

〈논 문〉

## 와류발생기를 사용한 전자칩의 냉각촉진에 관한 연구

유성연\* · 주병수\*\* · 박종학\*\* · 이상윤\*\*

(1996년 4월 9일 접수)

### A Study on the Cooling Enhancement of Electronic Chips Using Vortex Generator

S. Y. Yoo, B. S. Ju, J. H. Park and S. Y. Lee

**Key Words :** **Electronic Cooling** (전자장비 냉각), **Vortex Generator** (와류발생기), **Heat Transfer Enhancement** (열전달 촉진), **Naphthalene Sublimation Technique** (나프탈렌 승화법)

#### Abstract

Effect of vortex generator on the heat transfer enhancement of electronic chips is investigated using naphthalene sublimation technique. Experiments are performed for a single chip and chip arrays, and shape of vortex generator, position of vortex generator, streamwise chip spacing and air velocity are varied. Local and average heat transfer coefficients are measured on the top surface of simulated electronic chips, and compared with those obtained without vortex generator. In case of a single chip, heat transfer augmentation is seen only on the upstream portion of chip surface, while heat transfer enhancement is found on the whole surface for chip arrays. Rectangular wing type vortex generator is found to be more effective than delta wing.

#### 기 호 설 명

$A$  : 나프탈렌 주조 면적

$B$  : 모사 전자칩의 높이

$D$  : 공기중에서 나프탈렌의 물질확산계수

$G$  : 와류발생기와 모사 전자칩 사이의 거리

$H$  : 유동채널 높이

$h$  : 열전달계수

$h_m$  : 물질전달계수

$k$  : 열전도계수

$L$  : 모사 전자칩의 폭

$\dot{m}$  : 물질전달률

$Nu$  : Nusselt 수

$P$  : 와류발생기 사이의 간격

$Pr$  : Prandtl 수

$Re$  : Reynolds 수

$S$  : 모사 전자칩의 유동방향 배열간격

$Sc$  : Schmidt 수

$Sh$  : Sherwood 수

$T$  : 풍동 내 공기의 온도

$U$  : 공기의 유동채널 유입 속도

$\Delta m$  : 풍동에서 노출 전·후 모사 전자칩의 무게차이

$\Delta t$  : 나프탈렌의 승화깊이

$\Delta \tau$  : 풍동에서의 노출시간

$\rho_s$  : 주조된 나프탈렌 고체의 밀도

$\rho_{v,w}$  : 주조 표면에서 나프탈렌 증기의 밀도

\*회원, 충남대학교 기계설계공학과

\*\*회원, 충남대학교 대학원 기계설계공학과

## 1. 서론

전자기기의 고집적 대용량화 및 소형화는 열적인 문제의 해결이 없이는 불가능하기 때문에 전자칩의 냉각기술에 대한 연구가 미국 일본 등 선진외국에서는 매우 활발히 진행되고 있으나 국내에서는 아주 미미한 실정이다. 전자칩에서의 냉각기술은 냉각 매체에 따라 공기냉각과 액체냉각으로 나눌 수 있다. 액체 냉각은 냉각효율은 우수하나 냉각장치가 복잡하기 때문에 슈퍼컴퓨터와 같이 높은 정도의 온도제어가 요구되는 전자기기에서만 이용되고 있으며, 공기냉각은 이용이 편리하고 장치가 간단하기 때문에 대부분의 중 소형 전자기기의 냉각에 사용되고 있다. 공기냉각은 별도의 장치가 없이 공기의 자연순환에 의해서 냉각이 이루어지는 자연대류 공기냉각과 팬이나 송풍기를 사용하는 강제대류 공기냉각이 있으며, 전력소모가 적은 소형기기에서는 자연대류 공기냉각방식이, 중형 전자기기에서는 강제대류 공기냉각방식이 채용되고 있다.<sup>(1)</sup>

공기냉각은 냉각장치는 간단하지만 냉각열량에 한계가 있기 때문에 전자기기의 고집적화 및 소형화를 위해서는 공기냉각의 냉각성능을 촉진시킬 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 지금까지 연구되고 있는 강제대류 공기냉각방식의 냉각촉진기술에는 칩의 배열이나 형상을 바꾸는 방법, 전자칩에 핀을 설치하는 방법, 칩 앞부분에 장애물을 설치하는 방법, 칩의 상부에서 공기제트를 분사하는 방법 등이 있다.<sup>(2~4)</sup> 핀이나 장애물을 이용하는 방법은 설치하는 간단하나 냉각촉진 효과가 매우 작으며, 제트를 이용하는 방법은 냉각효과는 우수하나 별도의 덕트와 노즐을 설치하여야 하기 때문에 기존의 설계를 변경하여야 하며 전자기기의 소형화에 걸림돌이 된다. 와류발생기를 이용한 냉각촉진기술은 위 방법들의 장점을 딴 것으로 설치가 핀보다 간단하고 냉각효과가 제트와 비교할 수 있을 정도로 우수하다.

와류가 열전달을 촉진시킨다는 것은 오래전부터 알려져 왔으나 열전달 촉진 메커니즘의 규명은 실험의 어려움 때문에 국내외적으로 아직 초보적인 수준에 머물러 있다. 본 저자<sup>(5, 6)</sup>는 최근의 연구에서 사각봉과 직교기판이 만나는 3차원 유동영역에서 형성되는 말굽와류(horseshoe vortex)가 국소열전달계수를 2~4배 까지 증대시킨다는 것을 발견하였다. 본 연구에서는 유동방향으로 진행되는 와류

를 와류발생기에 의해서 인위적으로 만들어 주어 전자칩의 냉각성능을 향상시키고자 한다.

