

공기온도가 열전도성 기판 위에 탑재된 군용 전자칩 냉각에 미치는 영향

The effect of inlet air temperature for the cooling of the military electronic chip on the thermal conductive board

이진호*
Lee, Jin-Ho

ABSTRACT

The conjugate heat transfer from the simulated module in a horizontal channel with the variation of inlet air temperature is experimentally investigated. The aim of this study is to estimate temperature difference between a module and inlet air. This study is performed with the variation of parameters that are inlet air temperature($T_i = 25 \sim 55^\circ\text{C}$), thermal resistance($R_c = 0.05, 4.11, 158 \text{ K/W}$), inlet air velocity($V_i = 0.1 \sim 1.5 \text{ m/s}$), and input power($Q = 3, 7 \text{ W}$). The results show that the effect of inlet air temperature is little, at the case of using conductive board. And input power was most effective parameter on the temperature difference between module and inlet air.

주요기술용어 : inlet air temperature(유입공기온도), thermal resistance(열저항), module(모듈), input power(입력열량), horizontal channel(수평채널)

1. 서론

컴퓨터 내 CPU칩(Central Processing Unit chip)의 냉각방식은 냉각성능이나 경제성 등의 이유로 냉각 팬(fan)을 이용한 강제대류 공기냉각방식을 사용하고 있다.

1971년 4비트 마이크로 프로세서(micro processor)가 개발된 이래로 프로세싱기술은 비약적으로 발전

하였다. 그 중 CPU는 초기에 SCM(Single Chip Module)으로 제작되었고, 점차 MCM(Multi Chip Module)형태로 발전하였다. 그 결과 처리속도 및 기능이 향상되었고, 고집적화로 인한 칩당 열밀도가 크게 증가하였다. 이후 1980년대 말부터 1990년대 초기에 등장한 인텔사의 80386칩과 80486칩은 CPU칩 위에 방열핀(fin)만을 부착하여도 이들 칩에서 발산되는 열을 효과적으로 외부로 발산할 수 있었다. 그러나 Pentium III 및 IV와 같은 CPU에는 방열핀과 냉각 팬을 동시에 사용한 국부 강제대류방식으로 칩의 냉

* 육군 3사관학교 기계공학과 교수

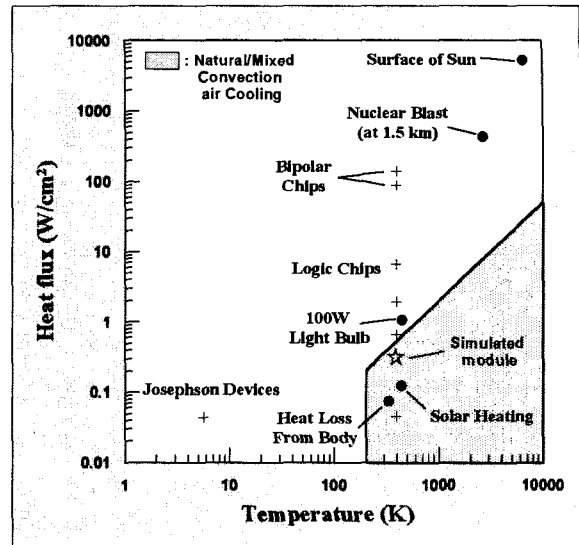
각문제를 해결하고 있다.

최근 멀티미디어와 네트워크의 발달로 PC의 사용 분야가 고기능, 다기능화되면서, VLSI칩이 실장된 확장기판을 기존 PC 내에 추가로 장착하고 있다. 이들 확장형 기판에 실장된 모듈화된 칩(모듈)으로부터 발생하는 열은 PC내의 다른 전자부품에 많은 열적 영향을 준다. 따라서 이들 모듈만 냉각시킬 수 있는 기존의 국부냉각방식은 시스템의 확장성과 공간 활용성이 나쁘다. 뿐만 아니라 이러한 방식은 시스템 내에서 여러 개의 냉각팬이 작동함으로써 시스템이 불안정해지고, 전력소비가 증가되며, 소음발생, 먼지 유발, 내구성 저하 등 많은 문제점이 발생한다. 그리하여 종래의 국부냉각방식으로는 확장보드에서 발생하는 열을 효과적으로 방열시킬 수 없기 때문에 새로운 냉각방식이 요구된다.

전자부품이 정상작동을 하려면 일정 온도이하로 유지시키는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 확장기판에 실장된 높은 열밀도를 갖는 모듈을 효과적으로 냉각시킬 수 있는 열전도성 기판에 의한 열 분산 방식에 대해 조사하였다. 이 때 칩의 온도는 Nelson 등^[1]에 의해 연구된 바와 같이 칩의 수명이나 신뢰도에 큰 영향을 준다. 그들은 칩의 작동온도가 설계온도보다 10°C 높아짐에 따라 칩의 수명은 약 50% 이상씩 감소한다고 하였다.

그림 1은 전자장비에 사용되는 다양한 칩의 작동온도와 표면 열유속(heat flux)의 관계를 나타낸 그림이다.^[3]

그림에서 보는 바와 같이 최근 사용되고 있는 전자 칩들은 열유속이 매우 커서 혼합 및 자연대류 공기냉각방식으로는 적정온도 이하로의 냉각이 매우 어렵거나 불가능함을 알 수 있다. 그에 비해 확장기판을 이용한 비교적 작은 열유속을 갖는 VLSI칩은 혼합 및



[그림 1] Heat flux levels vs. temperature levels for electronic and other applications^[3]

자연대류 공기냉각방식으로 일부 해결이 가능하다. 그러나 그림에서와 같이 냉각방식의 경계선에 위치하기 때문에 시스템의 안정성이 떨어진다.

