

압전세라믹 냉각팬에 의한 강제 공랭 모듈 주위의 열전달특성

박상희* · 박규진* · 최성대**
(2004년 1월 2일 접수, 2004년 5월 10일 심사완료)

Heat Transfer Characteristics Around a Surface-Mounted Module Cooled by Piezoelectric Fan

Sang Hee Park, Gyu Jin Park and Seong Dae Choi

Key Words: Piezoelectric Cooling Fan(압전 냉각팬), Module(모듈), PIV(입자영상유속계), Flow Visualization(유동 가시화), Adiabatic Wall Temperature(단열벽온도)

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. The fluids are locally accelerated by a flexible PZT fan which deflects inside a fluid transport system of comparatively simple structure mounted on a PCB in a parallel-plate channel(450×80×700mm³). 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 fluid flow around the module was visualized by using PIV system. The temperature distributions around a heated module were visualized by using liquid crystal film(LCF). The cooling effect using a PZT fan was independent of the vent area ratios at the channel inlet and was similar to the forced convection cooling. We found that the flow type was Y-shape and the cooling effect was increased by the wake generated by a piezoelectric cooling fan.

1. 서론

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

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 상황이 부닥치게 되므로 소형화를 요구하는 휴대용 전

† 책임저자, 회원, 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : parksh@kumoh.ac.kr

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

* 금오공과대학교 대학원 기계공학부

** 회원, 금오공과대학교 기계공학부

자기기에는 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) 이 부착된 진동판을 설치하여 모듈을 냉각하는 시스템을 고려하고자 한다. 이 진동판을 PZT 팬이라 칭한다. PZT 특성은 세라믹에 기계적인 압력이 가해졌을 때 전압을 발생하고, 전계가 가해졌을 때 기계적인 변형이 일어나는 소자이다. 이 소자에 전기에너지를 가하면 PZT 팬은 기계적 에너지 즉 진동에 의한 유체유동을 유발시켜 모듈을 냉각하게 된다.

PZT 팬을 이용한 선행연구자들의 연구를 살펴보면 다음과 같다. Watanabe 등⁽¹⁾은 LDV를 이용하여 진동바 주위의 3차원 유동장을 연구하였다. Tsutsui 등⁽²⁾은 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 진동판 주위의 비정상 2차원 온도분포를 가시화하였다. Ihara 등⁽³⁾은 1개 또는 2개의 진동바가 외팔보 형태로 고정되었을 때 진동바의 자유단 주위의 유동장을 실험 및 수치해석으로 연구하였다. Takato 등⁽⁴⁾은 탄성진동 평판 주위에서 발생하는 유체유동을 수치해석으로 연구하였다. 최근 Akiyama 등⁽⁵⁾은 LDV와 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 발열체 위에 설치된 진동바의 에 의해 발생한 유체유동이 발열체의 열전달 촉진에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 김 용환 등⁽⁶⁾은 진동판의 폭에 따른 진동판 주위의 유동장을 진동판의 변위각에 따라 가시화하였다. Burmann 등⁽⁷⁾은 유한요소 모델을 이용하여 압전팬의 두께와 길이에 대한 최적화를 해석적으로 연구하였다. 상기의 연구자들은 시험부 내에 설치된 진동바 주위의 유체유동 및 온도분포를 가시화하는 것에만 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 PZT 팬에 의한 모듈 주

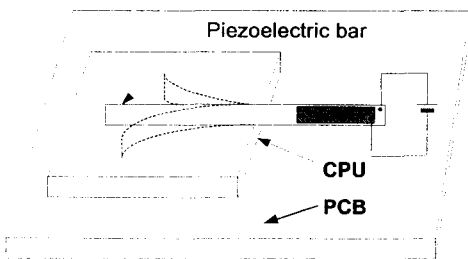


Fig. 1 Structure of heat dissipator using a piezoelectric bar

위의 유체유동의 가시화 및 각종 냉각 방식에 따른 모듈의 열전달 특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 PZT 팬에 공급되는 전압, 모듈의 냉각방식, 채널 입구의 통기율을 변화시켜 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다. 시험부는 높이 80mm인 수직 평행 평판 채널로 시험부의 유동가시화를 용이하게 하기 위해 투명 아크릴로 제작하였다. 시험부 내의 유체 유동의 가시화는 PIV(particle imaging velocimetry) 시스템을 이용하였다. PIV 시스템은 120mJ/pulse의 이중 펄스 방식의 Nd:Yag 레이저 시스템과 1K×1K의 고해상도 CCD카메라, 동기화 장치(synchronizer), 화상처리장치로 구성되어 있다. CCD카메라의 촬영속도는 15Hz이다. 레이저 광원으로부터 조사된 레이저 빔은 레이저 암을 통과하면서 평면 빔으로 만들어져 모듈 표면으로부터 1.5mm 떨어진 위치에서 시험부로 조사된다. 가시화에 사용된 유동 입자는 파라핀오일 에어로졸이다. 이 에어로졸은 연기발생장비에서 기화되며, 생성된 파라핀 연기를 채널 내에 주입시킨 후, 모듈표면의 상부에 설치한 PZT 팬을 가동시켜 공기유동을 가시화하였다.