지금까지의 전자칩에 대한 열전달 연구는 1차원이나 2차원 유동영역에서 동일 평면의 열원(flush heater)이나 돌출된 열원(protruding heater)으로 모사한 전자칩에서의 평균열전달계수나 최대온도 측정이 대부분이다.<sup>(7, 8)</sup> 그러나 와류발생기가 설치된 전자칩이 강제대류에 의해 열을 발산하고 있을 때 전자칩 주위에서 유동의 정체(stagnation), 박리(separation), 재부착(reattachment), 재순환(recirculation), 와류 형성(vortex formation) 등의 매우 복잡한 3차원 유동현상이 발생하며<sup>(9)</sup> 이러한 3차원 유동현상이 열전달에 미치는 영향을 규명하기 위해서는 3차원 국소열전달 측정기술이 필요하다. 기존의 열전달 측정방법으로는 이러한 복잡한 3차원 열전달현상을 규명하는 것이 매우 어렵다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서 개발된 방법이 나프탈렌 승화법(Naphthalene Sublimation Technique)을 이용한 물질전달실험이다.

본 연구에서는 나프탈렌 승화법을 사용하여 와류발생기가 설치된 전자칩에서의 평균열전달계수 및 3차원 국소열전달계수를 측정하여 와류발생기의 냉각촉진 효과를 분석하였다. 와류발생기는 삼각형과 사각형 모양의 날개를 일정한 간격으로 부착하여 만들었다. 평균물질전달계수는 일정시간 동안 나프탈렌이 승화한 질량을 정밀저울을 사용하여 측정하고, 국소물질전달계수는 각 지점에서 나프탈렌이 승화한 깊이를 자동이송 깊이측정장치를 이용하여 측정하였다. 측정된 물질전달계수로부터 열전달과 물질전달의 유사성 관계식을 사용하여 열전달계수를 환산하였다. 유동채널에 설치된 단일칩(single chip)과 배열칩(chip array)에 대하여 와류발생기의 형상, 칩과 와류발생기 사이의 간격, 칩과 칩 사이의 간격, 공기의 유속 등을 변화시켜가면서 실험을 수행하여 와류발생기가 없는 경우와 비교 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 풍동, 나프탈렌주조장치, 승화량 측정장치이다. 풍동은 개방송출형으로 직류모터, 송풍기, 확대부, 정류실, 축소부, 시험부로 구성되어 있다. 시험부 단면의 크기는 폭

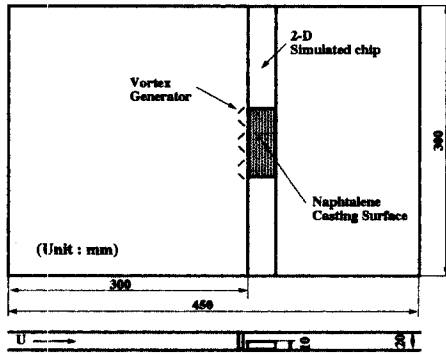


Fig. 1 Schematic of single chip and vortex generators

300 mm 높이 300 mm이며, 시험부에서 공기의 최대속도는 33 m/sec이고 자유흐름의 난류강도는 1% 미만이다. 풍동 내부에 높이 20 mm 폭 300 mm인 유동채널을 설치하고 유동채널 밑면에 모사 전자칩을 배치한다. 유동채널 입구에 피토포를 설치하여 공기의 유속을 측정하며, 유속은 적류모터에 의해서 조절된다.

나프탈렌주조장치는 나프탈렌 분말을 녹이기 위한 비이커와 열판, 나프탈렌 주조를 위한 시편과 몰드, 나프탈렌 액체 주입보조기구, 몰드 분리기구 등으로 구성되어 있다. 순도가 99.9%인 시약용 나프탈렌을 비이커에 넣고 열판에 올려 놓은 다음 비등점까지 끓인다. 나프탈렌이 끓기 시작하면 열판에서 비이커를 내려 놓고, 기포가 사라질 때까지 기다렸다가 조립된 몰드에 깔대기를 끼우고 용융된 나프탈렌을 주입한다. 용융 나프탈렌이 충분히 응고된 후에 전단력을 가하여 시편을 몰드로부터 분리시킨다.

승화량 측정장치는 평균물질전달계수 측정을 위한 정밀저울과 국소물질전달계수 측정을 위한 승화 깊이 측정장치가 있다. 정밀저울의 측정 중량은 120 g이고 측정 정도는 0.1 mg으로 아주 미세한 무게 변화도 감지할 수 있다. 승화깊이 측정장치는 깊이센서(LVDT), Signal Conditioner, 이송 테이블, 자료획득장치 및 제어용 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. LVDT(Linear Variable Differential Transformer)는 센서 팀의 변위에 따라서 전기적인 신호를 내는 변환기로 측정 정도는  $2.54 \times 10^{-5}$  mm이다. LVDT 센서에 연결된 Signal Conditioner는 변위 0.0254 mm에 대해 1 Volt의 신호를 발생하도록 교정하였다. 스텝모터는 깊이센서의 측

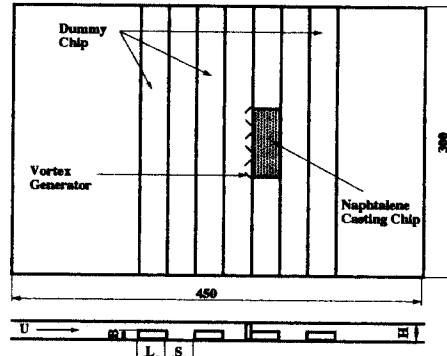


Fig. 2 Schematic of 2-D chip array and vortex generators

정위치를 제어하고 이송 테이블을 일정한 간격으로 움직여 준다.

### 2.2 유동채널과 모사 전자칩 시편

높이 20 mm, 폭 300 mm, 길이 450 mm의 유동채널을 두께 10 mm의 아크릴로 만들어 풍동 중앙에 설치하고, 2차원 단일칩 실험에서는 칩을 유동채널 입구에서 300 mm 하류에 Fig.1과 같이 배치하였다. 단일칩의 위치는 다음 절에서 고찰할 배열칩의 경우 3번째 열에 해당하며, 풍동에서의 속도는 균일하고 난류강도는 1% 미만이었으며, 유동채널 입구에서 측정된 공기의 유속은 10 m/s로 고정하였다. 실험에 사용한 단일칩은 높이 10 mm, 폭 30 mm, 길이 300 mm인 듀랄루민으로 만든 모사 전자칩으로 중앙 76 mm 부분을 1.5 mm 깊이로 가공하여 나프탈렌을 주조하였다.

