

〈 논문 〉

밀폐공간 내에서 압전세라믹 냉각팬의 열성능에 대한 실험적 연구

박 상 희[†] · 최 문 철^{*}

(2006년 6월 20일 접수, 2006년 11월 7일 심사완료)

Experimental Study on the Thermal Performance of Piezoelectric Fan in an Enclosure

Sang Hee Park and Moon Chul Choi

Key Words: Piezoelectric Fan(압전팬), Module(모듈), PIV(입자영상유속계), Flow Visualization(유동 가시화), Thermal Wake Function(열와류인자)

Abstract

This study deals with fluid flow and heat transfer around a module cooled by forced air flow generated by a piezoelectric(PZT) fan in an enclosure. The fluid flows were generated by a flexible PZT fan which deflects inside a fluid transport system of comparatively simple structure mounted on a PCB in an enclosure(270×260×90mm³). Input voltages of 30V and 40V, and a resonance frequency of 28Hz were used to vibrate the cooling fan. Input power to the module was 4W. The height in an enclosure was changed 23~43mm. 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. As the height in an enclosure and the input voltage of PZT fan increased, the cooling effect of module using a PZT fan increased. We found that the flow type was T- or Y-shape and the cooling effect was increased by the wake generated by a PZT fan.

1. 서 론

최근 컴퓨터를 비롯한 전자기기 내의 중앙처리장치(CPU)에 미세 회로를 집적하는 기술은 비약적으로 진전되고 있으며, 이로 인해 CPU가 더욱더 고밀도화, 고성능화로 되고 있다. 또한 전자기기의 시스템 크기도 점점 소형화가 가속되고 있다. 전자기기 내에 실장된 CPU의 회로에 전력을 가하면 각 회로는 작동하게 되며, 작동시 비가역과정으로 인하여

열을 발생하게 된다. CPU가 고집적화 될수록 CPU의 단위 면적당의 발열량도 크게 증가하게 된다. 이러한 CPU의 발열량 상승이 CPU의 허용한계온도 이상으로 되면 CPU는 오동작과 성능을 급격히 저하시키거나 고장을 일으키는 요인으로 작용된다. 따라서 CPU의 신뢰성을 높이기 위하여는 반드시 CPU를 냉각시켜야 한다. 현재 PC를 비롯한 전자기기에 실장된 CPU의 냉각방식은 CPU의 표면에 방열 환을 부착하고, 그 위에 축류팬을 설치하여 CPU 표면으로부터 주위공기로 열을 제거하는 방식과 히트파이프(heat pipe)를 이용하는 냉각방식이 많이 적용되고 있다. 히트파이프 방식은 히트파이프의 증발부를 CPU의 표면에 열확산자와 함께 부착하고, 응축부에는 방열 환과 팬을 설치하여 CPU의 열을 제거한다. 이들 냉각방식들은 CPU의 냉각효과를 더욱더 높이기 위하여 냉각팬의 용량을 증대시키거나

[†] 책임저자, 회원, 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : parksh@kumoh.ac.kr
TEL : (054)478-7298 FAX : (054)478-7319

^{*} 금오공과대학교 대학원 기계공학과

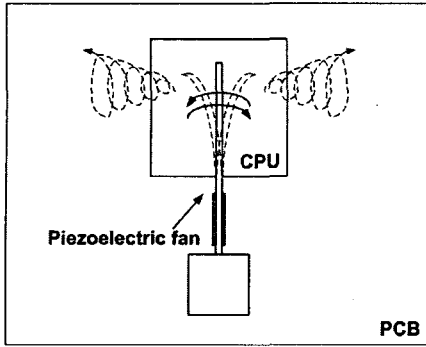


Fig. 1 Structure of heat dissipator using a piezoelectric bar

또는 방열면의 면적을 크게 확대시키고 있다. 전자의 경우 팬의 소음 및 에너지 소비의 증가로 전자기기의 품질을 저하시키는 요인의 하나로 작용되며, 후자의 경우 방열면적의 증대로 인하여 방열 면의 크기가 커짐에 따라 전자기기의 소형화를 추구하기 어렵게 되고 가격 대비 성능 측면에서 소비자의 만족도를 따라주지 못하는 실정이다. 이러한 기존의 CPU 냉각방식의 문제점을 해결할 수 있고 CPU의 신뢰성을 증가시킬 수 있는 가장 효과적인 냉각방법에 대한 연구가 매우 요구되는 실정이다.

본 연구는 Fig. 1과 같은 PCB 표면에 실장된 모사 모듈(CPU)위에 압전 세라믹(piezoelectric ceramic)이 부착된 진동판을 사용하여 모듈을 냉각시킬 수 있는 시스템을 고려하고자 한다. 이 진동판을 PZT 팬이라 칭한다. PZT는 세라믹에 전압을 가하면 기계적인 변형을 일으키고, 역으로 기계적인 압력이 가해졌을 때 전압을 발생시키는 특성을 가진 소자이다. PZT를 탄성변형이 가능한 얇은 판재에 붙여서 전기 에너지를 가하면 PZT 팬은 주기적인 진동을 일으키고, 이로 인하여 모듈 주위에 유체유동을 유발시켜 모듈을 냉각시키게 된다.