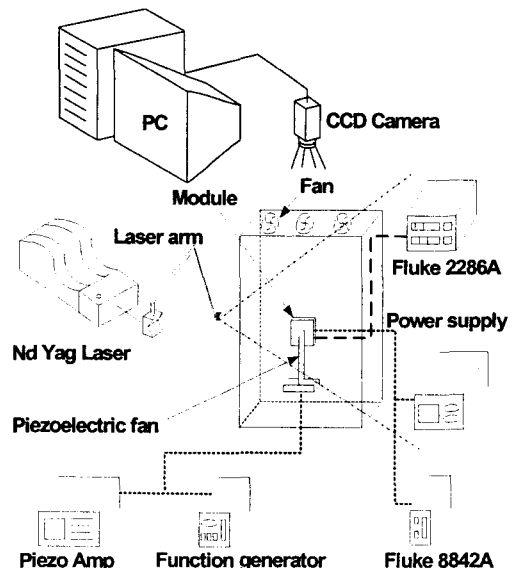


Fig. 2 Schematic of experimental setup

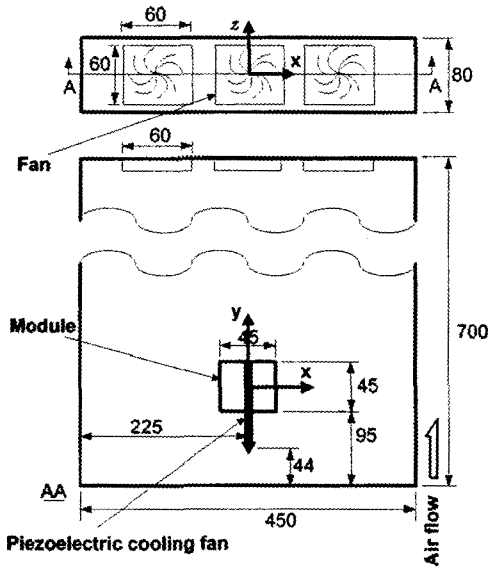


Fig. 3 Schematic of test section

시험부에 설치된 모듈로의 전력 공급은 직류전원 공급장치에 의해서 전력을 공급하고, 디지털 멀티미터(Fluke-8842A)를 이용하여 모듈에 공급되는 전력을 조절하도록 하였다. 시험부 입구의 공기온도, 모듈의 표면온도 그리고 채널의 상부 표면 온도는 직경 0.2mm의 T형 열전대를 온도 측정 장치(Fluke 2286A)에 연결하여 측정하였다.

PZT 팬은 주파수 발생기에 의해 주어지는 주파수를 가진 전류를 증폭기(piezo amp)을 이용하여 증가시켜 일정 범위의 전압을 PZT 팬에 공급하여 가동시켰다. 팬의 인가전압은 20V에서 100V까지로 20V씩 증가시켰다.

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 카메라를 이용하여 촬영하였으며, 촬영된 결과는 영상처리장치를 이용하여 데이터를 정리하였다.