VLSI칩과 같은 열유속을 가지는 모사모듈(simulated module)도 이 냉각방식으로는 적정온도 이하로 유지시키기가 매우 어렵다. 그리하여 대부분은 국부냉각 또는 액체냉각 등으로 냉각시키고 있다. 이러한 냉각방식들은 냉각부하가 크며 경제성이 떨어지고 시스템의 안정성이 떨어진다. 따라서 열전도성 기판을 사용한 혼합 및 자연대류 공기냉각방식이 필요하다. 특히 열악한 환경에 노출된 전자장비는 본 연구에서 제안하는 냉각방식이 적합할 것으로 예측된다.

칩이 고집적화 되어 I/O핀의 수가 증가할수록 기판과 칩의 접촉면적은 넓어진다. 따라서 칩에서 기판으로의 전도열전달이 냉각의 중요한 변수가 된다.

전자장치 냉각에서 복합열전달의 중요성이 부각되기 시작하면서 최근까지 많은 연구가 수행되어 왔다. Graham 등^[4]은 최초로 3차원 모듈에 대한 복합열전

달의 중요성을 강조하였다. Park 등^[6], Nakayama 등^[6]은 I/O핀의 열저항을 이용하여 기판으로의 전도열전달의 중요함을 밝혔으며, 김의광 등^[7]은 수직 채널내에서 단일 열원에 대한 복합열전달 특성을 연구하여 블록내의 최대온도에 미치는 레이놀즈수(Re), 그라시호프수(Gr) 및 열전도율비 등의 상대적 영향력을 고찰하였다. 유갑중 등^[8], 박상희 등^[9], 이진호 등^[10]은 혼합대류 유동내의 채널에 부착된 모듈로부터 공기류로의 복합열전달에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 특히 기존의 연구에서는 공기의 온도변화에 따른 냉각특성에 대한 연구는 매우 미흡하였다.

군용 전자장비는 민수용 전자장비에 비해 작동환경이 훨씬 더 열악하다. 군용 전자장비는 미국 작전환경 관련 시험표준서(MIL-STD-810E)^[12]를 기준으로 시험 및 제작하고 있다. 표준서에서 정한 정상작동 한계 온도는 하절기에는 49℃까지, 동절기에는 -32℃까지로 정하고 있다. 본 연구에서는 모듈냉각에 있어 문제가 되는 하절기 최고 온도를 기준으로 실험조건을 정하였다.^[13]

본 연구에서는 열악한 환경에서 시스템의 열안정성을 유지하면서도 냉각성능을 높일 수 있는 혼합 및 복합대류 열전달에 의한 모듈의 냉각 특성을 실험적 방법으로 조사하였다. 또한 고온 공기 속에 노출되기 쉬운 특수장비의 방열설계시 중요한 데이터를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

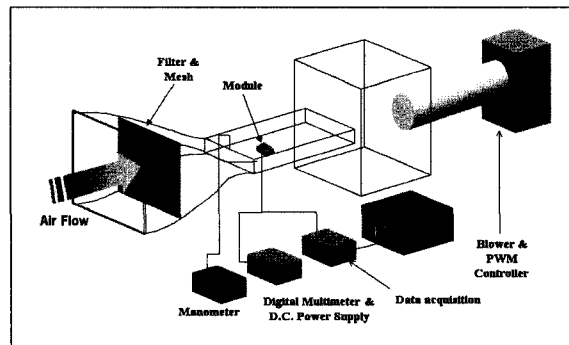
2.1 실험장치

그림 2는 본 실험에서 사용한 장치들의 개략도를 나타낸 그림이다.

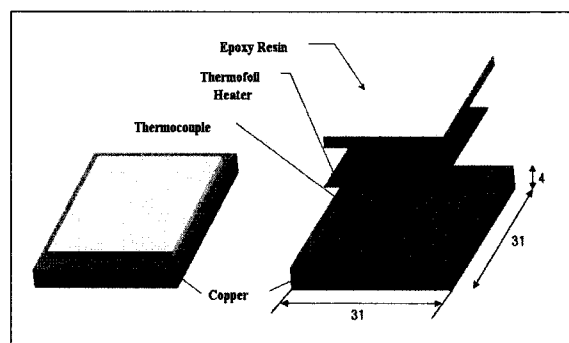
풍동 후단부에 설치된 블로어(LG, KM 103HK3)에 의하여 공기가 흡입방식(suction type)으로 시험부에 유입되는데, 유입공기속도는 PWM controller (SAMSUNG, CIMR - 23P7G3)로 조절하였다. 이때 유입공기속도는 채널 입구에서 3cm 떨어진 곳의 채널중앙부에 설치된 피토크관(pitot tube)과 마이크로마노미터(micro manometer, FCO 510)로 측정하였다. 또한 시험부 내의 균일유동(uniform flow)을 얻기 위해 입구측에 filter & mesh와 honeycomb을 설치하였다.

그림 3은 초고밀도 집적회로 칩(VLSI)의 형상을 묘사한 모듈을 나타낸 그림이다.

