Bar, Annual report of the institute of industrial technology, Vol. 18