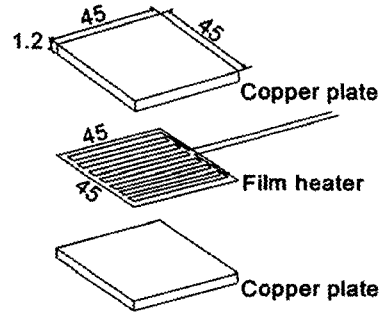


Fig. 4 Structure of simulated module

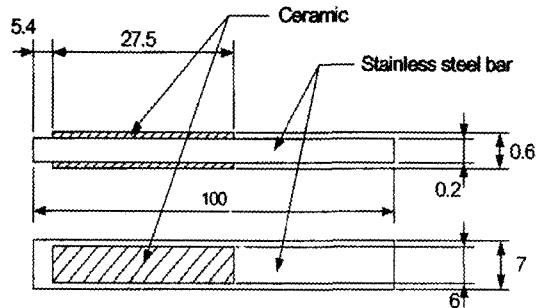


Fig. 5 Structure of piezoelectric bar

Fig. 3은 본 실험에 사용된 시험부의 개략도를 나타낸 그림이다. 시험부는 가로 450mm, 세로 80mm, 높이 700mm인 수직평행평판 채널로서 투명한 아크릴로 제작하였다. 강제대류에 의한 모듈의 냉각 효과를 검토하기 위하여 수직 채널의 상단부에는 3개의 원심형 팬(60×60mm²)을 설치하여 채널의 하단부에서 공기가 유입되도록 하였다. 한 변이 45mm인 정방형 모사모듈은 채널 하단부로부터 상부 방향으로 95mm인 위치에 모듈의 선단부가 오도록 부착하였다. 모듈의 표면으로부터 3mm 떨어진 위치에 PZT 팬을 설치하였다. PZT 팬은 모듈의 선단부에 별도로 고정 시스템을 제작하여 고정하였다. 본 실험에서 채널 입구의 통기율은 10, 20, 30, 40, 100%로 변화시켰다. 통기율(=채널 입구에서 부분적으로 개방된 통기면적(A)/ 채널 입구가 완전 개방되었을 때의 통기면적(A_0)) 100%는 채널 입구가 완전 개방된 상태를 나타낸다. 통기면적의 조절은 다음과 같이 행하였다. 먼저 채널 상단에 설치된 팬에 의하여 유출되는 공기속도를 유속계로 측정하였다. 그 다음에 출구의 공기속도와 출구면적을 곱하여

유출유량을 구하였다. 출구에서의 유량값을 이용하여 채널입구에서 연속방정식을 만족하도록 통기면적에 따른 공기속도를 구하면서 원하는 통기율에 부합되도록 통기면적을 조절하였다. 통기면적은 길이 450mm, 폭 80mm, 두께 1mm의 스틸로폼에 직경 1mm의 구멍을 뚫어 조절하였다.

Fig. 4는 본 실험에 사용한 모사모듈의 개략도이다. 모듈은 $45 \times 45 \times 1.2 \text{mm}^3$ 의 크기를 갖는 2개의 정방형 동판 사이에 저항값이 50.8Ω 인 필름히터(film heater, $45 \times 45 \times 0.1 \text{mm}^3$)를 삽입하여 만들었다. 모듈로의 입력전력은 4W이다.

Fig. 5는 PZT 팬의 구조를 나타내고 있다. PZT 팬은 길이 100mm, 폭 7mm, 두께 0.2mm의 치수를 가지는 직사각형 평판으로 스테인레스강을 사용하여 제작하였다. PZT 팬에 전류를 공급시키기 위한 전극은 팬의 고정단(Fig. 5에서 왼쪽부분)으로부터 5.4mm 떨어진 위치에 길이 27.5mm, 폭 7mm, 두께 0.2mm의 압전 세라믹을 평판의 양 측면에 부착하여 형성시켰다.

본 연구에서는 먼저 PZT 팬의 인가전압에 따른 공진 주파수를 측정하였다. PZT 팬의 공진주파수는 gap-sensor(LC-2400A)를 이용하여 측정하였으며, 이 센서에 의해 측정된 최대 변위량을 데이터처리 시스템을 이용하여 검출하였다. 공진 주파수를 검출한 후, 팬의 인가전압, 모듈 표면과 팬 사이의 간격 그리고 냉각 방식에 따른 모듈의 온도변화를 측정하였다. 모듈의 냉각은 모듈에 환을 부착한 자연대류방식, 모듈에 환을 부착하지 않는 경우와 부착한 경우에서 채널의 상단부에 3개의 원심팬만을 구동시킨 강제대류방식(Fig. 3) 그리고 모듈에 환을 부착하지 않고 PZT 팬만에 의한 방식을 이용하였다. 모듈에 부착시키는 환은 실제 CPU에 부착하는 상용화된 제품을 사용하였다. 그리고 원심팬을 이용한 강제대류에서 채널의 입구의 유속은 $V_i = 0.7 \text{m/s}$ 이다.

본 실험에서 수행한 측정의 불확실성은 Kline과 McClintock⁽⁸⁾의 방법으로 평가하여 다음과 같이 추정하였다. PZT 팬의 변위량은 0.01mm, 채널입구의 공기온도, 모듈온도 그리고 채널 벽면온도 $\pm 0.3\text{K}$, 액정막의 변색 경계의 공간분해능 약 1mm, 모듈로의 입력전력은 0.32%, 복사에 의한 열손실량은 0.43%로 평가되었다.