배열칩은 2차원 배열칩과 3차원 배열칩에 대해서 실험을 수행하였다. Fig.2는 유동채널에 배열한 2차원 배열칩의 평면도와 측면도이다. 시편은 단일칩 실험에서 사용한 것과 같으며 5개의 모사칩 중 3번째에 놓인 것이 나프탈렌 주조 시편이고 나머지 4개는 아크릴로 만든 모조 시편이다. 3차원 배열칩 실험에 사용한 시편은 실제 전자칩과 비슷하게 직육면체 형상이며, 칩 전체를 나프탈렌으로 주조하였다. 시편은 높이 10 mm, 폭 30 mm, 길이 60 mm로 2차원 배열칩과 높이와 폭은 동일하고 길이를 60 mm로 짧게 만든 것이 다르다. 모사칩은 Fig.3과 같이 3줄과 5열로 배치하였으며 그 중 한 개만 나프탈렌으로 주조된 칩이고 나머지는 주조된 칩과 같은 크기로 알루미늄으로 제작한 모조칩이

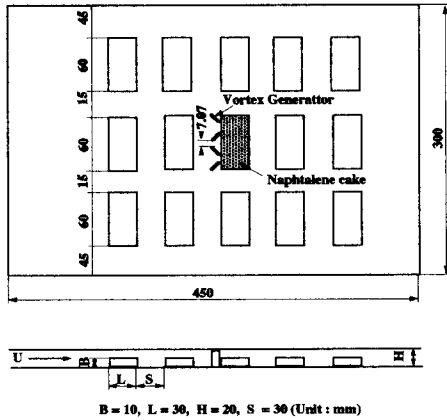


Fig. 3 Schematic of 3-D chip array and vortex generators

다. 구조된 칩은 좌우 대칭이 되는 중앙 줄의 3번째 열에 배치하였으며 구조된 칩 앞에 와류발생기를 설치하였다.

2.3 실험방법 및 데이터 처리

실험에 앞서 풍동에서 일정한 유속을 얻고, 승화 깊이 측정장치의 예열을 위해 풍동과 승화깊이 측정장치를 예비 구동시킨다. 구조된 시편을 용기에서 꺼내 이송 테이블에 고정시킨 후 나프탈렌 표면의 초기 깊이를 측정한다. LVDT에서 나온 신호는 Signal Conditioner에서 직류 신호로 변환되며, 이 전기적 신호는 A/D 변환기에서 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터에 저장된다. 컴퓨터는 깊이측정 센서에서 발생하는 신호의 획득 뿐만 아니라 측정점으로 깊이센서를 이동시키는 제어 역할을 한다. 초기깊이가 측정된 시편을 풍동의 시험부에 고정시켜 약 1시간 동안 유동 중에 노출시킨다. 이때 백금저항온도계를 사용하여 풍동 내 공기온도를 측정하고 피토투관 및 마이크로마노미터를 사용하여 유속을 측정한다. 풍동실험이 끝난 후 풍동에서 시편을 꺼내 이송 테이블에 고정하여 앞서와 같은 방법으로 다시 기준선으로부터 나프탈렌의 깊이를 측정한다.

나프탈렌 표면에서의 나프탈렌의 물질전달율  $\dot{m}$ 은 물질전달계수  $h_m$ 과 시편 표면에서의 나프탈렌 증기밀도  $\rho_{v,w}$ 로 나타내어진다.

$$\dot{m}/A = h_m(\rho_{v,w} - \rho_\infty) \tag{1}$$

여기서  $\rho_\infty$ 은 경계층 밖의 나프탈렌 농도로서 본 실험에서는 무시하였으며, 시편 표면에서의 증기밀

도  $\rho_{v,w}$ 는 이상기체로 가정하여 다음 식으로부터 구하였다.

$$\rho_{v,w} = \frac{P_v}{RT} \tag{2}$$

여기서 온도 T는 풍동 내에서 유동중인 공기의 온도로서 백금저항 온도계를 이용하여 10분 간격으로 측정된 온도를 평균한 값이며, 나프탈렌의 증기압  $P_v$ 는 Ambrose<sup>(10)</sup>의 실험식으로부터 구하였다. 물질전달율은 나프탈렌이 구조된 시편을 일정시간 ( $\Delta\tau$ ) 동안 풍동 내에서 유동장에 노출하였을 때 단위시간 당 승화량을 나타낸 것으로 평균물질전달계수를 구하는 실험에서는 노출 전·후의 무게차이 ( $\Delta m$ )을 정밀저울로 측정하여 다음과 같이 구한다.

$$\dot{m}/A = \Delta m / \Delta\tau A \tag{3}$$

한편, 국소물질전달계수를 구하는 실험에서는 노출 전·후의 각 지점에서의 승화깊이를 측정하고 나프탈렌 고체상태의 밀도( $\rho_s$ )를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$\dot{m}/A = \rho_s \Delta t / \Delta\tau \tag{4}$$

여기서 나프탈렌이 승화한 깊이  $\Delta t$ 는 기준선으로부터 계산한 초기 깊이와 풍동에서 노출한 후 기준선으로부터 다시 계산한 나중 깊이의 차에서 깊이 측정장치에서 측정하는 동안 자연대류에 의하여 승화된 깊이를 뺀 값이다. 측정하는 동안 자연대류에 의해 승화된 양은 측정실에서 일정시간 동안 공기중에 노출시킨 후 처음과 나중 깊이를 측정하여 구하였다.

