

난류촉진체에 의한 전자칩의 열전달촉진에 관한 연구

Heat transfer enhancement in electronic modules using a turbulence promoter

박 시 우*, 정 인 기**
S. W. Park, I. K. Chung

Key words: Heat transfer enhancement(열전달 촉진), Electronic modules(전자부품), Turbulence promoter(난류촉진체), Naphthalene sublimation technique(나프탈렌승화법)

ABSTRACT

An experimental study was carried out to investigate the effects of using various shapes of turbulence promoter on the heat-transfer enhancement of 2-D and 3-D arrays of rectangular modules in a rectangular channel for design of noiseless and low-powered cooling fan in the electronic systems. Measurements of heat/mass transfer coefficients were made using a naphthalene sublimation technique, and the friction factors were measured for Reynolds numbers in the range $3.3 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^4$. Flow visualization was performed by oil-film method. It was found that heat transfer and pressure drop increased remarkably due to the existence of the promoter. The results of the performance evaluation based on equal pumping power were showed that substantial heat-transfer enhancement was obtained at low Reynolds number range by use of a trubulence promoter.

기 호 설 명

A	: 나프탈렌 주조면적 [m^2]	K	: 물질전달계수 [m/s]
B	: 채널의 폭 [m]	L	: 난류촉진체와 발열블록간의 거리 [m]
b	: 난류촉진체(리브)의 높이 [m]	l	: 발열블록의 폭 [m]
D	: 나프탈렌의 물질확산계수 [m^2/s]	ΔM	: 나프탈렌 승화량 [kg]
f	: 유로 마찰계수	Nu	: Nusselt수, $(Pr/Sc)^n \cdot Sh$
H	: 채널의 높이 [m]	P	: 다공판 리브의 기공율 [%]
h	: 발열블록의 높이 [m]	Sh	: Sherwood수, $K \cdot H/D$
		T	: 온도 [K]
		Δt	: 시편의 공기중 노출시간 [sec]
		U_m	: 입구의 평균속도 [m/s]
		x	: 흐름방향의 좌표계

* 정회원, 영남대학교 대학원

** 정회원, 영남대학교 기계공학부

그리스문자

- $\Delta\tau$: 나프탈렌의 승화깊이차 [m]
 ν : 동점성계수 [m^2/sec]
 ρ_s : 나프탈렌 고체의 밀도 [kg/m^3]
 ψ : 다공판 리브의 구멍 직경 [m]

하첨자

- m : 평균값
 mt : 전체 블록의 평균값
 o : 난류촉진체를 삽입하지 않은 경우

1. 서론

최근 전자장비의 소형화와 부품의 고집적화에 따라 전자기기의 냉각기술은 전자패키징 설계에 매우 중요한 문제로 인식되고 있으며, 각종 냉각 방식에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.⁽¹⁾ 그 중 인쇄회로기판(PCB)으로 구성된 채널내의 IC 칩을 모사한 발열블록에 대한 대류냉각방식에 대해서도 수많은 연구가 진행되어 왔다. 특히, 소형 전자장비에서는 경제적인 잇점과 기술의 용이성 때문에 아직도 공기를 이용한 냉각방식이 많이 사용되고 있으며, 고발열 전자부품에 대해서는 열전달 효과가 좋은 강제대류 냉각방식이 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 이때 냉각팬에 의한 소음·진동 문제와 소비전력이 중요한 이슈로 대두되고 있으며, 이에 대한 설계기술의 필요성이 증대되고 있는 실정이다.

냉각팬의 소비전력과 소음을 감소시키기 위해서는 냉각성능을 유지하면서도 팬에 의한 유량을 최소화시켜야 하며, 이를 위해서는 PCB 채널 내에서의 대류열전달 효과를 극대화시킬 수 있는 다양한 열전달촉진 방안이 모색되어야 한다.

전자장비의 강제대류냉각에 관한 기존의 연구들로서는 Sparrow등⁽²⁾, 柳田등⁽³⁾이 평행평판 채널내의 발열블록에 대하여 유동의 가시화 및 나프탈렌 승화법을 이용한 물질전달계수의 측정을 통하여 열전달촉진 및 압력강하 특성을 연구하였고, McEntire와 Webb⁽⁴⁾은 2차원 돌출열원으로 부터의 국소열전달계수를 측정하였다. 高崎와 五十嵐⁽⁵⁾은 평행평판 유로내에서 유동장의 발달 및

블록의 배열이 열전달특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였고, Kakac등⁽⁶⁾은 장방형덕트내에 배열된 블록에 대하여 주기적 가열에 의한 비정상 강제대류 열전달특성을 실험적으로 규명하였다. 또, Davalath와 Bayazitoglu⁽⁷⁾는 평행평판내에 3개의 발열블록을 배열하고 기판이 등온 또는 단열인 경우에 유동 및 온도장의 2차원 해석을 통하여 블록에서 발생하는 열발생율과 최고온도에 대한 블록사이의 최적거리를 계산하였으며, Shaw등⁽⁸⁾은 하나의 열원을 갖는 3차원 수평채널에서 층류 혼합대류열전달에 관한 수치적 연구를 하였다. 그러나 이들 연구는 대부분 발열체 주위의 유동 및 열전달 현상과약에만 한정되어 있어, 총합적 전열성능 해석 및 열전달 촉진방법에 대해서는 거의 고려가 없었다.