이 묘사모듈은 두께 4mm의 동판을 31mm×31mm



[그림 2] Experimental apparatus

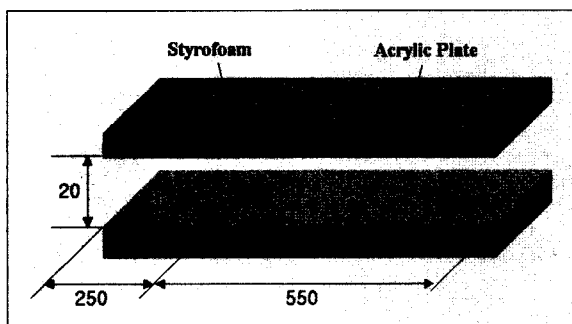


[그림 3] Geometry of a module

의 정방향으로 만들고, 깊이 3mm의 정사각형 자리면을 가공한 다음, 크기가 25.4mm×25.4mm×0.5mm이고 저항 147Ω(±0.01Ω)의 포일히터(OMEGA, Model No. KHLV 101/5P)를 부착하여 제작하였다. 이때 동판면과 포일 히터 사이의 열저항을 줄이기 위하여 고전도를 접착제(OMEGA, OT100 & OB101)로 접착하였으며, 모듈 후면으로의 열손실을 줄이기 위하여 에폭시 수지를 포일 히터의 후면에 부착하였다. 포일히터의 공급 전원은 직류전원 공급장치(HP, E3611A)와 Digital Multimeter(EDM - 4750, HP 8842A)로 이루어진다.

모듈 표면의 온도측정을 위해서 K형 열전대를 모듈내부 4곳에 설치하였고, 시험부로 유입되는 공기의 온도를 측정하기 위해 K형 열전대를 시험부 입구 5개 지점에 설치하였다. 또한 Data Acquisition (FLUKE, NetDAQ 2645A)과 PC를 이용하여 측정 데이터를 효율적으로 처리하였다.

그림 4는 채널 밑면에 모듈이 설치된 시험부를 나타낸 그림이다. 시험부는 두께 20mm의 투명 아크릴판(Acrylic Plate)으로 800mm×400mm×20mm 크기로 제작하였다. 그리고 모듈이 설치된 기판(Board)의 크기는 800mm×400mm이고, 두께는 아크릴판과 동판이 각각 5mm, 0.5mm이다. 모듈은 시



[그림 4] Schematic of test section

험부 입구에서 정확히 250mm 떨어진 중앙에 위치하도록 하였다.

2.2 실험방법

수평 받침대와 수준기를 이용하여 시험부의 상하 평판면이 정확히 수평이 되도록 하였다. 그리고 풍동 입구로 유입되는 공기의 온도는 설정온도 ±0.5°C 이내로 유지하였다. 이때 모든 실험장치들은 전자기적 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 동선으로 접지를 하였다.

본 실험은 모듈표면에서의 대류열전달 계수의 측정을 위해 기판으로의 열전달이 없는 혼합대류 열전달과 기판으로의 열전달과 혼합대류 열전달이 동시에 발생하는 복합대류 열전달로 구분하여 실험하였다.

혼합대류 열전달만 일어나는 경우 모듈지지부를 높이 3mm인 스테인리스 바늘($R_c=158\text{K/W}$)로 만들고, 기판은 두께가 5mm인 아크릴판을 사용하여 모듈에서 발생하는 열이 기판으로 전도되는 것을 최소화하였다. 한편 혼합 및 복합열전달 조건에서는 순동($R_c=0.05\text{K/W}$), 스테인리스 합금 304($R_c=4.11\text{K/W}$)로 다른

[표 1] Experimental conditions

variable	condition
input power(Q)	3, 7 W
inlet air velocity(V_i)	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 m/s
inlet air temperature(T_i)	25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 °C
module support resistance(R_c)	0.05, 4.11, 158 K/W
Reynolds number(Re)	200 ~ 3000

열저항을 가지는 두 종류의 모듈지지부를 제작하여 두께 0.5mm의 동판 위에 탑재하였다. 이 때 모듈과 모듈지지부 및 지지부와 기판의 접촉부는 열저항을 줄이기 위해 고전도율 분말(OMEGA, OT 201)로 부착하였다.

본 실험의 범위는 표 1과 같다.

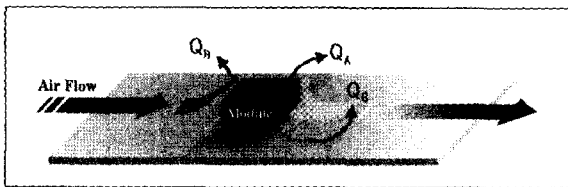
3. 데이터의 계산

채널에 유입되는 공기의 물성치는 식 (1)의 막온도 (film temperature)를 기준으로 계산하였다.

$$T_f = \frac{(T_m + T_i)}{2} \quad (1)$$

여기서 T_m 은 그림 3에서와 같이 모듈 내부의 4개 지점에 열전대를 설치한 후, 그 측정값을 평균한 값이다. T_i 는 채널 내로 유입되는 공기의 온도로서 채널 입구에서 5개의 열전대를 통해 측정된 평균값이다. 주위공기의 물성치들은 ASHRAE^[14]에서 제시된 값을 이용하여 20°C에서 100°C까지의 온도범위에 대한 다항식으로 구하여 사용하였다.

열전도성 기판위에 장착된 모사모듈의 열전달 경로는 그림 5와 같다.



[그림 5] Heat transfer paths from the simulated module.

그림에서 보는 바와 같이 모듈로부터의 발열량 Q 는 표면에서 유입공기로 직접 전해지는 대류열전달조성 Q_A 와 I/O핀을 통해 기판으로 전도된 후 다시 유입공기로 발산되는 복합열전달조성 Q_B 및 모듈 표면에서 주위로의 복사열전달조성 Q_R 로 생각된다^[2]. 모듈로부터의 에너지 평형관계식은 식 (2)와 같다.