식 (1)과 식(3)(4)로부터 평균 및 국소 대류물질 전달계수는 다음과 같이 각각 계산한다.

$$\bar{h}_m = \frac{\Delta m / \Delta\tau A}{\rho_{v,w}} \tag{5}$$

$$h_m = \frac{\rho_s \Delta t / \Delta\tau}{\rho_{v,w}} \tag{6}$$

식 (5)로부터 구한 대류물질전달계수를 무차원수인 Sherwood 수로 표시하면 다음과 같다.

$$\bar{Sh} = \bar{h}_m B / D \text{ 혹은 } Sh = h_m B / D \tag{7}$$

Sherwood 수는 열전달에서의 Nusselt 수에 상응하는 무차원수로서 특성길이 B는 모사칩의 높이이며, D는 나프탈렌의 공기 중에서의 물질확산계수

Table 1 Sample of data reduction results

X (mm)	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{v,w}$ (kg/m <sup>3</sup> )	D (m <sup>2</sup> /s)	Sc	$\Delta t$ (mm)	Sh	Nu
1.5	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	7.032e-5	22.23	14.54
3.0	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	7.417e-5	26.01	17.01
4.5	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	7.565e-5	31.70	20.78
6.0	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	8.000e-5	36.55	23.91
7.5	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	8.099e-5	41.19	26.94
9.0	1175	0.36e-3	7.142e-4	2.36	8.334e-5	43.68	28.57

로서 다음과 같은 Cho<sup>(11)</sup>의 상관식을 이용하였다.

$$D = 8.17708 \times 10^{-7} T^{1.983} \quad (\text{at } p=1 \text{ atm}) \quad (8)$$

계산된 Sherwood 수를 다음과 같은 열전달과 물질전달 유사성 관계식<sup>(12)</sup>을 이용하여 Nusselt 수로 환산하여 국소열전달계수를 나타내었다.

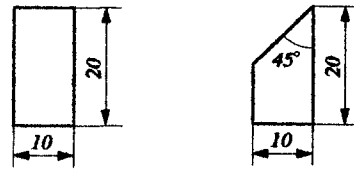
$$Nu/Sh = (hB/k) (h_m B/D) = (Pr/Sc)^n \quad (9)$$

여기서 지수  $n$ 은 기하학적 형상이나 유동조건에 따라 달라질 수 있으나, Igarashi<sup>(13)</sup> 등의 연구결과에 따르면 장애물 주위의 유동에서는 1/3이 일반적으로 사용되는 값이며, 본 연구에서도 이 값을 사용하였다. Table 1은 나프탈렌승화법으로 구한 열전달계수 실험 데이터를 예시한 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

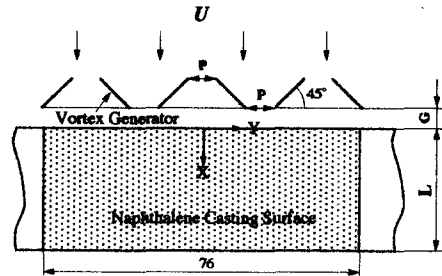
#### 3.1 단일칩에서 와류발생기에 의한 열전달 촉진

와류발생기는 Fig. 4와 같이 폭 10 mm, 높이 20 mm인 사각형 날개와 끝 10 mm 부근을 45°로 절단한 삼각형 날개 두 종류를 사용하였으며, 본 논문에서는 사각날개 와류발생기(rectangular wing type vortex generator)와 삼각날개 와류발생기(delta wing type vortex generator)로 명명하였다. Fig. 5는 Fig. 1에서 보인 모사 전자칩의 나프탈렌 주조면과 와류발생기 설치 위치를 확대한 그림으로, 와류발생기는 유동방향과 45°, 유동채널 바닥면에 직각으로 모사 전자칩 전면에 3쌍을 설치하고 와류발생기의 배치 간격은 폭 10 mm를 45°로 투영한 길이인 7.07 mm로 하였다. 삼각날개 와류발생기의 경우는 뾰족한 쪽이 유동의 후면에 위치하도록 하였다. Fig. 6은 와류발생기에 의해 형성된 와류의 개념도를 그린 것으로, 모든 와류의 진행방향은 유동방향과 일치하지만 와류의 회전방향은 인접하는 와류가 서로 반대인 것을 알 수 있다.



(a) Rectangular wing (b) Delta wing

Fig. 4 Schematic of vortex generators



L = 30 mm, G = 0.0, 2.5, 5.0 mm, P = 7.07 mm

Fig. 5 Location of vortex generators

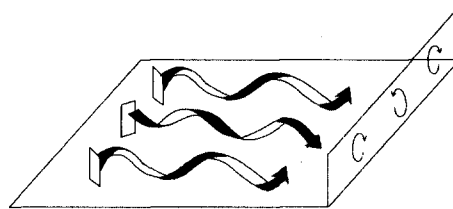


Fig. 6 Schematic of the assumed vortices formed by vortex generators

Fig. 7은 와류발생기가 없는 경우와 와류발생기가 있는 경우의 모사 전자칩 윗면에서의 국소열전달계수의 분포를 비교한 것으로 와류발생기와 칩 사이의 거리  $G=0$  mm인 경우이다. Fig. 7(a)의 와류발생기가 없는 경우는 선단의 박리기포(separation bubble)가 형성되는 곳에서 열전달계수가 약