PZT 팬을 이용한 선행연구자들의 연구를 살펴보면 다음과 같다. Toda⁽¹⁾는 공진주파수 조건에서 PZT 팬의 길이를 변화시켜 진동하는 팬의 끝단에서 발생하는 공기유동 속도를 이론해석 및 실험으로 연구하였다. Watanabe 등⁽²⁾은 LDV를 이용하여 진동하는 PZT 팬 주위의 3차원 유동장을 실험적으로 연구하였다. 또한 Tsutsui 등⁽³⁾은 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 PZT 팬 주위의 2차원 비정상 온도장을 가시화하였다. Ihara와 Watanabe⁽⁴⁾는 외팔보 형태로 고정된 진동바의 자유단 주위의 유동장을 수치해석

및 실험으로 연구하였다. Schmidt 등⁽⁵⁾은 PZT 팬을 가동시켜 수직평판상의 국소 및 평균열전달 계수를 구하는 실험을 행하였다. Akiyama 등⁽⁶⁾은 LDV와 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 발열체 상단에 설치된 진동바에 의해 발생된 유체유동이 발열체의 열전달 촉진에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. Yoo 등⁽⁷⁾은 PZT 팬의 패치(patch)길이와 시편길이에 따른 다양한 형태의 PZT 팬을 제작하여 각각의 성능을 평가하였다. Kim 등⁽⁸⁾은 진동판의 폭과 진동판의 변위각을 변화시켜 진동판 주위의 유동장을 실험적으로 연구하였다. Burmann 등⁽⁹⁾은 FEM 모델을 이용하여 PZT 팬의 두께와 길이에 대한 최적화를 해석적으로 연구하였다. 박상희 등⁽¹⁰⁾은 상단이 개방된 채널 내에 실장된 발열체 표면위에 PZT 팬을 설치하여 PZT 팬의 인가전압과 각종 냉각방식에 따른 발열체의 열전달 증진효과와 PZT 팬 주위의 유체유동을 실험적으로 연구하였다. 최근 Acikalın 등⁽¹¹⁾은 밀폐공간 내에서 기존의 축류형 팬과 PZT 팬을 사용하여 CPU 냉각효과를 실험적으로 비교평가하였다. 이 실험에서 CPU 온도는 PZT 팬을 사용하였을 때가 축류형 팬에 비해 4°C 정도 더 온도가 강하함을 보였다. 상기의 연구자들은 시험부 내에 설치된 PZT 팬의 최적화와 PZT 팬 주위의 유체유동 및 온도분포의 해석에만 초점을 두어 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 밀폐공간 내의 모듈 위에 설치된 PZT 팬 주위의 유체유동 가시화와 모듈 및 모듈 주위의 열전달 특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 PZT 팬에 공급되는 인가전압, 모듈 위의 팬의 설치위치, 팬과 모듈 사이의 간격 그리고 밀폐공간의 높이를 변화시켜 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도이다. 시험부(Fig. 3)는 밀폐공간으로 유동가시화를 용이하게 할 수 있도록 투명 아크릴로 제작하였다. 밀폐공간의 내부에 모듈을 실장하고, 모듈 표면위에 PZT 팬을 설치하였다. 시험부의 높이 변화는 시험부의 아래 부분에 높이 조절 기구를 설치하여 시험부의 높이 조절을 용이하도록 하였다. 시험부에 설치된 모듈로의 전력 공급은 직류전원 공급장치에 의해서 전력을 공급하고, 디지털 멀티메타(Fluke-8842A)를 이용하여 모듈에 공급되는 전력을