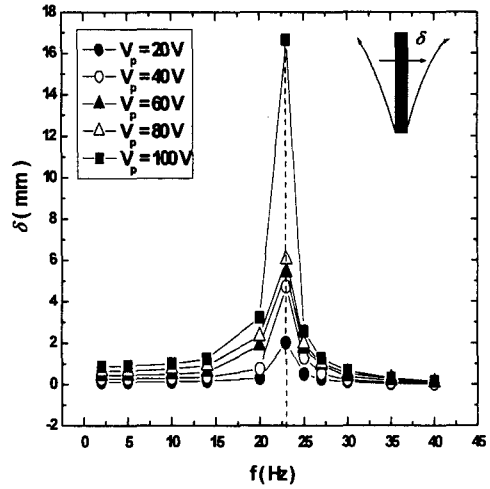


Fig. 6 Displacement versus frequency of a PZT fan

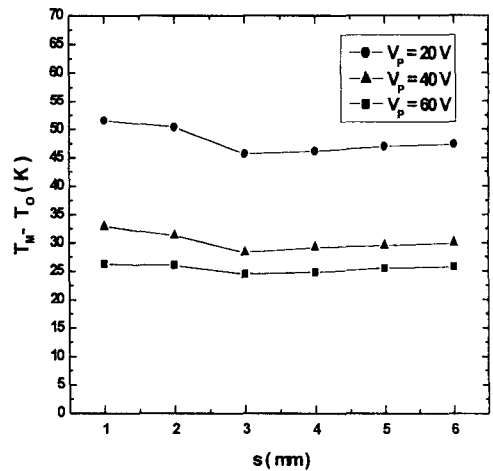


Fig. 7 Variation of module temperature with respect to interval s between module and PZT fan at $f_r = 23 \text{Hz}$, $T_o = 15^\circ\text{C}$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PZT 팬의 공진 주파수

Fig. 6은 PZT 팬에 공급되는 인가전압(V_p)과 주파수(f)에 따른 팬의 변위량(δ)을 나타낸다. 여기서 변위량 δ 는 팬의 고정단으로부터 40mm 떨

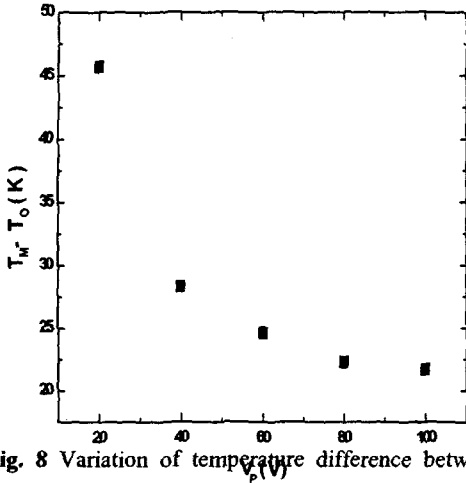


Fig. 8 Variation of temperature difference between module and air with respect to input volt at $f_r=23\text{Hz}$, $T_o=15^\circ\text{C}$

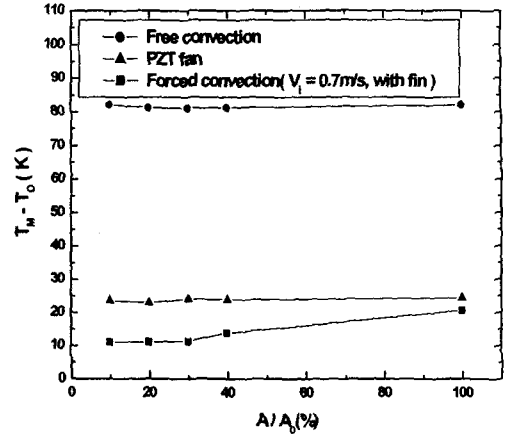


Fig. 9 Variation of module temperature with respect to vent area ratio and cooling method at $T_o=15^\circ\text{C}$

어진 위치에서 측정된 값이다. 그림에서 V_p 가 일정할 때 f 가 증가함에 따라 변위량 δ 도 점점 증가하다가 $f=23\text{Hz}$ 에서는 최대 변위 δ_{max} 를 나타내었고, $f > 23\text{Hz}$ 에서는 δ 가 급속히 감소함을 보였다. 여기서 PZT 팬의 진동바의 변위량이 최대가 되는 주파수가 공진주파수(23Hz, 파선영역)임을 알 수 있었다. 이 값은 인가전압을 변화시켜도 동일하게 나타났다. 공진주파수 $f=23\text{Hz}$ 에서 $V_p=20\text{V}$ 일 때 δ_{max} 는 약 2mm이고, 80V에서는 약 6mm, 100V에서는 약 16mm이었다. 즉 V_p 를 4배 증가시킬 때 δ_{max} 는 3배 증가하였고, V_p 가 5배 증가할 경우 δ_{max} 는 8배 증가하였다. 이것은 PZT 팬의 변위량을 급격하게 증가시키는 인가전압의 도약구간이 있음을 추측할 수 있다.