한편, 유로내의 강제대류열전달을 촉진하는 효과적인 수단으로서 각종 형상의 난류촉진체를 삽입하는 방법이 제안되어 왔다. 그 중, 리브(rib)는 Han등⁽⁹⁾에 의하여 주로 가스터빈 날개의 냉각 촉진방법으로 연구되어 왔으나, 최근 전자장치의 냉각촉진수단으로서 Hung과 Lin⁽¹⁰⁾은 가열리브가 설치된 수직채널내의 대향 차폐벽에 난류촉진체를 설치하고 리브 표면에서의 국소열전달과 압력강하에 대한 실험을 수행한 바 있고, Jubran과 Al-Salaymeh⁽¹¹⁾는 리브와 막냉각 기술을 이용하여 전자모듈의 전열촉진에 대한 실험적 연구를 하였다. 또, 박등⁽¹²⁾은 난류촉진체의 형상에 따른 수직채널내의 열전달과 압력손실 특성을 수치적으로 해석하였고, Garimella와 Eibeck⁽¹³⁾, 유등⁽¹⁴⁾은 와류발생체에 의한 수평채널내 돌출 발열블록에서의 열전달촉진을 실험적으로 연구한 바 있다. 그러나, 난류촉진체의 형상 및 삽입위치는 열전달 및 마찰손실에 크게 영향을 미치게 되므로 촉진체 삽입에 따른 압력손실 증대를 고려한 전열성능평가가 필요하고, 전자칩 주위에서 유동의 정체, 박리, 재부착, 재순환등 복잡한 유동과 이에 따른 전열촉진기구도 규명해야 할 문제로 남아 있다.

본 연구는 전자장치를 모사한 기본 모델로서 장방형유로의 벽면에 배열된 2차원 및 3차원 돌출된 발열블록을 선택하고, 유로내에 삽입한 리브형 난류촉진체가 블록의 강제대류 열전달특성에 미치는 영향을 실험적으로 규명한 것이다. 유막법을 이용한 유동가시화와 나프탈렌승화실험에

의한 블록표면의 국소 및 평균 열전달계수 측정으로 유동과 열전달의 관련성을 검토하였다. 난류촉진체로인 리브의 형상과 부착위치 및 Reynolds수등 제 인자가 열전달 및 압력강하 특성에 미치는 영향을 조사하였고, 난류촉진체 삽입에 따른 압력손실을 측정하여 펌프(송풍기)동력 일정 조건하에서의 전열성능평가를 통한 최적 설계조건을 제시하였다

2. 실험장치 및 방법

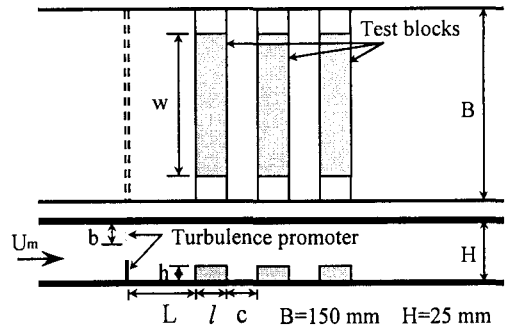
2.1 실험 장치

본 실험에서 사용한 풍동은 종횡비(B/H)가 6인 장방형단면을 가진 흡입개방형 직선유로로서 두께 10 mm의 투명 아크릴판으로 제작하였다. 풍동은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 2차원 및 3차원 블록 실험용을 각각 제작하였으며, 작동유체인 공기는 상류덕트, 측정부, 하류덕트와 유량조절부 및 흡입송풍기를 거쳐 실외로 배출된다.

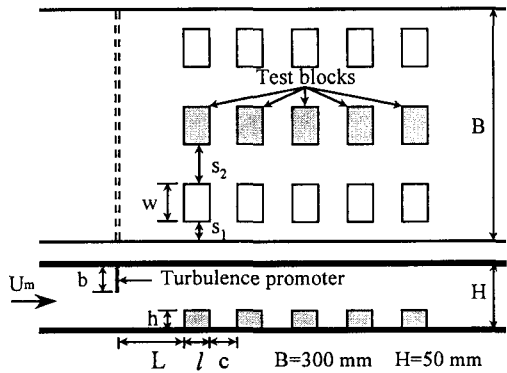
2차원 블록은 시편을 유로 입구에서 완전발달된 유동영역인 1775 mm(40D_h) 하류에 Fig. 1(a)와 같이 3개를 배열하였고, 실험에 사용한 블록은 높이(h) 8 mm, 폭(l) 20 mm, 간격(c) 20 mm로 일정하게 하였다. 그리고 3차원 발열블록에 사용한 시편은 유로 입구에서 2370 mm 하류에 Fig. 1(b)와 같이 3줄 5열로 배치하였으며, 블록은 높이(h) 15 mm, 폭(l) 30 mm, 길이(w) 50 mm, 블록사이의 거리 s₂=2s₁=25 mm, 전후 블록사이의 간격(c)은 30 mm 이다.