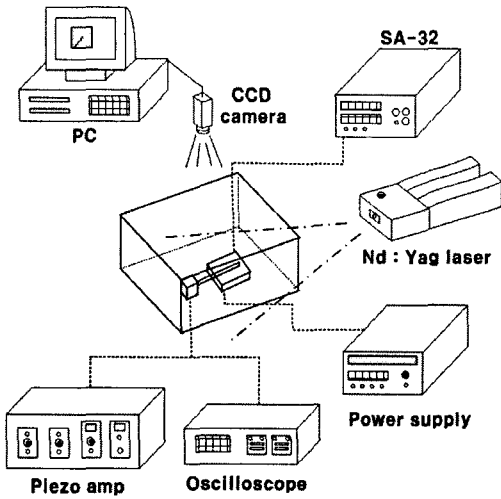


Fig. 2 Schematic of experimental setup

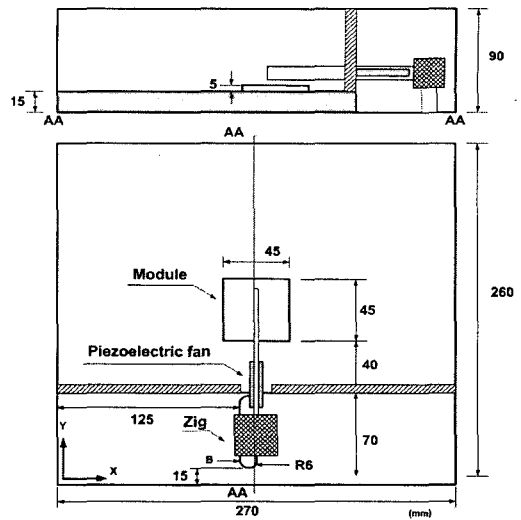


Fig. 3 Test section

조절하도록 하였다. 모듈온도 및 주위공기온도는 직경 0.2mm의 T형 열전대를 온도측정장치(SA-32)에 연결하여 측정하였다. PZT 팬은 증폭기(Piezo amp)와 오실로스코프를 이용하여 주파수와 전압을 일정하게 인가시켜 팬을 가동시켰다. 본 실험에 사용된 팬의 인가전압은 30V와 40V이다.

시험부 내부의 유체 유동의 가시화는 PIV(particle image velocimetry) 시스템을 이용하였다. PIV 시스템의 구성은 120mJ/pulse의 이중 펄스 방식의 Nd:Yag 레이저 시스템과 1K×1K의 고해상도 CCD 카메라, 동기화장치(synchronizer), 화상처리장치로 구성되어 있다. CCD카메라의 촬영속도는 15Hz이다. 레이저 광원으로부터 조사된 레이저 빔은 필터를 통해서 평면 빔으로 만들어져 모듈 표면으로부터 1.5mm 떨어진 위치에서 시험부로 조사된다. 가시화에 사용된 유동 입자는 향을 태운 연기를 사용하였으며, 이 연기를 시험부 내에 주입시킨 후, 모듈 표면의 상부에 설치된 PZT 팬을 가동시켜 공기유동을 CCD 카메라를 이용하여 가시화하였다.

모듈 주위의 단열벽온도를 측정하기 위하여 시험부 내의 벽면에 두께 0.2mm의 천을 부착하고, 그 위에 액정막(liquid crystal film)을 접촉시켰다. 액정막은 온도범위가 32.3~39.6℃이며, 고온측으로부터 감청색, 청색, 녹색, 적색, 갈색의 순으로 5종류의 색을 나타낸다. 특히 33.7℃(갈색/적색), 34.9℃(적색/녹색) 그리고 37℃(녹색/청색)에서 변색경계가 식별 용이하였으며, 이들의 경계를 측정으로 이용하였다.

액정막의 지시온도의 검정은 액정보정장치에 열전대를 부착하여 행하였다. 모듈 주위의 색 분포는 채널 상부에 설치된 디지털 카메라를 이용하여 촬영하였으며, 촬영된 결과는 영상처리장치를 이용하여 데이터를 정리하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 시험부의 개략도를 나타낸 그림이다. 시험부의 전체 크기는 270×260×90 mm³이며, 휴대용 PC를 모델로 하였다. 시험부는 밀폐공간으로 두께 3mm의 투명한 아크릴로 제작되었으며, 유동가시화 및 열전달 실험을 할 수 있는 부분과 PZT 팬을 고정하는 부분으로 나누어져 있다. 전자의 경우, 시험부의 크기는 가로 270mm, 세로 190mm이고 모듈과 PZT 팬이 설치되어 있다. 후자의 공간에는 PZT 팬을 고정하고 구동시키는 별도의 시스템이 설치되어 있다. 모듈의 선단부로부터 40mm 떨어진 지점에는 칸막이를 두어 PZT 팬의 가동에 의한 유체유동이 팬의 고정시스템에 의한 영향을 받지 않도록 하였다. 본 실험에서 밀폐공간의 높이는 23, 28, 33, 38, 43mm 순으로 5mm씩 변화시켰다.

Fig. 4는 본 실험에 사용한 모사모듈의 개략도이다. 모듈은 45×45×1.2mm의 크기를 갖는 2개의 정방형 동판 사이에 저항 값이 50.4Ω인 필름히터(film heater, 45×45×0.1mm)를 삽입하여 만들었다. 모듈로의 입력전력은 4W이다.

Fig. 5는 PZT 팬의 구조를 나타내고 있다. PZT

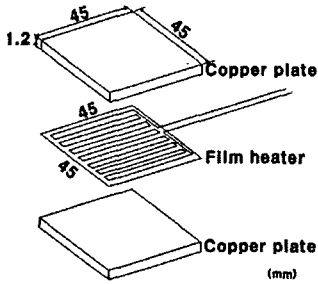


Fig. 4 Structure of simulated module

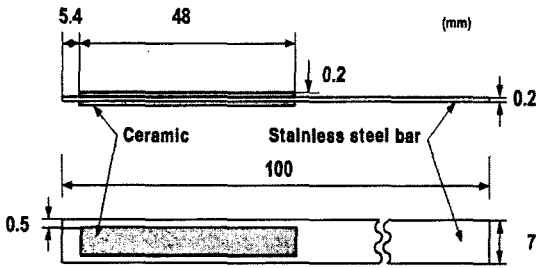


Fig. 5 Piezoelectric fan geometry

팬은 길이 100mm, 폭 7mm, 두께 0.2mm의 치수를 가지는 직사각형 평판으로 스테인레스 강을 사용하여 제작하였다. PZT 팬에 전류를 공급시키기 위한 전극은 팬의 고정단(Fig. 5에서 왼쪽의 검은색 부분)으로부터 5.4mm 떨어진 위치에 길이 48mm, 폭 6mm, 두께 0.2mm의 압전 세라믹을 평판의 양 측면에 부착하여 형성시켰다.