3.2 PZT 팬에 의한 모듈의 냉각효과

Fig. 7은 모듈 표면 위에 PZT 팬이 설치되었을 때 모듈 표면과 PZT 팬 사이의 간격(s)에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸다. 주파수는 $f=23\text{Hz}$ 이다. T_M 은 모듈온도, T_o 는 입구온도이다. 모듈과 PZT 팬 사이의 거리 s 에 따른 모듈의 온도는 $s < 3\text{mm}$ 에서는 감소하다가 $s=3\text{mm}$ 에서 최소값을 보였으며, $s > 3\text{mm}$ 에서는 모듈온도가 다시 증가하였다. 즉 모듈 표면 위에 PZT

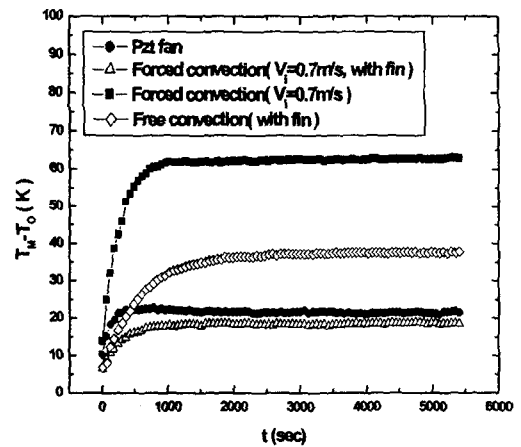


Fig. 10 Variation of module temperature with respect to cooling method at $T_o=15^\circ\text{C}$

팬을 설치할 때 $s=3\text{mm}$ 위치에서 모듈의 냉각이 가장 효과적임을 보여준다. 이것은 $s < 3\text{mm}$ 에서는 진동바의 관성력에 비해 모듈 표면과 진동바 사이에 발생하는 점성력의 증가로 인해 모듈의 냉각 효과가 감소하는 것으로 추측된다. 이러한 결과는 간격 3mm 이하에서 진동바에 인가전압 V_p 가 증가할수록 관성력이 증가하여 온도차는 크게 감소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 모듈 표면과 팬 사이의 간격 $s=3\text{mm}$, $f=23\text{Hz}$ 일 때, V_p 에 따른 모듈온도의 변화를 나

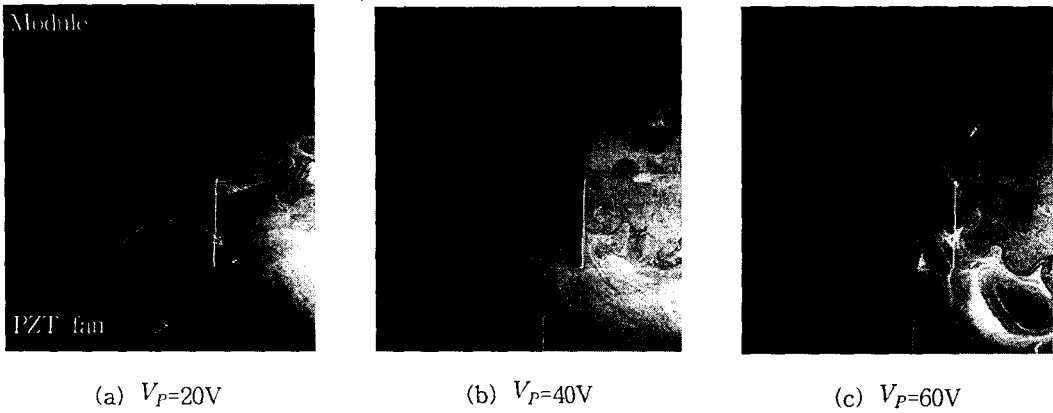


Fig. 11 Visualization of flow streaks around a module according to input volt at $f_f=23\text{Hz}$, $s=3\text{mm}$

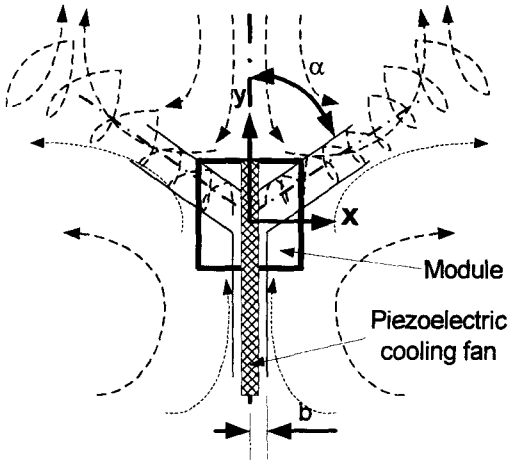


Fig. 12 Sketch of flow pattern around a module

타낸다. 그림에서 V_p 가 증가할수록 모듈온도는 지수적으로 급격하게 감소하고 있다. 즉 V_p 를 20V에서 40V로 2배 증가시킬 때 모듈온도차는 약 18K 정도로 가장 큰 온도강하가 보였고, 40V에서 60V로 증가시킬 때는 약 4K 정도 강하하였다. 그러나 $V_p > 60\text{V}$ 에서는 모듈온도차는 2K이하로 거의 일정함을 나타내고 있다. 따라서 모듈의 냉각 효과를 증대시킬 수 있는 가장 효율적인 인가전압은 60V임을 알 수 있었다.