난류촉진체는 Fig. 2와 같이 무공판리브(solid rib) 및 다공판리브(perforated rib)를 제작하였으며, L/H=0.3 및 1 위치에서 유로의 상부 또는 하부 벽면에 수직으로 부착하였고, 리브 높이에 따른 유로 폐색비(b/H)는 0.2~0.6으로 변화시켰다.

나프탈렌승화실험용 시편의 제작법은 주조법을 택하였으며, 승화량측정장치는 평균물질전달계수 측정용의 정밀저울과 국소물질전달계수 측정을 위해 승화깊이측정장치를 사용하였다. 저울은 최대 측정중량 200 g, 측정정도가 0.1 mg이며, 국소승화 깊이 측정장치는 0.001 mm 측정정도의 깊이센서(depth gage)와 센서에서 신호를 받아 지시하는 Mu-checker, 자료획득 및 스텝모터 제어용 A/D board(PCL-813 & PCL-838)로 구성되어 있다.



(a) 2-D block array

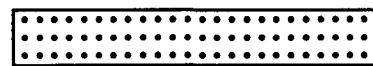


(b) 3-D block array

Fig. 1 Schematic view of test sections.



(a) solid rib



(b) perforated rib

Fig. 2 Turbulence promoters.

시편을 탑재하여 이동시키는 자동이송장치(X-Y 테이블)는 이송거리가 step당 0.025 mm, 최대 스트로크가 150×200 mm이며, 직진도 0.005 mm, 위치결정도가 ±0.01 mm이다.

또한, 유로의 하부벽면에는 촉진체의 상류 30 mm와 마지막 측정블록 하류의 50 mm 위치에 각각 정압측정공을 뚫어 압력차를 측정하였으며, 이때 정압공에 연결된 압력변환기로 부터의 출력은 A/D변환기를 거쳐 PC에 입력하였다.

Table 1 Experimental conditions and range

Conditions	Experimental Range			
	2-Dimensional block		3-Dimensional block	
Test blocks	2-Dimensional block		3-Dimensional block	
Promoter type	Solid Rib	Perforated Rib	Solid Rib	Perforated Rib
Reynolds num.	3300, 4800, 8100		9600, 13000, 16000, 29000, 32500	
b/H	0.2, 0.4, 0.6		0.3	
L/H	1		0.3, 1	
Hole diameter ϕ (mm)	—	1, 2, 3	—	1
Porosity, $P(\%)$	—	10, 20, 30	—	10
Position of the promoter	Up, Down		Up	

유로 벽면과 블록표면에서의 유동패턴을 파악하기 위한 가시화실험은 유막법을 이용하였으며, 가시화 트레이서는 흑연분말을 유동파라핀과 올레인산에 적당량 혼합하여 백색아크릴 필름에 균일하게 도포한 후 유동장에 노출시키고 표면에 나타나는 유선을 사진 촬영하였다. 유속(유량)의 조절과 측정을 위하여 송풍기 구동모터 제어장치, 오리피스 유량계, 피토우관 및 유량조절밸브를 부착하였다. 또 흡입공기의 온도, 실험실내의 기압 및 온도를 측정하기 위하여 디지털온도계, 기압계, 자기온습도계등을 설치하였다.

2.2 실험방법 및 데이터 처리

나프탈렌승화법에 의한 열전달 측정은 열-물질 전달의 상사성을 이용하여 비교적 측정이 용이하고 오차가 적은 물질전달량을 측정하여 열전달계수로 환산하는 방법이며, 실험조건 및 범위를 요약하여 정리하면 Table 1과 같다. 국소열전달계수 측정실험은 먼저 표면형상측정장치로 나프탈렌 시편의 초기상태를 측정한 후, 측정부에 고정시키고 60~100분 정도 유동장에 노출시킨다. 실험 종료후에 처음위치와 동일하게 측정장치에 고정시킨 후, 깊이 변화를 측정하여 실험전후의 승화 깊이 차이를 계산한다. 이때 블록표면에서 유로 폭 방향으로 20 mm, 흐름 방향으로 2 mm 간격으로 측정하였으며, 센서로부터의 출력은 A/D변환기를 거쳐 PC에 수록하고 계산처리하였다. 중량법에 의한 승화량 측정은 정밀화학천칭으로 실험 전후의 중량차를 측정하여 평균 열전달계수를 계산하였다. 시편 착탈시 및 측정시의

외부 승화손실량은 예비실험에서 측정된 값으로 보정하였다.