본 연구에서는 먼저 PZT 팬의 인가전압에 따른 공진 주파수를 측정하였다. PZT 팬의 공진주파수는 레이저 변위계(LC-2400A)로 측정하였으며, 이 센서에 의해 측정된 최대 변위량을 데이터처리 시스템을 이용하여 검출하였다. 본 실험에서 측정된 공진 주파수는 $f=28\text{Hz}$ 이다. 공진주파수를 검출한 후, 팬의 인가전압, 모듈 위의 팬의 위치, 모듈 표면과 팬 사이의 간격 그리고 채널 높이의 변화에 따른 모듈의 온도변화를 측정하였다.

본 실험에서 수행한 측정의 불확실성은 Kline과 McClintock⁽¹²⁾의 방법으로 평가하여 다음과 같이 추정하였다. PZT 팬의 변위량은 0.01mm, 모듈온도 및 주위공기온도 $\pm 0.3\text{K}$, 액색막의 변색 경계의 공간분해능 약 1mm, 모듈로의 입력전력은 0.32%, 복사에 의한 열손실량은 0.43%로 평가되었다.

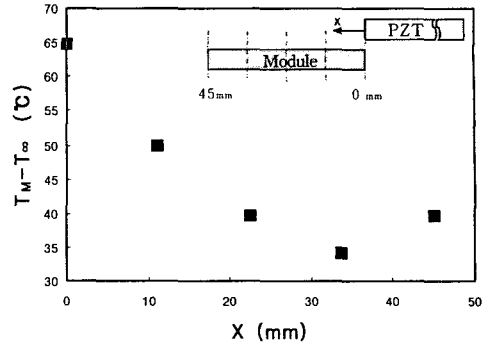


Fig. 6 Variation of module temperature for the five different positions of PZT fan over a module at $f=28\text{Hz}$, $V_p=40\text{V}$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PZT 팬에 의한 모듈의 냉각효과

Fig. 6은 모듈 상단에 설치된 PZT 팬의 자유단이 놓여진 위치 즉 PZT 팬이 모듈을 가리는 부분에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸다. 여기서 T_m 은 모듈 온도, T_∞ 는 주위공기온도 그리고 x 는 PZT 팬이 모듈을 가리는 거리를 나타낸다. Fig. 6의 우측 상단에 보여진 바와 같이 $x=0\text{mm}$ (PZT 팬이 모듈을 가리지 않는 경우), 11.3mm(모듈을 1/4 정도 가리는 경우), 22.5mm(모듈을 1/2 정도 가리는 경우), 33.8mm(모듈을 3/4정도 가리는 경우) 그리고 45.0mm(PZT 팬이 모듈을 완전히 가릴 경우)로 변화시켰다. 사용된 공진주파수는 $f=28\text{Hz}$ 이다.

PZT 팬이 모듈을 가리는 부분이 많아질수록 (x 가 증가하는 경우) 모듈온도 T_m 은 급격하게 감소하며, 팬이 모듈을 3/4 (33.8mm) 정도 가렸을 때 T_m 이 가장 낮게 나타남을 보였다. 즉 $x=0\text{mm}$ 에 비해 33.8mm일 때가 T_m 은 32°C 정도 더 강하하였다. 그러나 $x=45\text{mm}$ 일 때는 T_m 가 다시 7°C정도 더 상승함을 보였다. 이것은 PZT 팬이 모듈 상단의 $x=33.8\text{mm}$ 정도에 위치할 때가 모듈의 냉각효과가 가장 효과적임을 알 수 있다. 그 이유는 PZT 팬에 의해 발생하는 Y자 형태 vortex유동(Fig. 11)이 $x=33.8\text{mm}$ 일 때 모듈 표면상에서 가장 넓은 공간을 차지하면서 활발하게 일어나기 때문인 것으로 예측된다.