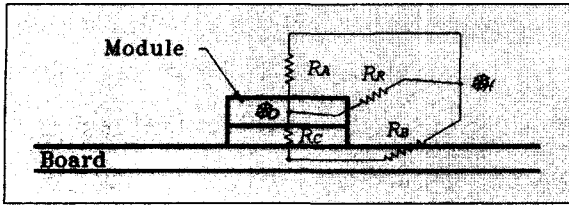
$$Q = Q_A + Q_B + Q_R \quad (2)$$

식(2)에서 모듈에서 전원공급선으로의 전도에 의한 열손실량과 열전대를 통한 열손실량은 측정결과 총 발열량의 0.2 ~ 0.4% 이내로 무시하였다. 그리고 모듈표면에서 복사에 의한 열전달량은 식(3)으로 계산하였다.

$$Q_R = \sigma \epsilon A_m (T_m^4 - T_i^4) \quad (3)$$

여기서 Stefan-Boltzmann 상수 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ 이고, 잘 연마된 동판의 방사율 $\epsilon = 0.03$, 모듈의 표면적 $A_m = 0.001457 \text{ m}^2$, T_m 은 모듈의 평균온도(K), T_i 는 주위 공기의 평균온도(K)이다. 백창인 등^[15]의 연구에 의하면 Q_R 값은 $\epsilon = 1$ 일 때 전체 열량의 28%를 차지한다고 하였다. 모듈표면에서의 방사율은 $0.03 \ll 1$ 이므로 모듈의 총발열량 중에서 복사열전달의 영향은 최대 5%이내로 계산되었다.

그림 6은 모듈로부터 주위공기로의 열전달 경로를 열저항의 개념을 도입한 열회로를 나타낸 그림이다. 그림에서 모듈에서 공기로의 대류열저항 R_A 와 I/O pin을 모사한 모듈지지부의 열저항 R_C 와 기판표면에서 공기로의 열저항 R_B 로 나타낼 수 있다. 이때 모



[그림 6] Thermal resistances for the simulated module

둘에서 주위공기로의 총열저항 R_t 는 식(4)로 계산되고, R_t 를 무차원화하면 식(5)와 같이 무차원 열저항 R_t^* 로 나타낼 수 있다.

$$R_t = \frac{R_A R_R (R_B + R_C)}{R_A (R_B + R_C + R_R) + R_R (R_B + R_C)} \quad (4)$$

$$= \frac{T_m - T_i}{Q - Q_{loss}} = \frac{\Delta T}{Q - Q_{loss}}$$

$$R_t^* = kLR_t = \frac{kL(T_m - T_i)}{Q - Q_{loss}} \quad (5)$$

여기서 L 은 모듈길이, k 는 공기의 열전도율이다.

채널의 수력직경을 기준으로 한 레이놀즈수와 그라시호프수는 각각 식(6)으로 계산하였다. 또한 모듈의 길이를 기준으로 한 수정 레이놀즈수와 수정 그라시호프수는 각각 식(7)과 (8)로 계산하였다.

$$Re = \frac{V_i \cdot D_h}{\nu} \quad (6)$$

$$Re^* = \frac{V_i \cdot L}{\nu} \quad (7)$$

$$Gr^* = \frac{g \beta Q L^2}{k \nu^2} \quad (8)$$

이때 V_i 는 유입공기속도이고, D_h 는 수력직경, ν 는 공기의 동점성계수, g 는 중력가속도, β 는 열팽창계수이다.

모듈표면에서 대류열전달에 의한 냉각효과를 평가할 수 있는 평균 누셀트수는 식 (9)으로 계산되었으며, 모듈지지부의 열저항은 식(10)으로 계산하였다.

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (9)$$

$$R_c = \frac{h_c}{k_c \cdot S} \quad (10)$$

여기서 h_c ($= 0.003$ m)는 모듈지지부의 높이, S 는 모듈과 지지부와의 접촉면적(m^2)이고, k_c 는 모듈지지부의 열전도율이다.

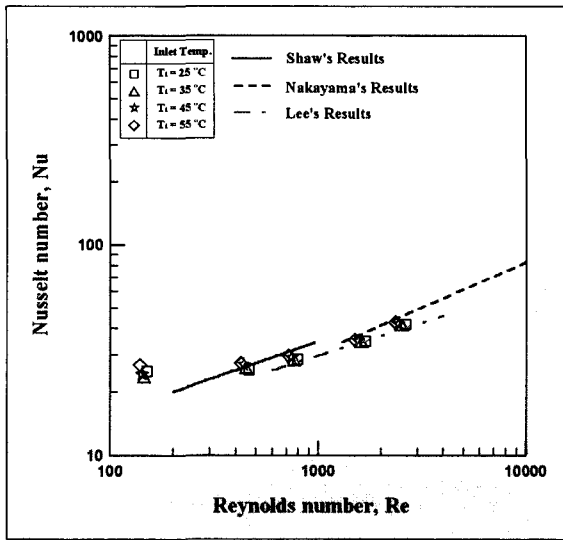
4. 실험결과 및 고찰

그림 7은 본 실험의 결과를 Shaw 등^[12], Nakayama 등^[6]과 Lee 등^[10]의 실험 결과와 비교하기 위해 나타낸 그림이다.