본 실험에서 측정데이터의 처리방법은 다음과 같다.

먼저, 측정면의 선단으로부터 x 위치에서 Δt 시간 동안의 국소 승화 깊이차이를 $\Delta\tau(x)$ 라 하면, 시간평균 국소물질전달계수 $K(x)$ 는 다음식에서 계산된다.

$$K(x) = \rho_s \Delta\tau(x) / \Delta t \{C_w - C_b(x)\} \quad (1)$$

그리고, 중량법에 의한 평균물질전달계수 K_m 은 다음식으로부터 구하였다.

$$K_m = \Delta M / \Delta t A (C_w - C_b) \quad (2)$$

식에서, $\rho_s (=1.145 \text{ g/cm}^3)$ 는 나프탈렌 고체밀도, C_w 및 $C_b(x)$ 또는 C_b 는 각각 시편표면 및 주류중의 나프탈렌 증기농도이며, ΔM 은 Δt 시간 동안 승화한 나프탈렌의 중량차이다. 이때 C_w 는 Sogin이 제안한 나프탈렌 증기에 대한 압력-온도 관계식과 이상기체 상태식으로부터 구한다. 또, $C_b(x)$ 와 C_b 는 나프탈렌증기와 작동유체가 완전 혼합된다는 가정하에서 다음식을 수치적분하여 구하였다.

$$C_b(x) = (\rho_s W / \Delta t Q) \int_0^x \Delta\tau(x) dx \quad (3)$$

$$C_b = (1/\Delta t Q) \Delta M/2 \quad (4)$$

여기서, W 는 시편의 폭, Q 는 작동유체의 체적 유량이다. 그리고 식(1)과 (2)에서 구한 물질전달 계수 $K(x)$ 및 K_m 은 각각 다음과 같이 정의한 국소 및 평균 Sherwood수로 정리하였다.

$$Sh = K(x)H/D, \quad Sh_m = K_m H/D \quad (5)$$

식에서 H 는 특성길이로 사용한 유로(채널)의 높이이고, D 는 공기중의 나프탈렌 확산계수로서 Schmidt수의 정의식 $Sc = \nu/D$ 로부터 구하며, 온도 보정이 가능한 다음식을 사용하였다.

$$Sc = 8.0743 / T^{0.2165} \quad (6)$$

또, 열전달의 무차원수 Nusselt수로의 환산은 다음의 열-물질전달 상사식을 사용하였다.

$$Nu = (Pr/Sc)^n Sh \quad (7)$$

이때 지수 n 은 내부유동에서 가장 상사가 잘 된다고 알려진 $n=0.4$ 의 값으로 계산하였다.

한편, 유로의 마찰계수는 압력강하 ΔP 에 의하여 다음식으로부터 계산하였다.

$$f = \Delta P / \{ (L_p/D_h^*) (\rho U_m^2/2) \} \quad (8)$$

여기서, L_p 는 정압공사이의 거리, D_h^* 는 Jones가 제안한 유로의 수정 수력지름이다.

본 연구에서 Reynolds수는 유로내의 평균유속 (U_m)과 채널높이(H)로 정의하였으며, 비교적 저 Reynolds수 범위에서 실험을 행하였다. 이때 유로 입구에서의 난류강도는 0.3% 정도였고, 본 실험에서 데이터의 재현성은 $\pm 5\%$ 범위 이내에 들었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유동가시화 결과

Fig. 3은 $Re=8100$, $b/H=0.4$, $L/H=1$ 인 경우에 대하여 무공관 리브형 난류촉진체가 유로의 상부 벽면에 부착되어 있을 때 2차원 블록표면 및 블록 사이의 유로벽면에 대한 유동패턴을 가시화한 결과이다. A-B는 블록의 전면, B-C는 상부표면, C-D는 배면, 그리고 D-A는 블록사이의 유로벽면을 각각 나타낸다. 이 때 유막의 형상은 각 표면에서의 유동상태를 정성적으로 나타내고 있는데, 블록사이에서 재순환유동이 형성되고 블록의 상부표면에서는 유동의 박리 및 재부착 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 후술하는 블록표면에서 국소 Nusselt수의 분포와 잘 대응하였다.