Fig. 7은 $x=33.8\text{mm}$, $f=28\text{Hz}$ 일 때 모듈 표면과 PZT 팬 사이의 간격(S)에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸다. 인가전압 $V_p=30\text{V}$ 와 40V일 때 모듈과 팬

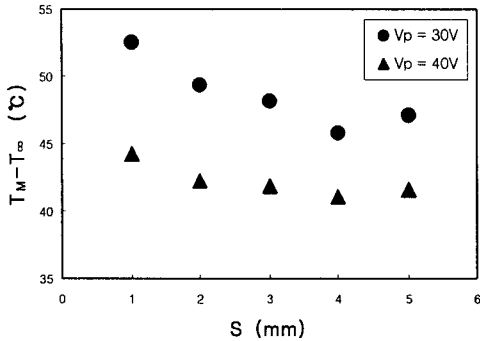


Fig. 7 Variation of module temperature for the interval S between module and PZT fan at $f=29\text{Hz}$, $x=33.8\text{mm}$

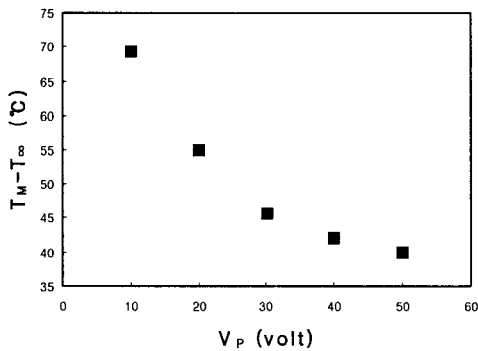


Fig. 8 Variation of module temperature for the input voltage at $f=28\text{Hz}$, $T_\infty=23^\circ\text{C}$

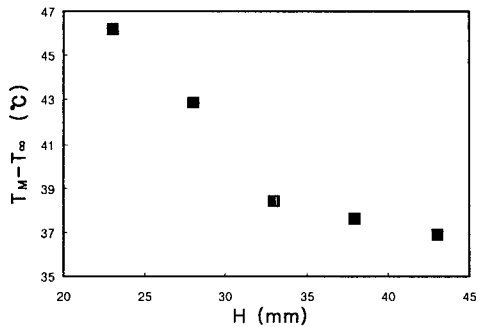


Fig. 9 Variation of module temperature for the height in an enclosure at $f=28\text{Hz}$, $T_\infty=23^\circ\text{C}$

사이의 거리 S 에 따른 모듈온도는 $S < 4\text{mm}$ 에서

는 급격하게 감소하다가 $S=4\text{mm}$ 에서 최소값을 보였으며, $S > 4\text{mm}$ 에서는 모듈온도가 다시 증가함을 보였다. 즉 모듈 상단에 PZT 팬을 설치할 때 모듈의 냉각이 가장 효과적인 최적화된 간격은 $S=4\text{mm}$ 임을 보여준다. 이것은 $S < 4\text{mm}$ 에서는 PZT 팬의 관성력에 비해 모듈 표면과 팬 사이에서 발생하는 점성력의 증가로 인해 모듈의 냉각 효과가 감소하는 것으로 추측된다.

Fig. 8은 $S=4\text{mm}$, $f=28\text{Hz}$ 일 때 인가전압 V_p 에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸다. 팬의 자유단이 위치하는 거리 x 는 33.8mm 이다. 그림에서 V_p 에 따른 모듈의 온도는 급격하게 감소함을 보여주고 있다. 즉 V_p 를 10V 에서 20V 로 2배 증가시킬 때 모듈온도차는 약 15°C 정도로 가장 큰 온도강하를 보였고, 20V 에서 30V 로 증가시킬 때는 약 10°C , 30V 에서 40V 로 증가시킬 때는 약 3°C 정도로 강하하였다. $V_p=40\text{V} \sim 50\text{V}$ 범위에서의 모듈온도는 2°C 이하로 거의 일정함을 보여주고 있다. 따라서 모듈의 냉각효과를 증대시킬 수 있는 가장 효율적인 인가전압은 40V 임을 알 수 있었다.

Fig. 9는 $x=38\text{mm}$, $S=4\text{mm}$, $f=28\text{Hz}$ 일 때 밀폐공간의 높이(H) 변화에 따른 모듈의 온도변화를 나타낸 것이다. H 는 $23, 28, 33, 38, 43\text{mm}$ 로 변화시켰다. H 를 23mm 에서 33mm 로 10mm 증가시킬 때 모듈온도는 약 8°C 정도 강하하였으나, $H \geq 33\text{mm}$ 에서는 모듈온도차가 2°C 이하로 거의 일정함을 보였다. 즉 $H < 33\text{mm}$ 에서는 모듈온도 T_M 은 H 에 크게 의존하고, $H \geq 33\text{mm}$ 에서는 T_M 은 H 에 거의 독립적임을 알 수 있다.

밀폐공간의 높이 H 에 따른 모듈온도의 변화는 다음과 같이 예측할 수 있다. 즉 밀폐공간의 높이 H 가 감소할수록 공간 내의 유동저항이 증가하여 Fig. 10(a)에서 보여진 것처럼 vortex 유동이 거의 수평방향으로 확산이 느리게 일어나며, 또한 채널 높이가 협소해져서 모듈 위쪽 방향으로의 유동이 일어나지 않는 2차원 유동이 발생하여 모듈온도는 증가한다. 그러나 H 가 증가할수록 Fig. 10(b), (c)에서 보여진 것처럼 밀폐공간 내에서는 3차원 유동이 활발하게 일어난다. 즉 PZT 팬에서 발생한 vortex 유동은 Y자 형태로 유동이 모듈 주위로 매우 빠르게 확산되고, 게다가 모듈 위쪽 방향으로도 유동이 활발하게 일어나기 때문에 모듈온도는 감소하게 된다.