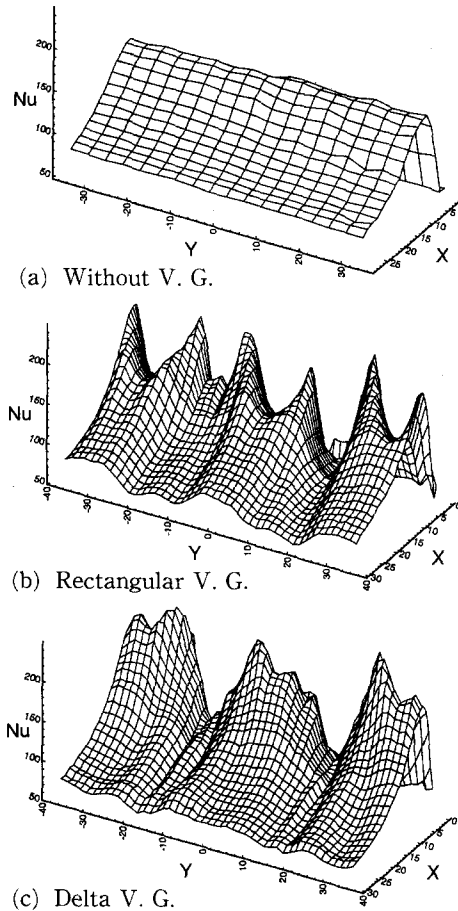


Fig. 7 Distribution of local Nusselt number for single chip

간 감소하다가 그 이후에는 재순환 영역에서 활발한 난류운동 때문에 급격하게 증가하고 주유동의 재부착으로 경계층이 발달하면서 열전달계수가 서서히 감소한다.<sup>(14)</sup> 와류발생기가 없는 경우는 2차원 유동이기 때문에 모사칩 길이방향으로 열전달계수의 변화는 보이지 않는다. 와류발생기가 설치된 경우는 와류에 의한 열전달 촉진의 영향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 와류발생기에 의한 유동의 박리로 유동방향에서 보았을 때 와류발생기 후면에는 저압 영역이 형성되고 전면에는 고압영역이 형성된다. 이러한 압력차에 의해서 주유동에 수직인 방향(Y방향)의 유동이 생겨서 와류가 형성되고 이 와류가 경계층을 교란시켜 열전달을 촉진시킨다. Fig. 7(b)의 사각날개 와류발생기의 경우 3쌍의 와류발생기에서 6개의 와류가 생기며 각각의 와류가

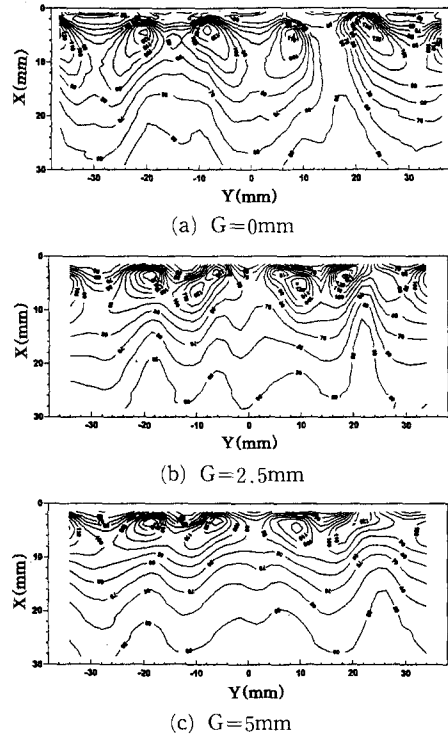


Fig. 8 Contour of local Nusselt number for single chip with rectangular wing vortex generators

열전달을 촉진시켜 열전달계수 분포에서 6개의 산을 형성한다. 산과 산 사이의 골은 한 쌍의 와류의 상호작용에 의해 생긴 것으로 상대적으로 약간 높은 골은 Fig. 6에 보인 바와 같이 한 쌍의 와류가 칩 표면을 향해 내려오면서(downwash) 열전달을 촉진하여 생긴 것이며, 매우 낮은 골은 한쌍의 와류가 칩 표면으로부터 올라오면서(upwash) 경계층을 두껍게 하므로 열전달을 억제하여 생긴 것이다. 이 부근에서의 열전달계수는 와류발생기가 없는 경우에 비해서 훨씬 낮다. Fig. 7(c)의 삼각날개 와류발생기의 경우는 한 쌍의 와류가 칩 표면을 향해 내려 오면서 열전달을 촉진하여 만든 골의 높이가 양 옆의 산과 비슷하여 3개의 큰 봉우리를 형성하고 있으며, 그 외의 영역은 사각날개 와류발생기의 경우와 비슷하다.

Fig. 8과 Fig. 9는 사각날개 와류발생기와 삼각날개 와류발생기를 사용한 경우, 와류발생기와 모사칩 사이의 거리가 열전달 촉진에 미치는 영향을 각각 비교한 것으로 전체적으로 변화하는 경향은 거리와 무관함을 알 수 있다. 그러나 자세하게 관찰

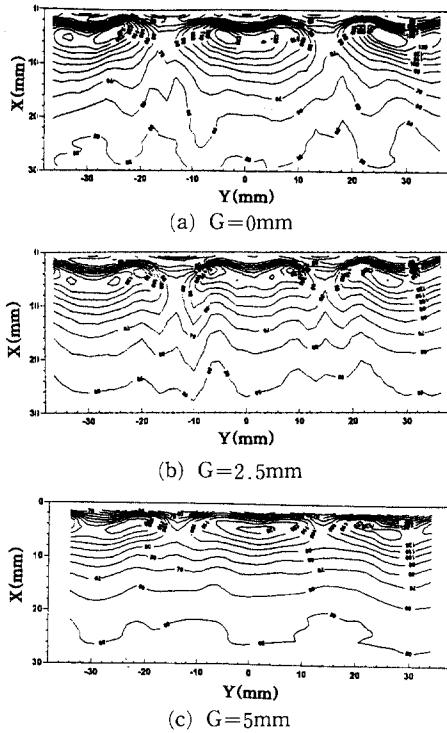


Fig. 9 Contour of local Nusselt number for single chip with delta wing vortex generators