Fig. 4(a) 및 (b)에는 각각 리브가 없는 경우와 다공관리브가 유로의 상부벽면에 부착된 경우에 대하여 3차원 각 블록표면에 대한 유동패턴을 가시화한 사진을 예시한 것이다. 리브가 없는 경우에는 제1블록의 전면에서 충돌한 유동이 각 블록의 상단에서 박리·재부착하고, 블록사이에는 재순환유동이 생성되며 블록측면을 따라 흐르는 현상을 나타내주고 있다. 리브가 부착된 경우는 리브에

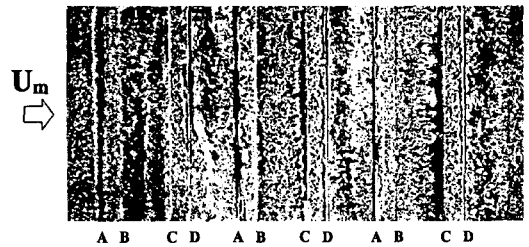


Fig. 3 Flow visualization for 2-D block array, by oil-film method.

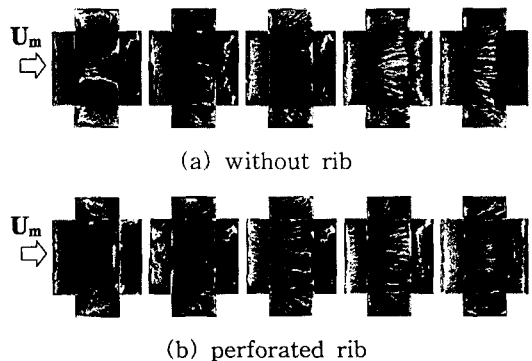


Fig. 4 Flow visualization for 3-D block array, by oil-film method.

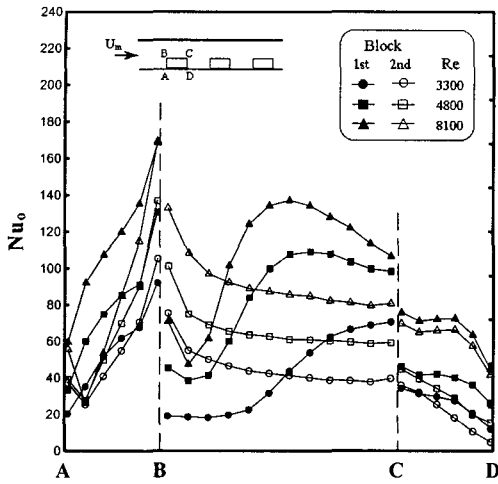


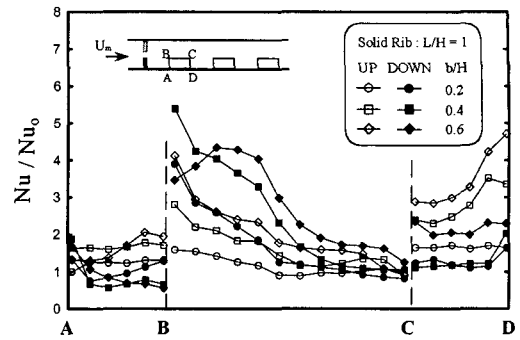
Fig. 5 Distributions of Nusselt number without turbulence promoter.

의해 제1블록의 윗면에서 재부착거리가 길어지며 왜곡된 유동이 제2블록에 강하게 충돌하는 것을 보여주고 있으나 하류블록에서는 리브의 영향이 거의 소멸되고 있다.

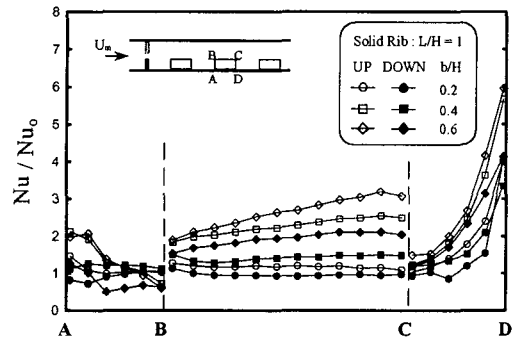
3.2 국소 Nusselt수의 분포

Fig. 5는 난류촉진체(리브)를 삽입하지 않은 경우, 2차원 블록의 제1 및 제2블록 표면에서 국소 Nusselt수의 분포를 나타낸 것이다. 제1블록의 경우, 전면에서는 거의 선형적으로 증가하나 윗면에는 유동의 박리·재부착에 따른 극소점과 극대점이 나타나고 있다. 제2블록에서는 전면에 상류블록의 영향으로 극소치가 나타나고, 윗면에서는 경계층의 발달로 인해 열전달이 점차 감소하고 있다. 두 블록 모두 후면에서는 재순환 유동의 영향이 나타나고 있으며 열전달이 상대적으로 낮은 값을 나타내고 있다. 제3블록의 경우는 제2블록과 거의 유사한 경향을 나타내었다. 또 Reynolds 수의 증가와 함께 열전달은 증가하고 있으며, 특히 제1블록의 윗면에서는 유동의 재부착 위치가 상류로 이동하고 있음을 보여 주고 있다.