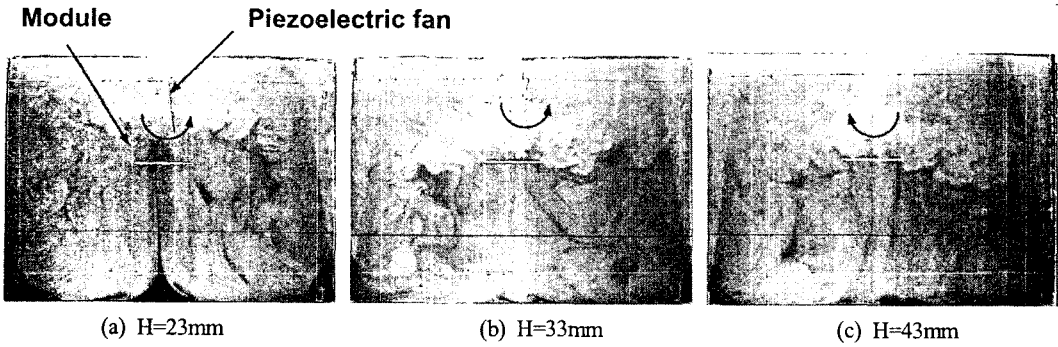


Fig. 10 Visualization of flow streaks around a module according to channel height at $f=28\text{Hz}$, $V_p=40\text{V}$

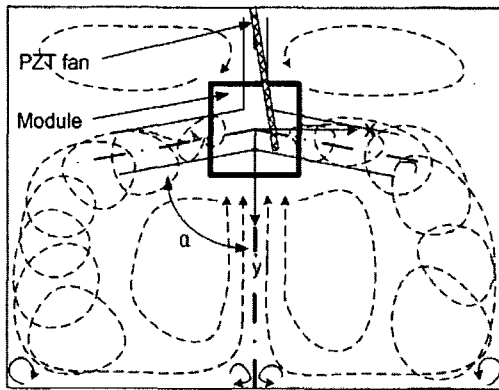


Fig. 11 Sketch of flow pattern around a module

3.2 유동가시화

Fig. 10(a)-(c)는 공진주파수 28Hz, 인가전압 40V 일 때에 채널 높이 변화에 따른 모듈 주위의 유동 가시화의 결과이다. 채널의 높이는 $H=23\text{mm}$, 33mm , 43mm 이다. 유동가시화의 결과는 PZT 팬이 모듈 표면으로부터 4mm 떨어진 위치에서 팬이 좌에서 우로 또는 우에서 좌로 움직일 때의 유동형태를 나타낸다. 그리고 모듈 주위의 유동가시화를 개략적으로 스케치한 그림을 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 기준좌표는 모듈 중심에서 PZT 팬의 가동방향을 x축으로, 팬의 가동방향에 대한 수직축을 y축으로 나타내었다. α 는 모듈의 중심축(y축)과 vortex의 유동방향과 이루는 각이다.

Fig. 10(a) ($H=23\text{mm}$)의 경우에서 밀폐공간 내의 모듈 주위의 유동패턴은 팬의 좌우 진동에 의해서 vortex유동이 발생하며, 이 유동은 y축을 기준으로 $\pm x$ 축 방향으로 T자 형태($\alpha = 90^\circ$)를 이루면서 대칭적으로 분사되는 유동이 발생함을 관찰할 수 있

었다. T자 형태의 vortex유동은 $\pm x$ 축 방향으로 퍼져나가면서 양쪽 벽면에 부딪쳐서 하류(y축) 방향과 상류(-y축) 방향으로 나누어진 후, 상류 방향의 유동은 대칭적으로 PZT 팬의 뒤쪽으로 유동이 유입되어 순환영역을 만든다. 또한 양쪽 벽면에서 하류 방향으로 벽면을 따라 퍼져나가는 vortex유동은 점차로 그 형태가 커지면서 y축 방향으로 이동하여 밀폐공간의 하단 벽면에 부딪친 후, 밀폐공간의 중심부를 기준으로 유동이 다시 만나서 대칭적으로 모듈 쪽으로 유입되어진다. 또한 밀폐공간 하단의 중심에서 유동이 재결합하는 영역에는 정체공간이, 양 모서리에는 작은 모양의 vortex 유동이 관찰되었다.

밀폐공간의 높이 $H=33\text{mm}$ [Fig. 10(b)]일 때는 T자 형태의 유동이 Y자 형태($\alpha = 70^\circ$)의 유동으로 변하였고 $H= 43\text{mm}$ [Fig. 10(c)]일 때는 이러한 Y자 형태의 분사유동은 더욱 더 강력해지며, y축과 분사유동과 이루는 각 $\alpha(\alpha = 60^\circ)$ 는 점점 작아지게 되는 것을 관찰할 수 있었다. 이 이유는 채널 내부의 유동저항이 감소하기 때문이다. 또한 채널 하단의 양 모서리에 발생한 vortex 유동의 크기는 $H=33\text{mm}$, 43mm 로 증가할수록 더욱더 작아졌고, 채널 하단 중심부에는 vortex 유동이 발생함을 관찰할 수 있었다.