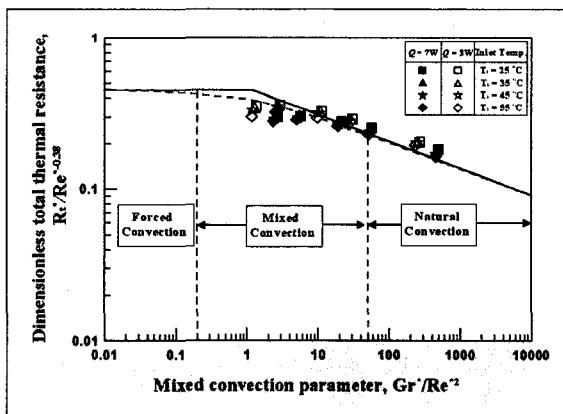
본 실험의 결과와 Nakayama 등의 결과와는 최대 오차 6%이내 ($1500 \leq Re < 3000$), Shaw 등과는 오차 4%이내 ($200 \leq Re < 900$)였다. 또한, Lee 등의 결과와는 $Re = 600 \sim 1000$ 에서는 5%이내로, $Re = 1000 \sim 3000$ 에서는 1%이내로 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 8은 입력열량이 각각 3W, 7W이고, 입구 공기 온도가 25, 35, 45, 55°C일 때, 혼합대류 파라미터

Gr/Re^{*2} 의 변화에 따른 모듈의 무차원 총열저항 $R_t^*/Re^{*-0.38}$ 의 관계를 나타낸 그림이다.



[그림 7] Relations between Reynolds number and Nusselt number



[그림 8] Dimensionless thermal resistance against the buoyancy-to-forced convection parameter^[3]

실선은 Sikka^[3]의 연구결과이고, 점선은 Churchill 등^[16]의 연구결과인데, 본 연구결과와 최대 11%이내로 비교적 잘 일치한다.

Gr^*/Re^{*2} 가 증가함에 따라 $R_t^*/Re^{*-0.38}$ 는 강제대류영역 ($Gr^*/Re^{*2} \leq 0.2$)에서 거의 일정하지만, 혼합대류 ($0.2 < Gr^*/Re^{*2} \leq 50$)와 자연대류 영

역 ($Gr^*/Re^{*2} > 50$)에서는 선형적으로 감소한다.

이는 열저항이 주로 구동력에 의해 결정되는데, 공기의 속도가 빠른 강제대류 영역에서는 공기의 구동력이 부력에 비해 매우 크기 때문이다. 반면에 공기의 속도가 작은 경우에는 전자칩의 총열저항은 부력의 크기로 결정되기 때문으로 판단된다.

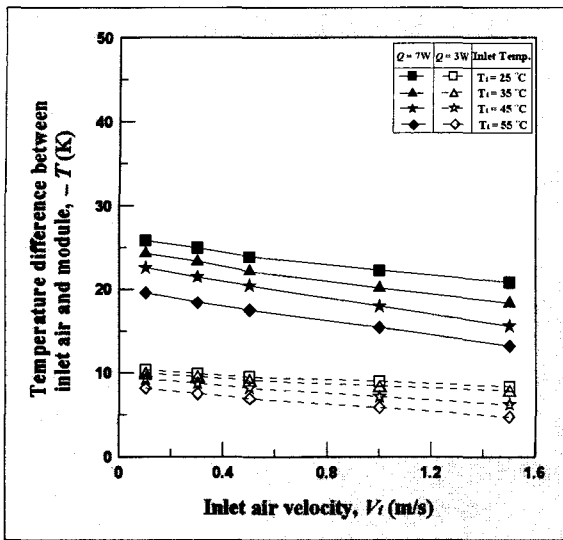
레이놀즈수가 2000 이상 ($V_i \geq$ 약 1.0 m/s)에서는 강제대류 열전달로 판단된다. 그러나 레이놀즈수가 600 ~ 900에서는 부력의 영향을 받는 자연대류와 강제대류 열전달이 동시에 발생하는 혼합대류영역을 알 수 있다. 기존 연구와 비교해 볼 때, 본 연구는 대부분 혼합대류영역 내에서 이루어졌음을 알 수 있다.

그림 9 (a), (b)는 모듈지지부의 열저항 R_c 가 0.05, 4.11K/W이고, 입력열량 Q 가 3W, 7W, 유입공기온도 T_i 가 25~55℃일 때, 유입공기속도 ($V_i = 0.1 \sim 1.5$ m/s)에 따른 모듈온도차 ΔT 의 관계를 나타낸 그림이다.

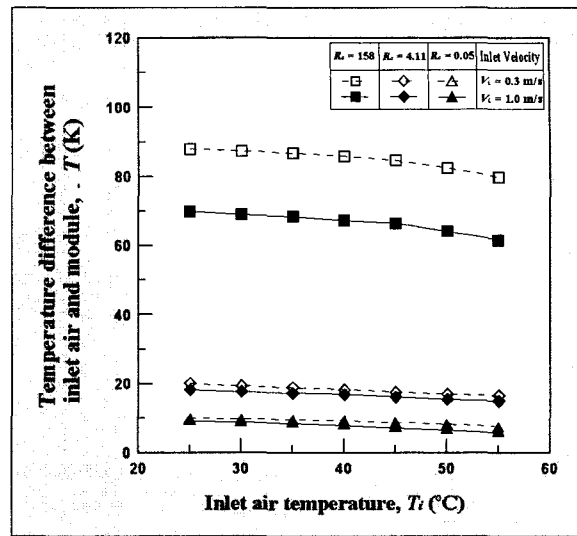
그림 9 (a)에서 V_i 가 증가하면 ΔT 는 선형적으로 감소하며, Q 가 7W인 경우가 3W인 경우보다 ΔT 의 감소 폭이 더 크다. 이는 입력열량이 커지면 모듈의 온도가 상승하게 되고, 그 결과 $Q = 7$ W인 경우가 $Q = 3$ W인 경우보다 공기속도 증가에 따라 모듈주위의 열경계층 두께감소가 더 크기 때문으로 사료된다.