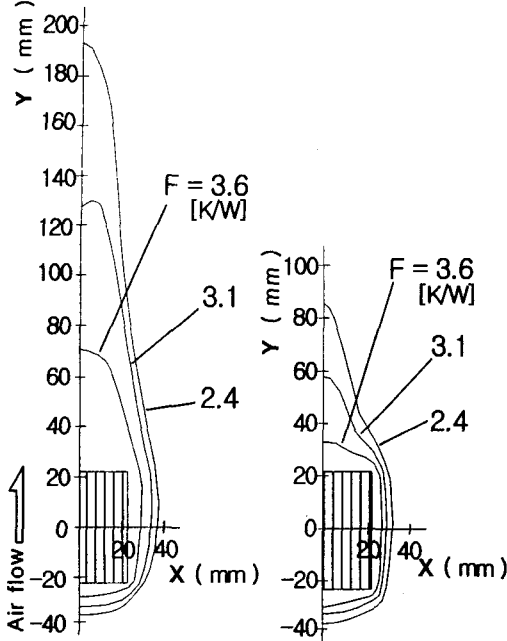
Fig. 9는 냉각 방식과 시험부 입구의 통기율에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸다. 강제대류 냉각방식에서 통기율이 증가할수록 모듈의 온도는 높게 나타났다. 이것은 채널 상단부에서 유량이

일정할 때 하단부의 통기면적을 증가시킬수록 유속은 감소하기 때문이다. 그러나 PZT 팬에 의한 냉각 방식($V_p=60\text{V}$)에서는 통기면적에 거의 독립적임을 나타내고 있다. 따라서 PZT 팬에 의한 냉각방식은 밀폐 공간에 있어서 CPU의 냉각에 매우 유용함을 알 수 있다.

Fig. 10은 냉각 방식에 따른 모듈의 온도 변화를 나타낸다. 그림에서 PZT 팬을 이용한 냉각방식에서 모듈온도는 자연대류 방식에 비해 약 40K 정도 그리고 환을 부착하지 않은 강제대류에 비해서는 약 15K 정도 더 낮게 나타났으나, 환부착 강제대류 방식에 비해서는 약 2K 정도 높게 나타났다. 따라서 PZT 팬을 이용하여 CPU를 냉각할 시에는 기존의 CPU에 부착된 방열 환을 제거시킴으로써 전자기기 시스템의 소형화에 매우 효과적인 방식임을 나타내고 있다.

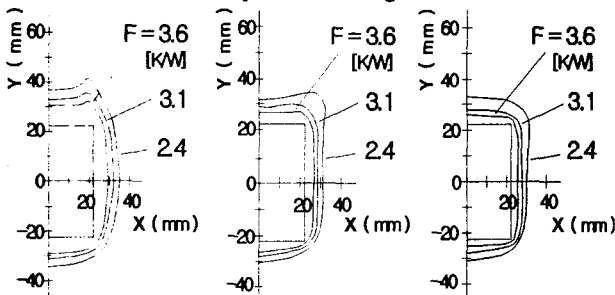
3.3 유동가시화

Fig. 11(a)~(c)는 공진주파수가 23Hz일 때 인가전압에 따른 모듈 주위의 유동가시화의 결과이다. 팬의 인가전압은 $V_p=20\text{V}$, 40V, 60V이다. 유동가시화의 결과는 PZT 팬이 모듈 표면으로부터 3mm 떨어진 위치에서 팬이 좌에서 우로 움직일 때의 유동형태를 나타낸다. 그리고 모듈 주위의 유동가시화를 개략적으로 스케치한 그림을 Fig. 12에 나타내었다. 그림에서 기준좌표는 모듈 중심에서 PZT 팬의 가동방향을 x축으로, 팬의 가동방향에 대한 수직축을 y축으로 나타내었다. α 는 모듈의 중심축(y축)과 vortex의 유동 방향과 이



(a) Natural convection (b) Forced convection

Fig. 13 Thermal wake function F on the floor with respect to cooling method



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

Fig. 14 Thermal wake function F on the floor using piezoelectric cooling fan

루는 각이고, b는 PZT 팬의 고정단으로부터 팬의 양 측면에서 진동하는 유동층의 폭을 나타낸다.