해 보면 와류발생기가 칩에 가까울수록 와류의 영향이 칩 후면까지 미치고, 와류발생기가 칩에서 멀리 떨어질수록 와류의 형성이 일찍 일어나므로 전자칩 윗면의 열전달에 미치는 와류의 영향은 약간 약해지는 것으로 보여진다. 또한 두 경우 모두 한 쌍의 와류가 칩 표면을 향해 내려오는 쪽으로 모아지는 것을 볼 수 있으며, Fig. 9의 삼각날개 와류발생기가 Fig. 8의 사각날개 와류발생기에 비해서 훨씬 앞쪽에서 모아지는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 국소열전달계수를 유동에 수직한 방향(Y 방향)으로 평균하여 구한 평균열전달계수를 비교한 것으로 칩 앞부분에서 급격히 증가하여 최대점에 도달한 후 칩 뒷부분으로 가면서 점차 감소하는 경향은 와류발생기의 설치 여부와 상관없이 동일하다. 그러나 열전달계수 값은 차이가 있으며 칩 앞부분에서는 와류의 열전달 촉진현상이 뚜렷하게 나타나지만 뒷부분에서는 와류발생기가 없는 경우에 비해서 열전달계수가 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 와류발생기에 의해 생성된 와류가 하류로 가면서 경계층의 발달과 함께 칩 표면에서 점점 멀

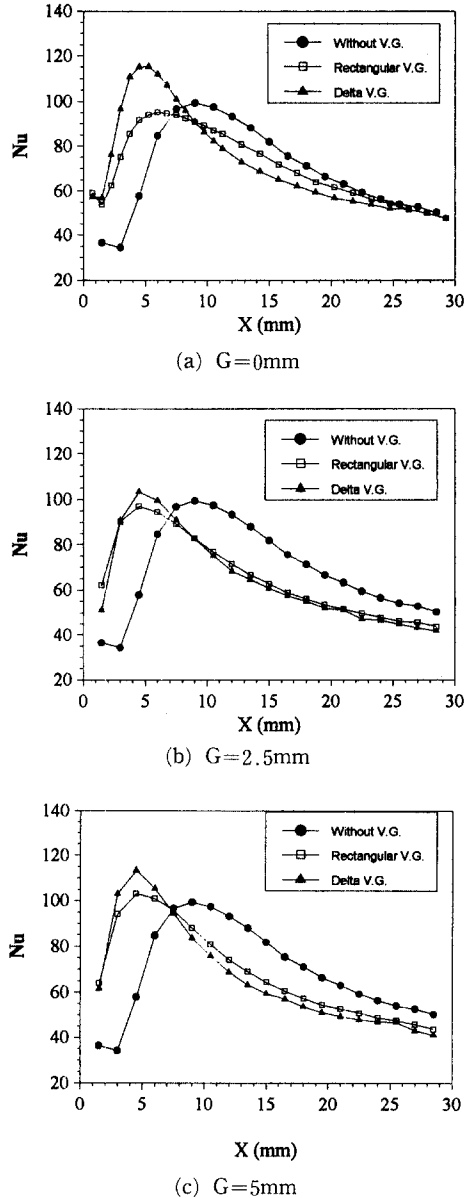


Fig. 10 Comparison of spanwise-average Nusselt number for single chip

어져서 와류의 영향이 감소되고, 와류발생기가 없는 경우에 비하여 경계층이 더 두꺼워지기 때문에 생각된다. 칩과 와류발생기 사이의 간격은 평균 열전달계수의 분포와 최대값의 위치에는 영향을 미치지 않으나 최대값의 크기에는 약간의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

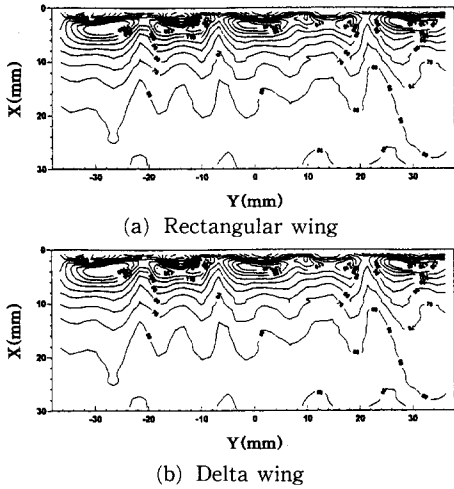


Fig. 11 Contour of local Nusselt number for 2-D chip array with vortex generators

3.2 배열칩에서 와류발생기에 의한 열전달 촉진 배열칩의 경우 2차원 배열칩과 3차원 배열칩에 대해 와류발생기의 열전달 촉진 효과를 고려하였다. 2차원 배열칩 실험에서 와류발생기는 단일칩 실험에서와 동일한 간격으로 3쌍을 설치하였으며 와류발생기와 칩과의 간격은 단일칩 실험에서 열전달 촉진 효과가 가장 좋은  $G=0$  mm로 고정하였다. Fig. 11은 사각날개 와류발생기와 삼각날개 와류발생기를 설치한 경우 국소 Nusselt 수의 분포를 나타낸 것으로 칩과 칩사이의 간격은  $S/L=1.0$ 인 경우이다. 두 경우 모두 칩 앞부분에서 와류발생기에 의한 열전달 촉진 효과가 나타나고, 뒷부분으로 가면서 와류의 영향이 소멸되는 것은 단일칩의 경우와 비슷하다. 그러나 단일칩과는 다르게 사각날개 와류발생기의 열전달 촉진이 삼각날개 와류발생기 보다 뚜렷하게 나타나고 있다.

Fig. 12는 국소 Nusselt 수를 유동에 수직인 방향 (Y 방향)으로 평균한 평균 Nusselt 수를 칩과 칩사이의 간격을 변화시켜 가면서 비교한 것이다. 와류발생기가 없을 때는 선단의 일부 영역을 제외하고는 경계층 유동에서와 같이 칩 후면으로 갈수록 경계층이 발달하여 열전달계수가 감소하는 경향을 보이고 있다.  $S/L=1$ 에서는 선단에서의 박리에 의한 열전달계수의 증가영역이 뚜렷하게 나타나지만, 칩과 칩 사이의 간격이 좁아질수록 박리 영역이 좁아지며 ( $S/L=2/3$ ),  $S/L=1/3$ 에서는 전자칩 윗면에서 유동의 박리가 일어나지 않는 것처럼 보인다.