그림 10 (a), (b)는 유입 공기속도 V_i 가 0.3 m/s와 1.0 m/s이고, Q 가 3W, 7W, 그리고 모듈지지부 열저항 R_c 가 각각 158, 0.05, 4.11 K/W일 때, 공기온도 ($T_i = 25, 35, 45, 55$ ℃)증가에 따른 모듈의 온도차 ΔT 의 관계를 나타낸 그림이다.

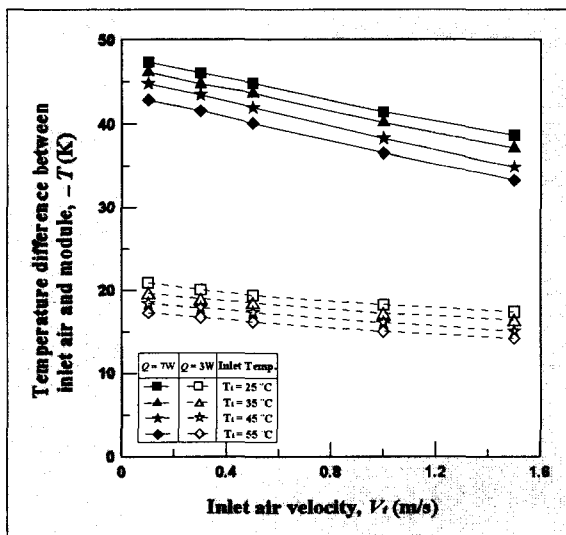
그림 10(a)에서 T_i 가 커질수록 ΔT 는 선형적으로 감소하며, 이때 ΔT 의 감소폭은 R_c 가 클수록 크다.



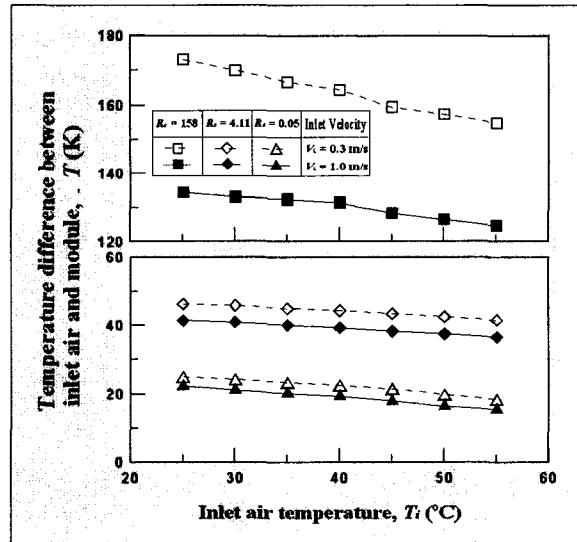
(a) $R_c = 0.05 \text{ kW}$



(a) $Q = 3 \text{ W}$



(b) $R_c = 4.11 \text{ kW}$



(b) $Q = 7 \text{ W}$

[그림 9] Temperature differences between air and module vs. velocities for the various inlet air temperatures.

[그림 10] Temperature differences between inlet air and module vs. inlet temperatures for different resistances of module support

이는 T_i 가 커지면 모듈에서 유입공기 그리고 기관으로의 전도열저항이 감소하기 때문이다.

공기에 의한 모듈의 온도변화는 작다.

또한 그림 10(b)에서는 공기속도가 빠를수록 입구

기관을 모듈의 전열확장면으로 사용하는 복합대류 열전달인 경우에는 냉각성능의 척도인 ΔT 가 R_c ,

Q , T_i , V_i 순으로 영향을 받는다.

그러나 저전도성 PCB(FR-4)에 탑재된 모듈의 냉각조건과 유사한 혼합대류열전달일 때 ΔT 는 R_c , Q , V_i , T_i 의 크기 순으로 큰 영향을 받는다. 따라서 전도성기판을 사용하는 경우에는 V_i 보다 T_i 를 더욱 고려한 열설계가 필요할 것으로 판단된다.

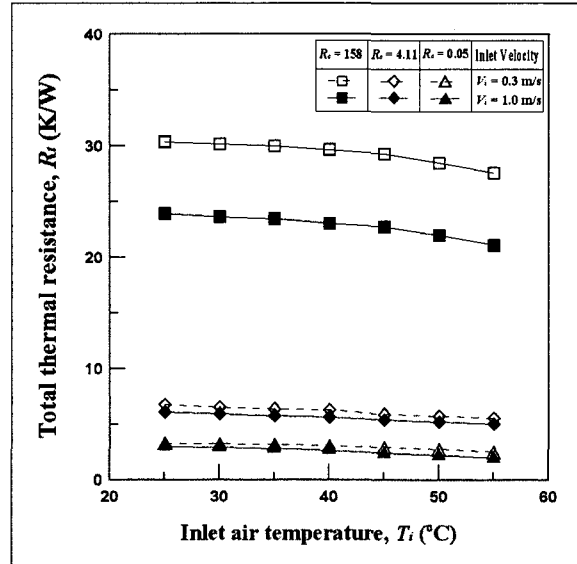
그림 11은 그림 10과 같은 조건하에서 공기온도 T_i 의 증가에 따른 모듈의 총열저항 R_t 의 관계를 나타낸 그림이다. 이때 그림 11(a)는 입력열량 Q 가 3W이고, 그림 11(b)는 7W이다.