Fig. 11(a) ($V_P=20V$) 경우에서 모듈 표면 위의 유동패턴은 팬의 진동에 의해 vortex 유동이 발생하며, 이 유동은 y축을 기준으로 $\pm x$ 축 방향으로 Y자 형태를 이루면서 대칭적으로 강력하게 분사되는 유동이 발생함을 관찰할 수 있었다. 그리고 Y자 방향으로 유출된 vortex 유동은 하류 방향(채널 상단부)으로 이동하면서 중력의 영향에 의해 다시 모듈 쪽으로 재귀환되면서 모듈 후

단부의 모퉁이 영역에서 Y자 유동과 재결합되었다. 그리고 Y자 형태로 유출된 일부분의 유동은 채널의 벽면에 충돌하여 다시 팬 고정단 부근으로 유입되어 Fig. 12와 같이 일정한 얇은 유동층 b를 형성하면서 재순환하는 것을 관찰할 수 있었다. 인가전압이 40V[Fig. 11(b)]일 때는 Y자 형태의 분사유동은 더욱 더 강력해지며, y축과 분사 유동과 이루는 각 α 는 작아졌고, 팬 측면의 유동층의 폭 b도 더욱더 얇아짐을 관찰할 수 있었다. 그러나 $V_P=60V$ [Fig. 11(c)]일 때는 Y형태의 유동과 팬 측면의 유동층은 거의 보이지 않으며, 모듈의 후미에 작은 와류가 형성되어짐을 알 수 있었다.

3.4 열와류 계수 F

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

$$F = \frac{T_{ad} - T_o}{Q_A} \tag{1}$$

F는 모듈 주위의 기판 표면상의 열저항[K/W]을 나타내며, 모듈에 의해서 발생한 열와류가 기판 표면의 매우 가까운 곳에서 운반하는 엔탈피 수송을 열저항의 형태로 표현한 것이다. 여기서 Q_A 는 모듈 표면상의 대류열전달량(W)이고 $Q_A = Q_P - Q_L$ 로 계산하였다. Q_P 는 모듈로의 전력공급량, Q_L 은 모듈표면과 주위와의 복사열손실량이며, T_o 는 채널입구의 공기온도이다. 여기서 Q_P 는 모듈에 공급되는 전류(I)와 히터의 열저항(R)을 측정하여 $Q_P = I^2 R$ 로 계산하였다.

Fig. 13(a), (b)는 모듈 표면에 방열 환이 부착된 경우에 자연대류와 강제대류($V_i=0.7m/s$) 냉각 조건일 때 식 (1)을 이용하여 구한 F값의 선도를 나타낸다. Fig. 13(a)와 (b)에서 $F \geq 3.6K/W$ 의 영역은 단열벽온도가 높은 영역($T_{ad} \geq 37^\circ C$)이고, $F < 3.6K/W$ 의 영역은 상대적으로 단열벽온도가 낮은 영역을 나타낸다. F값의 분포는 모듈을 중심으로 유동 방향으로 대칭적인 형태를 나타내었다. 특히 $F \geq 3.6K/W$ 의 영역은 모듈로부터 발생한 고온공기가 기판 표면을 덮어서 엔탈피 수송이 잘 일어나지 않기 때문에 기판 표면상의 열저항이 증가하게 된다. 이 영역에 있어서 모듈로

부터 발생한 열와류가 미치는 면적은 공기의 부력에 의한 자연대류 방식[Fig. 13(a)]에 비해 강제대류[Fig. 13(b)]의 경우에는 채널 내의 가속유동과 모듈 주위의 말굽형 와류의 영향에 의해 모듈이 열전달 촉진되어 면적이 약 36% 정도 감소되었다.

Fig. 14(a)~(c)는 PZT 팬의 인가전압에 따른 모듈 주위의 F선도의 분포를 나타낸다. F선도의 분포는 모듈 주위에서 좌우 대칭인 분포를 형성하며, $F \geq 3.6K/W$ 인 영역은 모듈 주위에 매우 근접하여 분포됨을 보였다. 이러한 F분포의 양상은 Fig. 13(a)와 (b)의 분포와는 완전히 다른 양상을 나타내었다. PZT 팬의 인가전압의 변화에 따라 Fig. 11에서 보인 바와 같이 Y형의 vortex 유동을 따라 $V_p=20V$ [Fig. 13(a)]일 때는 모듈의 좌우 상단 모서리에 작은 돌출부가 형성되며, $40V$ [Fig. 13(b)]일 때는 Y형 유동의 α 값이 커져 모듈의 좌우 상단의 모서리 좌우편으로 돌출부가 기울어져 나타남을 보였다. 인가전압 $60V$ 일 때[Fig. 13(c)]는 α 값이 더욱더 커져 돌출부의 형상은 나타나지 않았다. $F \geq 3.6K/W$ 의 영역의 면적은 $V_p=20V$ 에 비해 $60V$ 의 경우가 45% 감소되었다. 이것은 인가전압이 증가함에 따라 PZT 팬에 의해서 발생한 Y자 형태의 vortex 유동이 모듈의 냉각에 큰 영향을 미치는 것을 의미한다. 또한 $V_p=60V$ 의 $F \geq 3.6K/W$ 의 영역의 면적은 강제대류 방식[Fig. 13(b)]에 비해 약 35% 정도 감소하였다. 모듈 주위의 F값의 분포 형태는 Fig. 11의 유동가시화의 경향과 잘 일치함을 보였다.