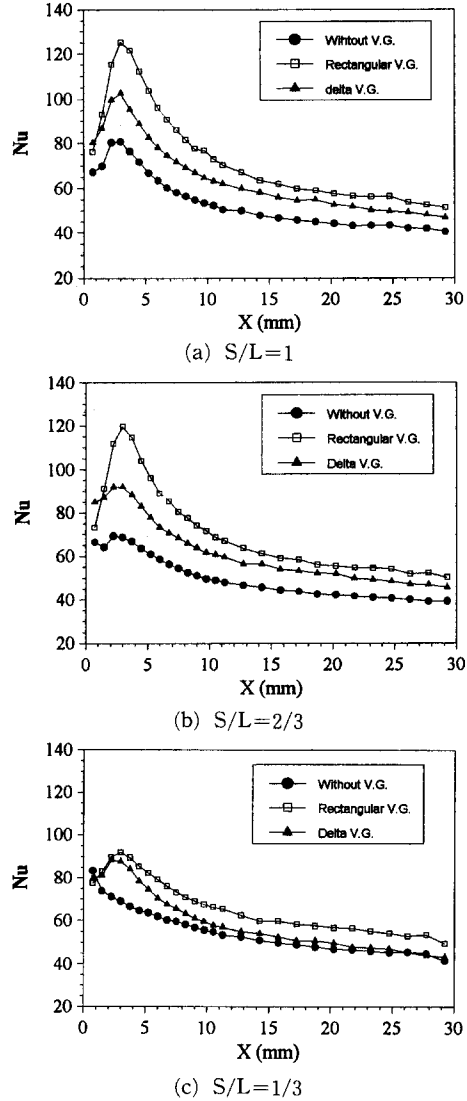


Fig. 12 Comparison of spanwise-average Nusselt number for 2-D chip array

와류발생기가 있을 때는 단일칩과는 다르게 와류에 의한 열전달 촉진 효과가 칩 윗면 전체에서 나타난다. 단일칩의 경우 칩 전면을 따라 상승하는 유동에 의해 와류가 칩 윗면에서 점점 멀어지지만, 배열칩의 경우 완전히 발달된 유동영역에 놓인 칩에서는 칩 전면을 따라 상승하는 유동이 단일칩보다 약하기 때문에 와류의 상승이 더 적어서 와류에 의한 열전달 촉진이 지속되는 것으로 생각된다. 여기서 완전히 발달된 유동이란 배열칩을 지나는 유체의 속도분포가 주기적으로 동일해지는 경우를 말하



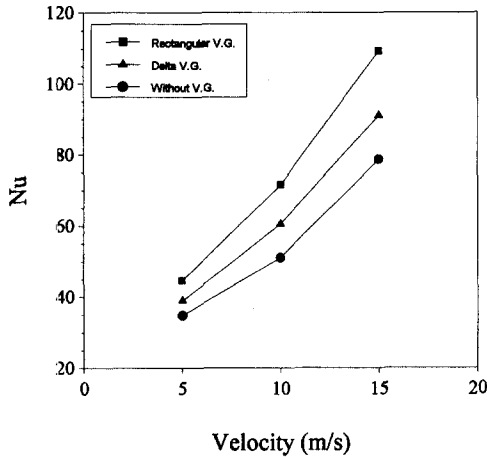


Fig. 13 Comparison of overall average Nusselt number for 2-D chip array

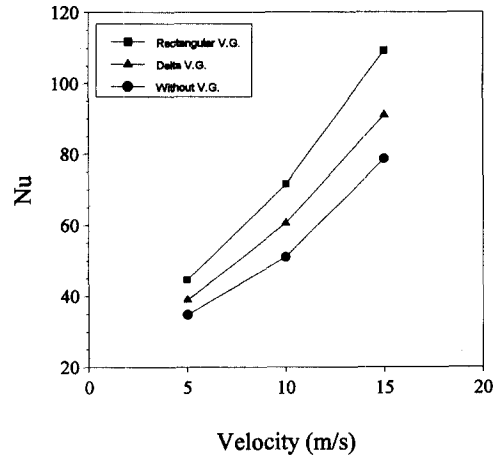


Fig. 14 Comparison of overall average Nusselt number for 3-D chip array

며, 선행 연구자들의 연구결과<sup>(4)</sup>에 의하면 3열 이하에기 나타나는 것으로 알려져 있다. 칩 사이의 간격 변화에 따른 평균열전달계수의 변화를 살펴보면 S/L=1과 S/L=2/3의 경우는 와류에 의한 평균열전달계수의 증가가 비슷하나 Fig. 12(c)의 S/L=1/3인 경우는 앞 두 경우와 비교해서 열전달 촉진의 폭이 훨씬 작다. 또한 세가지 경우 칩 선단의 일부영역을 제외하고는 모두 사각날개 와류발생기가 삼각날개 와류발생기 보다 열전달 촉진 효과가 훨씬 우수함을 알 수 있다. Fig. 13는 2차원 배열 칩 윗면에서의 국소열전달계수를 전 표면에 대해서 평균하여 나타낸 것으로, 공기의 유동속도에 상관 없이 와류발생기에 의한 열전달 촉진 효과는 뚜렷하다. 사각날개 와류발생기를 설치했을 때는 와류발생기가 없을 때보다 30~50 % 정도 평균열전달 계수가 증가하였고, 삼각날개 와류발생기를 설치했을 때는 15~20 % 정도 평균열전달계수가 증가하였다.