그림 11(a)에서 R_t 는 모듈지지부 열저항과 관계없이 입구온도가 증가함에 따라 선형적으로 감소한다. 모듈지지부의 열저항이 매우 큰 R_c 가 158 K/W인 경우, T_i 가 25°C ~ 40°C에서는 거의 일정하다가 45°C 이상에서는 점차 크게 감소함을 알 수 있다. 반면에 R_c 가 0.05, 4.11 K/W인 경우에는 T_i 의 변화에 따라 R_t 는 거의 일정하다.

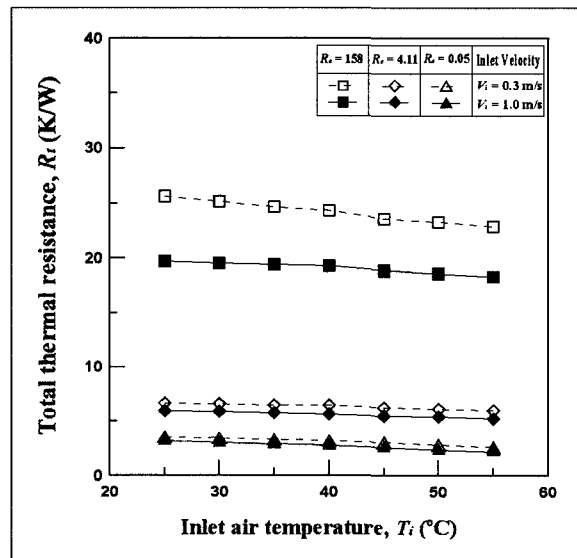
이는 R_c 가 크면 모듈표면에서 대류에 의한 냉각이 대부분이기 때문에 유입공기온도의 변화가 총열저항에 큰 영향을 미치기 때문이다. 그러나 R_c 가 작아서 모듈에서 기판으로의 전도열전달량이 커지면 모듈의 냉각은 모듈표면뿐만 아니라 기판표면에서의 복합열전달 영향이 커지기 때문에 T_i 의 영향은 작다. 따라서 R_t 의 영향이 상대적으로 작은 전도성기판을 사용하는 기판에서는 고온공기에 의한 영향을 작게 받을 수 있다. 따라서 균용전자장비와 같은 고온공기에 노출되기 쉬운 전자장비에서는 전도성기판을 사용하는 것이 시스템의 열안정성과 냉각성능을 크게 할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 11(b)는 입력열량이

7W인 경우로 그림 11(a)의 경향과 거의 비슷하다.

그림 12 (a), (b)는 모듈지지부의 열저항 R_c 가 각

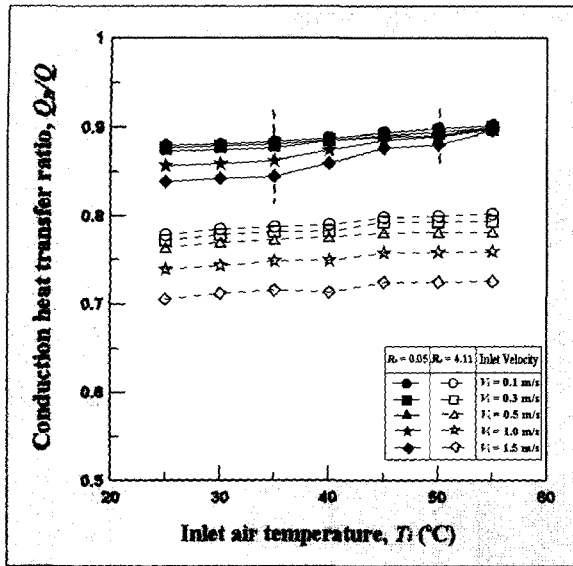


(a) $Q = 3$ W

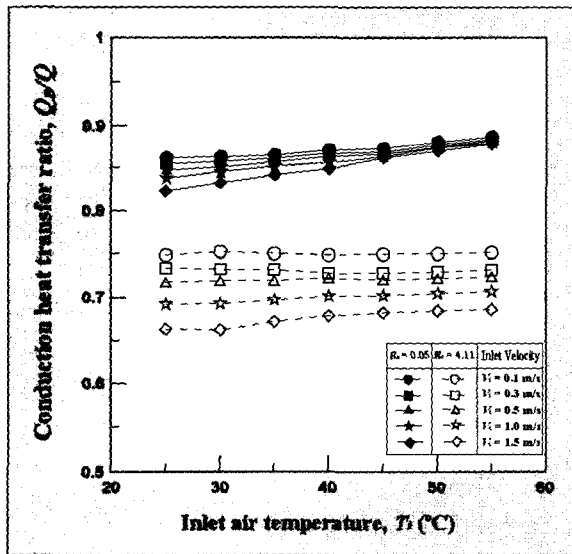


(a) $Q = 7$ W

[그림 11] Total thermal resistances vs. inlet temperatures for different inlet air velocities



(a) $Q = 3\text{ W}$



(b) $Q = 7\text{ W}$

[그림 12] Conduction heat transfer ratio vs. inlet temperatures for different inlet air velocities

각 0.05, 4.11 K/W이고, 입력열량 Q 가 각각 3, 7W, 유입공기속도 V_i 가 0.1 ~ 1.5 m/s 일 때, 유입공기온도 T_i 의 변화(25, 35, 45, 55 °C)에 따른 입력열량과

기판으로 전도열전달량의 비 Q_B/Q 의 관계를 나타낸 그림이다.