4. 결론

PZT 팬을 이용한 모듈 주위의 유체유동 및 온도분포 그리고 모듈의 열전달 특성을 규명하기 위하여 PZT 팬에 공급하는 인가전압, 모듈과 팬 사이의 간격, 냉각방식을 변화시켜 가면서 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) PZT 팬에 인가전압을 변화시켜 각 전압에 따른 최대 변위량을 검출하였다. 최대 변위량은 인가전압에 관계없이 동일한 주파수에서 발생하였으며, 이 주파수는 팬의 공진주파수로 23Hz이었다.
- (2) 공진주파수 23Hz에서 모듈 표면과 PZT 팬 사이의 최적간격이 3mm일 때 모듈의 열전달 특

성이 가장 효과적임을 알았다. 또한 최적간격 3mm에서 모듈의 온도는 팬의 인가전압의 증가에 따라 지수적으로 감소하여 인가전압이 60V 이상에서의 모듈온도는 2°C 이하로 거의 일정함을 보였다. 따라서 모듈의 냉각 효과를 증대시키는 가장 효율적인 인가전압은 60V임을 알았다.

(3) 모듈에 환이 부착되고 채널 입구의 유속이 0.7m/s인 강제대류 냉각방식은 채널 입구의 통기율에 크게 의존하였으나, PZT 팬을 이용한 모듈 냉각은 시험부 입구의 통기율에 거의 무관함을 알았다. 또한 냉각 방식에 따른 모듈의 온도강하를 비교해 볼 때 PZT 팬을 이용한 냉각방식이 강제대류 방식에 비해 전자기기에 실장된 CPU에 부착된 방열 환과 팬을 제거하기 때문에 시스템의 소형화에 매우 효과적임을 알았다.

(4) PZT 팬에 의한 모듈표면 위의 유동패턴은 팬의 양 측면으로 Y자 형태의 vortex 유동이 발생함을 관찰하였다. Y자 유동은 인가전압이 증가할수록 점점 커졌으며, 인가전압이 60V 이상에서는 Y자 유동이 나타나지 않음을 알 수 있었다.

(5) 모듈의 방열이 단열벽온도에 미치는 영향을 열와류인자 F로 표시하여 채널 내 모듈 주위의 F분포를 구하였다. PZT 팬에 의한 모듈 주위의 F분포의 양상은 유동가시화의 경향과 잘 일치함을 보였다. 모듈 주위의 F분포가 $F \geq 3.6K/W$ 인 고온 영역의 면적은 인가전압이 증가할수록 감소하였고, 강제대류 방식에 비해 인가전압이 60V인 경우가 약 35% 정도 감소하였다.

후 기

본 연구는 2003년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Watanabe, H., Ihara, A. and Hayashizaki, S., 1990, "Measurement of the Three-Dimensional Flow Field Around an Oscillating Flat Plate with LDV," *Trans. JSME (B)*, Vol. 56, No. 532, pp. 122~129.
- (2) Tsutsui, T., Akiyama, M., Sugiyama, H. and Takato, K., 1991, "Experimental Analysis of

- 2D-Unsteady Temperature Field by Using Mach-Zehnder Interferogram Image," *Trans. JSME (B)*, Vol. 62, No. 95, pp. 297~303.
- (3) Ihara, A. and Watanabe, H., 1994, "On the Flow Around Flexible Plates Oscillating with Large Amplitude," *J. of Fluids and Structures*, Vol. 8, pp. 601~609.
- (4) Takato, K., Tsutui, T., Akiyama, M. and Sugiyama, H., 1998, "Numerical Analysis of Flow Around a Vibrating Elastic Plate," *Trans. JSME (B)*, Vol. 64, No. 97, pp. 194~202.
- (5) Akiyama, M. and Sugiyama, H., 1998, "Heat Transfer Enhancement Around a Rectangular Cylinder Set in Near wake Generated by a Cantilever Vibrator," *IHTC*, Vol. 5, pp. 321~326.
- (6) Kim, Y. H., Werely Steve and Chun, C. H., 2002, "Flow Field Measurement Around a Vibrating Cantilever Plate," *KSME, Joint Symposium*, pp. 2085~2091.
- (7) Burmann, P., Raman, A. and Garimella, S. V., 2003, "Dynamics and Topology Optimization of Piezoelectric Fans," *IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies*, Vol. 25, No. 4, pp. 592~600.
- (8) Kline, S. J. and McClintock, F. A., 1953, "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, Jan., pp. 3~8.