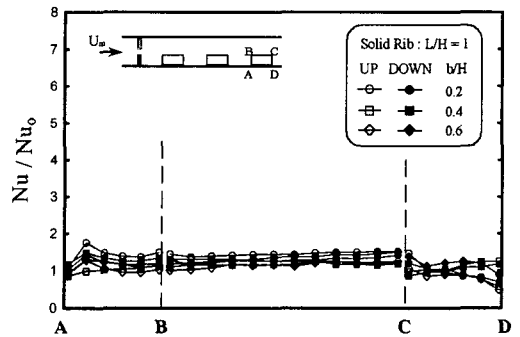
Fig. 6(a)~(c)는 유동방향으로 배열한 2차원 블록에 대하여 $Re=3300$, $L/H=1$ 인 경우, 각각 제1, 제2 및 제3블록에 대하여 무공관 난류촉진체의 높이(b) 및 부착위치에 따른 Nu/Nu_0 (촉진체가 없는 경우에 대한 국소 Nusselt수의 비)의 분포를 나타내었다.



(a) 1st block



(b) 2nd block



(c) 3rd block

Fig. 6 Distributions of the local Nusselt number ratio for 2-D block array.

촉진체가 하부벽면에 부착된 경우, 제1블록의 전면에서는 촉진체 후방에 형성되는 사수역(死水域)의 영향으로 전열촉진에 역효과($Nu/Nu_0 < 1$)를 나타내고 있으나, 윗면에는 촉진체에 의해 박리된 유동의 재부착효과로 말미암아 상류쪽의 열전달이 현저히 증가하였다. 그리고 후면에서는 촉진체가 상부벽면에 부착된 경우에 더욱 열전달이

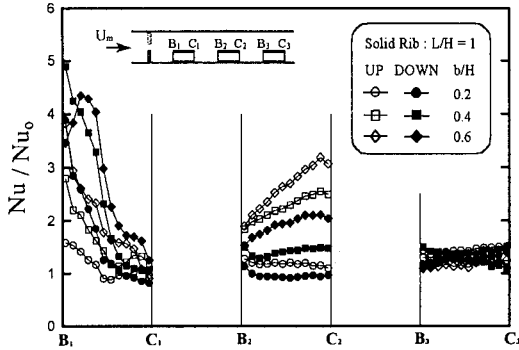


Fig. 7 Distributions of the local Nusselt number ratio on top surface for $L/H=1$, $Re=3300$.

활발함을 보여준다. 한편, 제2블록에 있어서는 블록의 전 표면에서 촉진체가 유로의 상부벽면에 부착된 경우에 열전달촉진효과가 증대함을 알 수 있다. 또 제1 및 제2블록의 경우에는 촉진체의 길이가 길 수록 전열촉진효과가 커지나, 제3블록에서는 촉진체의 삽입효과가 거의 소멸되고 있다.

Fig. 7은 $L/H=1$ 이고 $Re=3300$ 일 때, 2차원 각 블록의 윗면에서 Nu/Nu_0 의 분포를 무공판 난류 촉진체의 길이 변화에 대하여 나타내었다. 전반적으로 촉진체의 길이가 길수록 전열촉진효과가 크며, 제1블록에 대해서는 촉진체가 유로의 하부벽면에 있는 경우, 제2블록에서는 촉진체가 상부벽면에 있는 경우에 전열 촉진효과가 더욱 크게 나타났다.

3.3 평균 Nusselt수

평균 Nusselt수는 2차원 배열 블록의 경우 각 표면의 국소 Nusselt수를 산술평균하여 구하였으며, 3차원 배열 블록에 대해서는 중량법으로 측정하여 식(2)와 (5) 및 식(7)에서 계산하였다.

Fig. 8은 $Re=3300$, $L/H=1$ 인 경우 무공판 난류 촉진체의 높이 및 부착위치 변화에 따른 2차원 블록의 전표면에 대한 평균 Nusselt수의 비를 나타낸 것이다. 유로의 상부벽면에 촉진체를 부착한 경우 촉진체의 높이가 높을수록 열전달 촉진 효과가 크게 나타났으며, 특히 제1 및 제2블록의 저 Reynolds수에서 효과가 현저하게 나타나고 있다.