3.3 열와류계수 F

본 연구에서는 액정막을 이용하여 단열벽온도 T_{ad} 를 측정하여 다음과 같은 식으로 열와류계수(thermal wake function) F를 구하였다.

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

여기서 Q_A 는 모듈 표면에서의 대류열전달량(W)이

고, Q_A 는 $Q_A=Q_P - Q_L$ 로 계산하였다. Q_P 는 모듈에 공급되는 전력량이고, Q_L 은 모듈 표면으로부터 주위로의 복사열손실량이며, T_∞ 는 주위공기온도이다. 식 (1)의 열와류인자 F 는 모듈 주위의 기판 표면상의 열저항[K/W]를 나타낸다. 이것은 모듈에 의해서 발생된 고온의 열와류가 모듈 주위의 기판 표면의 가장 근접한 곳에서의 엔탈피 수송을 열저항의 형태로 나타낸 것이다.

Fig. 12(a)~(c)는 모듈 주위의 단열벽온도의 분포(왼쪽)와 열와류인자 F 선도의 분포(오른쪽)를 나타낸다. 모듈 주위의 온도분포에서 청색영역은 $T_{ad} \geq 37^\circ\text{C}$ 의 고온영역으로 이에 대응하는 열와류인자는 $F \geq 3.6\text{K/W}$ 이다. 녹색영역은 $T_{ad} \geq 34.9^\circ\text{C}$, 적색영역은 33.7°C 이며, 이에 대응하는 F 는 각각 3.1K/W 와 2.8K/W 이다. 이들의 분포는 모듈을 중심으로 대칭적인 형태를 나타내었다. 특히 모듈 주위의 고온영역($F \geq 3.6\text{K/W}$ 의 영역)은 모듈로부터 발생한 고온공기가 기판 표면상을 덮고 있어서 엔탈피 수송이 잘 일어나지 않으므로 기판 표면상의 열저항이 증가하게 된다. 또한 모듈 측면의 온도분포에서 돌출된 부분은 Fig. 10(a)~(c)에서 보여진 것처럼 팬의 진동에 의해서 발생한 T자 및 Y자 형태의 vortex 유동에 의한 영향으로 발생한 것이다. 모듈 주위의 온도분포 및 F 값 분포는 밀폐공간의 높이가 증가함에 따라 모듈 주위의 고온영역($F \geq 3.6\text{K/W}$)의 면적은 크게 변하지 않으나, 저온영역($F \geq 3.1\text{K/W}$)경우에는 $H=23\text{mm}$ 에 비해 43mm 의 경우가 약 15.3% 정도 더 감소하였다. 이것은 $H=23\text{mm}$ 일 때는 팬에 의해 발생한 좌우로의 vortex 유동만이 모듈의 냉각에 영향을 미치고 있고, $H=43\text{mm}$ 의 경우에는 이러한 vortex 유동과 모듈 위쪽 방향으로의 와류가 복합되어 모듈을 냉각시키는 것으로 추측된다. 모듈 주위의 온도분포 및 F 값의 분포 형태는 Fig. 10의 유동가시화의 경향과 잘 일치함을 보였다.

4. 결론

밀폐공간 내에서 PZT 팬을 이용하여 모듈 주위의 유체유동 및 열전달 특성을 규명하기 위하여 공진주파수가 28Hz일 때 PZT 팬에 공급되는 인가전압, 팬이 모듈 상단에 놓여지는 위치, 모듈과 팬 사이의 간격, 밀폐공간의 높이를 변화시켜 가면서 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