와류발생기와 시편사이의 거리를 0 mm, 와류발생기 사이의 간격을 7.07 mm로 하고, 와류발생기 두 쌍을 유동방향과 45도 각도로 설치하였다. 이 경우는 중량법을 사용하여 식 (5)로 평균물질전달 계수를 구하였으며, 주조된 칩의 중량은 20 g 정도 이고 1시간 동안 풍동에 노출하였을 때 승화된 질량은 0.1~0.2 g로 정밀저울의 측정정도 0.1 mg의 1000배 정도이다. Fig. 14는 풍속을 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s로 변화시켰을 때 모사 전자칩 전체표면(밀면을 제외한 5면)에서의 평균열전달계수의 변

화를 나타낸 것이다. 와류발생기가 설치된 경우가 없는 경우에 비해서 열전달계수가 높으며, 변화하는 경향은 2차원 배열칩의 경우와 비슷하다. 그러나 열전달 촉진 효과는 본 실험의 범위에서는 3차원 배열칩이 2차원 배열칩보다 훨씬 미약한 것으로 나타났다. 그 이유는 와류의 영향은 칩 윗면에서만 나타나는데 3차원 배열칩의 경우 밀면을 제외한 모사칩 전체 표면에 대한 평균값을 구했기 때문이다. 3차원 배열칩의 경우도 칩 윗면에서만 평균값을 구하면 2차원 배열칩과 비슷한 결과가 나올 것으로 생각되나,<sup>(14)</sup> 중량법의 경우 칩 윗면에서의 평균열전달계수를 별도로 구할 수 없으므로 2차원 배열칩과 직접 비교할 수 없었다. 사각날개 와류발생기의 경우 12~18 %, 삼각날개 와류발생기의 경우 6~9 % 정도 평균열전달계수가 증가하였다.

#### 4. 결 론

단일칩과 배열칩에 대하여 와류발생기가 있을 때와 없을 때의 평균열전달계수와 국소열전달계수를 나프탈렌승화법으로 측정하여 와류발생기의 열전달 촉진 효과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 단일칩의 경우 와류발생기가 있을 때 칩의 앞부분에서는 와류의 열전달 촉진 현상이 뚜렷하게 나타나지만 칩 뒷부분에서는 와류발생기가 없을 때보다 열전달계수가 오히려 감소하는 경향을 보인다. 그 이유는 와류발생기에 의해 생성된 와류가 하류로 가면서 경계층의 발달과 함께 칩 표면에서

점점 멀어지기 때문에 생각된다.

(2) 단일칩의 경우 와류발생기의 모양과 와류발생기와 칩 사이의 간격 변화는 국부적인 열전달계수의 분포에는 영향을 미치지만 유동방향의 평균열전달계수는 모두 비슷하다.

(3) 배열칩의 경우는 단일칩과는 달리 와류발생기에 의한 열전달 촉진 효과가 칩 윗면 전체에서 나타나며, 이는 완전히 발달된 유동영역에 놓인 칩에서는 와류의 상승이 미약하기 때문이다.

(4) 배열칩의 경우 칩과 칩사이의 간격이 좁아질수록 와류의 열전달 촉진 효과가 감소하며, 모든 조건에서 사각날개 와류발생기가 삼각날개 와류발생기보다 열전달 촉진 효과가 우수하다.

(5) 3차원 배열칩은 2차원 배열칩과 비슷한 경향을 보이고 있으나 열전달 촉진효과는 미약하며, 그 이유는 와류의 영향은 칩 윗면에서만 나타나는데 3차원 배열칩의 경우 칩 전체표면에 대해서 평균열전달계수를 계산했기 때문이다.

## 후 기

본 연구는 1994년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Aung, W., 1988, *Cooling Technology for Electronic Equipment*, Hemisphere Publishing Co.
- (2) Matsushima, H. and Yanagida, T., 1991, "Heat Transfer from Finned LSI Packages in a Channel between Circuit Boards," *Trans. of JSME Ser. B*, Vol. 57, No. 537, pp. 1808~1812.
- (3) Sparrow, E. M., Vemuri, S. B. and Kadle, D. S., 1983, "Enhanced and Local Heat Transfer, Pressure Drop, and Flow Visualization for Arrays of Block-like Electronic Components," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 26, No. 5, pp. 689~699.
- (4) Peterson, G. P. and Ortega, A., 1990, "Thermal Control of Electronic Equipment and Devices," *Advances in Heat Transfer*, Vol. 20, pp. 181~314.
- (5) Goldstein, R. J., Yoo, S. Y. and Chung, M. K., 1990, "Convective Mass Transfer from a Square Cylinder and Its Base Plate," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 33, No. 1, pp. 9~18.
- (6) Yoo, S. Y., Goldstein, R. J. and Chung, M. K., 1993, "Effects of Angle of Attack on the Mass Transfer from a Square Cylinder and Its Base Plate," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, No. 2, pp. 371~381.
- (7) Bergles, A. E., 1990, *Heat Transfer in Electronic and Microelectronic Equipment*, Hemisphere Publishing Co.
- (8) Wirtz, R. A. and McAuliffe, W., 1989, "Experimental Modelling of Convection Downstream from an Electronic Package Row," *J. of Electronic Packaging*, Vol. 111, pp. 207~212.
- (9) Hunt, J. C. R., Abell, C. J., Peterka, J. A. and Woo, H., 1978, "Kinematic Studies of the Flows around Free or Surface-Mounted Obstacles," *J. of Fluid Mechanics*, Vol. 86, pp. 179~200.
- (10) Ambrose, D., Lawrenson, I. J. and Sparke, C. H., 1975, "The Vapor Pressure of Naphthalene," *J. of Chemical Thermodynamics*, Vol. 7, pp. 1173~1176.
- (11) Cho, K., 1989, "Measurement of Diffusion Coefficient of Naphthalene into Air," Ph. D Thesis, State University of New York.
- (12) 유성연, 노종광, 정장환, 정문기, 1993, "열전달과 물질전달의 유사성에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, 제17권, 제10호, pp. 2624~2633.
- (13) Igarashi, T., 1985, "Heat Transfer from a Square Prism to an Air Stream," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 28, No. 1, pp. 175~181.
- (14) Yoo, S. Y., Park, J. H. and Kwark, Y. M., 1996, "An Experimental Study on Three Dimensional Heat Transfer Characteristics of Simulated Electronic Chips," *KSME Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 213~222.