Fig. 9(a)와 (b)는 $L/H=1$, 기공율 $P=10\%$ 인 다공판 리브의 경우, 2차원 블록의 제1 및 제2블록에

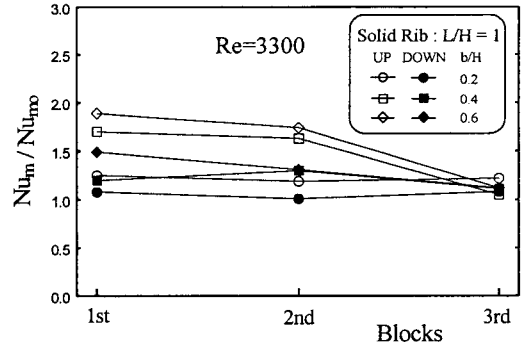
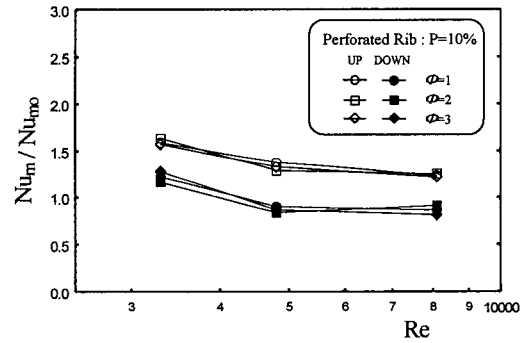
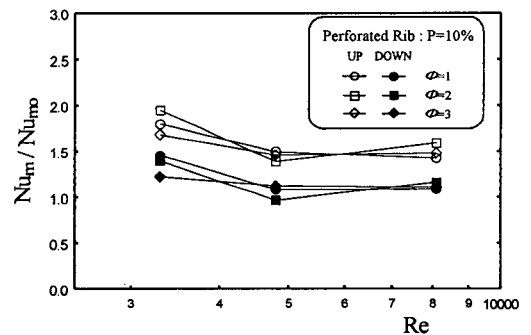


Fig. 8 Average Nusselt number ratio for 2-D block array with solid rib.



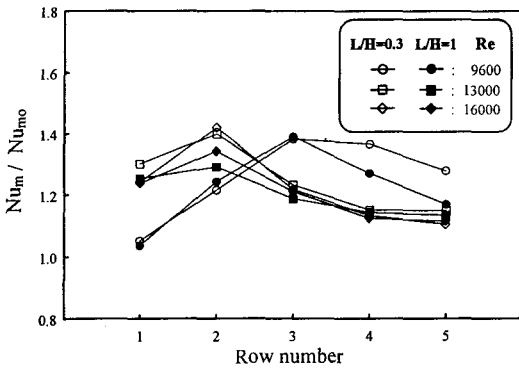
(a) 1st block



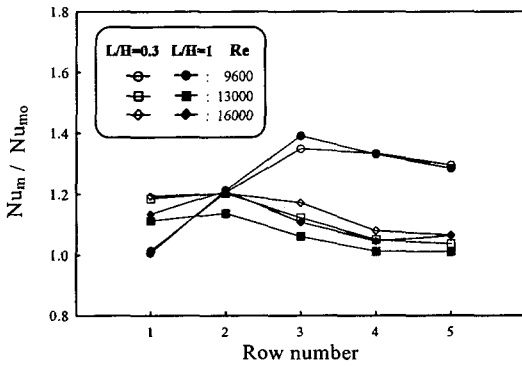
(b) 2nd block

Fig. 9 Average Nusselt number ratio for 2-D block array with perforated rib.

대해 Reynolds수 변화에 따른 Nu_m/Nu_m0 의 분포를 나타낸 것이다. 촉진체가 상부벽면에 부착된 경우에 제1 및 제2블록에서 열전달 촉진 효과가 우수하였고, 기공지름의 영향은 비교적 적었다. 또,



(a) solid rib



(b) perforated rib

Fig. 10 Average Nusselt number ratio for 3-D block array.

Reynolds수가 증가함에 따라 Nu_m/Nu_{m0} 의 값은 차츰 감소하였으며, 저 Reynolds수 영역에서 축진체에 의한 효과가 현저하게 나타나고 있다. $Re=3300$ 의 경우를 제외하고는 축진체를 하부벽면에 부착하면 오히려 열전달이 저하함을 알 수 있다. 그러나 제3블록에서는 축진체의 부착위치 및 기공지름에 의한 영향이 거의 나타나지 않았다.

Fig. 10은 $b/H=0.3$ 인 무공판 및 다공판리브의 경우, L/H 및 Reynolds수 변화에 따른 3차원 각 블록의 평균 Nusselt수의 비를 나타낸 것이다. 모든 경우 $Re=9600$ 일때는 전열축진이 하류블록에서 현저하였으나, 무공판리브의 경우 Reynolds수가 증가하면 제2블록에서 축진효과가 탁월하다. 그리고, Reynolds수가 증가할수록 하류축 블록에 대한 난류축진체의 영향은 크게 감소하였다.

Fig. 11은 $b/H=0.3$ 인 경우에 각 리브형상에 대하여 3차원 전체블록의 평균 Nusselt수를 L/H

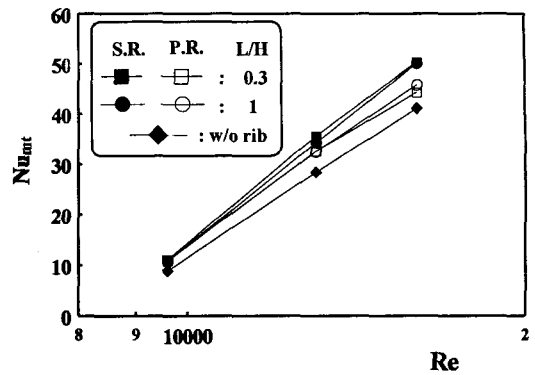


Fig. 11 Overall average Nusselt number for 3-D block array.