그림 12 (a)에서 Q_B/Q 는 유입공기온도가 증가함에 따라 전반적으로 상승한다. 특히 R_c 가 0.05 K/W인 경우, T_i 가 25~35°C 일 때는 평행하게 증가하다가, 40°C 이후에는 서서히 유입공기속도의 영향이 줄어든다. 결국 Q_B/Q 는 50°C에서는 1.5%, 55°C에서는 0.3%내에서 일치하는 결과를 보인다. 따라서 R_c 가 매우 작고 T_i 가 50°C 이상이 되면, 대류에 의한 열전달량이 기판으로의 전도열전달량에 비해 매우 미약하여 전체 열전달에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

그러나 모듈지지부의 열저항이 4.11 K/W인 경우에는 0.05 K/W인 경우와는 달리 Q_B/Q 가 전체적으로 평행하게 증가함을 볼 수 있다. 이는 그림 11의 결과와 같이 R_c 가 커지면 T_i 의 영향이 적어짐을 보여 준다.

또한 그림 12 (b)에서는 Q_B/Q 는 전반적으로 유입공기온도에 따라 증가하는 추세이나, 모듈지지부 열저항이 0.05 K/W인 경우에는 그림 12(a)에서와 같이 Q_B/Q 는 T_i 가 50°C 이상에서 1% 이내로 거의 일치한다. 따라서 $T_i > 50^\circ\text{C}$ 의 범위에서는 전도기판을 사용한 복합열전달방식이 효과적이다. 이때 $R_c = 4.11\text{K/W}$ 일 때보다 0.05K/W일 때가 더 효과적이다.

5. 결 론

열악한 환경에서 시스템의 높은 열안정성을 유지하면서도 냉각성능을 높일 수 있는 모듈의 냉각 특성을

실험적 방법으로 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 저전도성 기판에 실장된 발열모듈 혼합대류열 전달 조건의 경우, ΔT 는 R_c , Q , V_i , T_i 의 크기 순으로 영향을 받는다. 따라서 열설계시 저전도성 기판을 사용하는 경우에는 T_i 를 크게 고려하지 않아도 될 것이라 판단된다.

둘째, 총열저항의 영향이 상대적으로 작은 전도성 기판을 사용하는 경우에는 대류에 의한 열전달량에 전도기판에 의한 열전달량에 비해 매우 적기 때문에 고온공기에 의한 영향을 작게 받을 수 있다. 따라서 균용전자장비와 같은 고온공기에 노출되기 쉬운 전자 장비에서는 전도성기판을 사용하는 것이 시스템의 열적 안정성과 냉각성능을 크게 할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 고온 공기 속에 노출되기 쉬운 특수장비의 열적설계시 중요한 데이터를 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] Nelson L. A., Sekhon K. S. and Fritz J. E., 1978, Direct Heat Pipe Cooling of a Semiconductor Devices, Int. Heat Pipe Conf., pp.373~376.
- [2] 이진호, 1999, 모듈에서 기판으로의 전도열전달을 고려한 혼합대류열전달, 경북대학교 박사학위논문.
- [3] Kamal Kumar Sikka, 1997, Heat spreaders and heat sinks for mixed convection electronic cooling, A dissertation presented to the faculty of the graduate school of Cornell University for the degree of Doctor of philosophy.
- [4] Graham, K. and Witzman, S., 1988, Analytical Correlation of Thermal Design of Electronic Packages, Cooling Technology for Electronic Equipment, pp.249~264.
- [5] Park, S. H., Nakayama, W., 1995, Conjugate-Mode Heat Transfer from a Module on the Base of a Parallel-Plate Channel to Forced Convective Air Flow, Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.61, No.583, B, pp.1070~1077.
- [6] Nakayama, W., Park, S. H., 1996, Conjugate Heat Transfer from a single surface mounted block to forced convective air flow in a channel, Journal of Heat Transfer, Vol.118, pp.301~309.
- [7] 김의광, 백병준, 박복춘, 조병수, 1996, 돌출된 열원이 부착된 수직채널내 복합열전달, 대한기계학회 논문집(B), 제2권, 제20호, pp.741~751.
- [8] Riu, K. J., Lee, J. H., Park, S. H., 1998, Conjugate Heat Transfer from a Surface-Mounted Module to Mixed-Convective Air Flow in a Channel Floor, Proceeding of the KSME Spring Annual Meeting, pp.122~127.
- [9] Park, S. H., Lee, J. H., Riu, K. J., 1998, Conjugate Mode Heat Transfer to Mixed-Convective Air Flow From a Square Module Mounted on a Conductive Board, Proceeding of the KSME Fall Annual Meeting, pp.241~245.
- [10] Lee, J. H., Park, S. H., Riu, K. J., Bang, C. H., 2000, Mixed Convection transport from a Module on the Bottom Surface of Three

- Dimensional Channel, Trans. KSME (B) Vol.24, No.5, pp.632~639.
- [11] Shaw, H. J. and Chen, W. L., 1991, Study on the laminar mixed convective heat transfer in Three-Dimensional Channel With a Thermal Source, Journal of Electronic Packaging, Vol.113, pp.40~49.
- [12] 1995, Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations (MIL-STD-810E), U.S. Department of Defense.
- [13] 김인수, 1997, 온도규격 설정을 위한 한국의 온도분석, 국방과학연구소.
- [14] ASHRAE, 1981, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Fundamentals.
- [15] 백창인, 이관수, 김우승, 1996, “돌출 열원을 갖는 3차원 밀폐공간 내에서의 자연대류-복사 복합열전달에 대한 실험적 및 수치적 연구”, 대한기계학회논문집(B), 제20권, 제10호, pp.3344~3354.
- [16] S. W. Churchill, R. Usagi, 1972, A general expression for the correlation of rates of transfer and other phenomena, AIChE Journal, vol.18, no.6, pp.1121~1128.