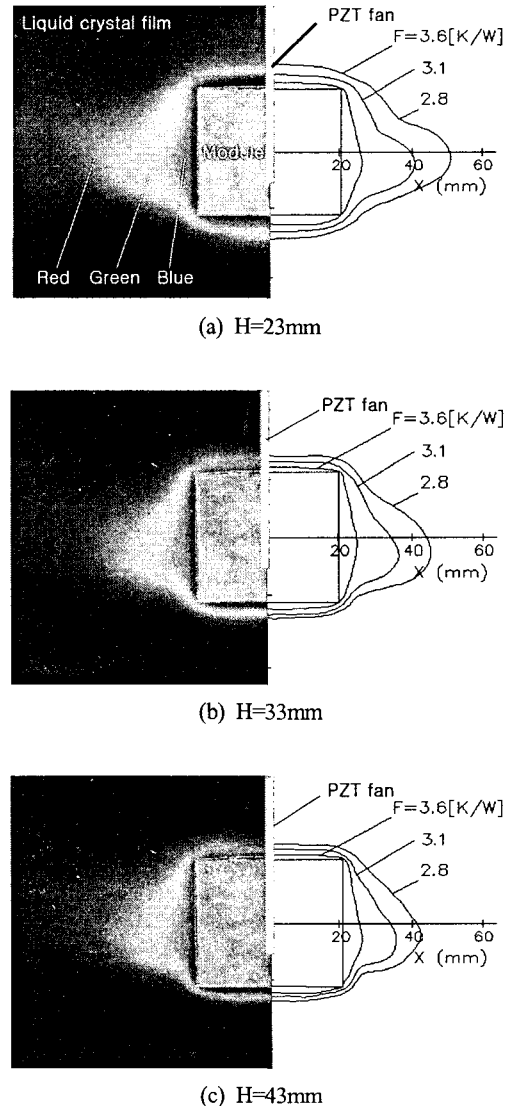


Fig. 12 Adiabatic wall temperature T_{ad} and thermal wake function F on the floor around a module at $V_p=40\text{V}$, $Q_p=4\text{W}$

(1) PZT 팬이 모듈 상에 놓여질 때 모듈의 냉각 효과가 가장 효과적인 최적의 위치는 팬이 모듈을 3/4정도 가릴 때와 모듈 표면과 PZT 팬 사이의 간격이 4mm임을 알았다. 또한 PZT 팬이 모듈 상의 최적의 위치에 놓여 있을 때 모듈온도는 팬의 인가전압이 증가함에 따라 크게 감소하여 인가전압이 40V~50V 범위에서의 모듈온도는 2°C 이내로 거의 일정함을 보였다. 따라서 모듈

의 냉각 효과를 증대시키는 효율적인 인가전압은 40V임을 알았다.

(2) 밀폐공간의 높이(H) 변화에 있어서 H가 증가할수록 모듈온도 T_M 은 밀폐공간 내의 유동저항의 감소로 인하여 감소함을 보였다. 즉 $H < 33\text{mm}$ 에서는 T_M 은 크게 감소하여 H에 의존함을 보였고, $H \geq 33\text{mm}$ 에서는 T_M 은 H에 거의 독립적임을 나타내었다. 따라서 모듈의 냉각 성능을 좌우하는 밀폐공간의 최적 높이는 33mm임을 알았다.

(3) PZT 쉘에 의한 밀폐공간 내의 모듈표면 위의 유동패턴을 살펴보면 밀폐공간의 높이가 23mm일 때는 쉘의 양 측면으로 T자 형태의 vortex 유동이, 33mm에서는 Y자 형태의 유동이 발생함을 관찰하였다. 이러한 유동은 밀폐공간의 높이가 증가할수록 점점 커짐을 알 수 있었다.

(4) 모듈의 방열이 단열벽온도에 미치는 영향을 단열벽온도 T_{ad} 및 열와류인자 F로 표시하여 밀폐공간 내의 모듈 주위에 나타내었다. PZT 쉘에 의한 모듈 주위의 이들 분포의 양상은 유동가시화의 경향과 잘 일치함을 보였다. 모듈 주위의 F 분포가 $F \geq 3.1\text{K/W}$ 영역의 면적은 밀폐공간의 높이가 증가할수록 감소하였고, 높이 23mm에 비해 43mm의 경우가 약 15.3% 정도 감소하였다.

후 기

본 연구는 2005년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Toda, M., 1979, "Theory of Air Flow Generation by a Resonant Type PVF₂ Bimorph Cantilever Vibrator," *Ferroelectrics*, Vol. 22, pp. 911~918.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) Schmidt, R. R., 1994, "Local and Average Transfer Coefficients on a Vertical Surface Due to Convection from a Piezoelectric Fan," *InterSociety Conference on Thermal Phenomena*, pp. 41~49.
- (6) 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.
- (7) Yoo, J. H., Hong, J. I. and Cao, W., 2000, "Piezoelectric Ceramic Bimorph Coupled to Thin Metal Plate as Cooling Fan for Electronic Devices," *Sensors and Actuators, A*, Vol. 79, pp. 8~12.
- (8) Kim, Y. H., Werely, S. and Chun, C. H., 2002, "Flow Field Measurement Around a Vibrating Cantilever Plate," *KSME, Joint Symposium*, pp. 2085~2091.
- (9) Burmann, P., Raman, A. and Garimella, S. V., 2002, "Dynamics and Topology Optimization of Piezoelectric Fans," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, Vol. 25, pp. 592~600.
- (10) Park, S. H., Park, G. J. and Choi, S. D., 2004, "Heat Transfer Characteristics Around a Surface-Mounted Module Cooled by Piezoelectric Fan," *Trans. of the KSME B*, Vol. 28, No. 7, pp. 780~788.
- (11) Acikalin, T., Wait, S.M., Garimella, S.V. and Raman, A., 2004, "Experimental Investigation of the Thermal Performance of Piezoelectric Fans," *Heat Transfer Engineering*, Vol. 25, pp. 4~14.
- (12) Kline, S. J. and McClintock, F. A., 1953, "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, Jan, pp. 3~8.