및 Reynolds수의 변화에 대하여 나타내었는데, Reynolds수의 증가에 따라 평균 Nusselt수는 거의 대수비례적으로 증가하고 있으며 리브형상에 대한 영향은 미소하나 리브에 의한 열전달은 약 20%정도 증가함을 알 수 있었다.

4.4 마찰계수

Fig. 12(a)와 (b)는 2차원 블록에서 난류축진체의 형상 및 높이에 따른 유로 마찰계수의 영향을 나타낸 그림이다. 마찰손실은 축진체 삽입에 의해 현저히 증가하였으며, Reynolds수가 증가함에 따라 점차 감소하고 있다. 무공판 난류축진체의 경우 높이가 높을수록, 덕트의 상부벽면에 부착된 경우에 마찰손실이 크게 나타났으며, 다공판 난류축진체에서는 축진체의 위치 및 기공율의 변화에 따른 영향이 거의 없었다.

4.5 전열성능 평가

유로내에 난류축진체를 삽입하는 경우 열전달이 증대하는 반면 압력손실도 크게 증가하므로 본 연구에서는 송풍기동력 일정 조건하에서 전열성능 평가를 실시하였다. 송풍기동력은 마찰계수와 유량의 3승곱, 즉 $f \cdot Re^3$ 에 비례하므로 난류축진체가 없는 경우와 삽입한 경우에 유로의 단면적과 송풍기동력이 동일하다면 $f_0 \cdot Re_0^3 = f \cdot Re^3$ 의 관계식이 성립된다. 이때 축진체 삽입시의 마찰계수 f 와 Reynolds수 Re 를 측정하고 축진체가 없는 경우의 마찰계수 f_0 를 측정하여 송풍기동력이

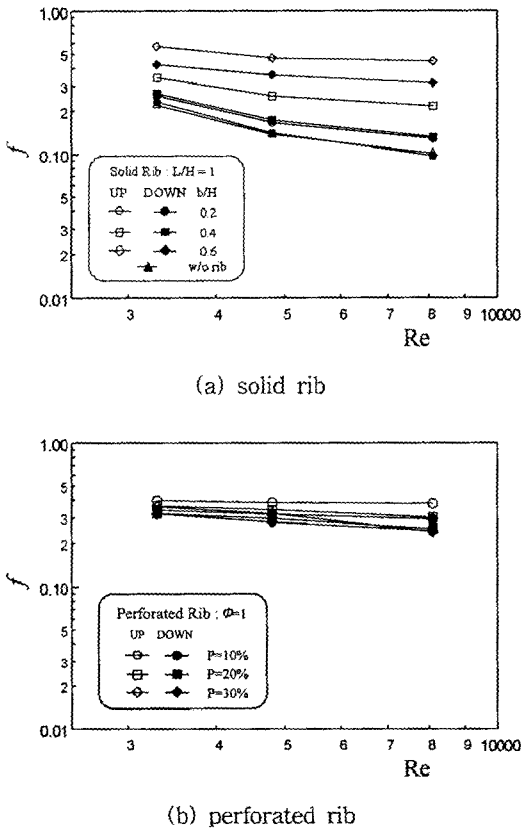


Fig. 12 Variations of friction factor for 2-D block array.

동일한 경우의 Re_o 를 구한다. 이에 따라 각각의 Reynolds수 Re_o 값에 대응하는 평균 Nusselt수 Nu_{mo} 를 구하여 송풍기동력 일정조건하의 전열성능비 $\eta = Nu_m / Nu_{mo}$ 를 산출하였다.

Fig. 13에는 이를 η 와 $f^{1/3} \cdot Re$ 의 관계로 나타내었다. 난류촉진체에 의한 전열촉진효과(η)는 Reynolds수가 낮을수록 큰 것을 알 수 있었으며, 전체적으로 3차원 블록보다 2차원 블록에서 전열성능이 우수한 것으로 나타났다. 그 이유는 촉진체와 블록에 의한 유로 폐쇄비가 3차원 실험보다 2차원 실험에서 더 작게 주어졌기 때문에 유동의 가속효과가 크게 작용한 것으로 사료된다. 본 실험에서는 2차원 블록에서 무공판 난류촉진체의 폐쇄비(b/H)가 0.6이고 유로의 상부벽면에 부착한 경우, 저 Reynolds수 영역에서 최대 $\eta = 1.52$ 의 전열촉진효과를 얻었다. 따라서 이러한 조건의 리브형 난류촉진체를 전자장비의 강제대류 냉

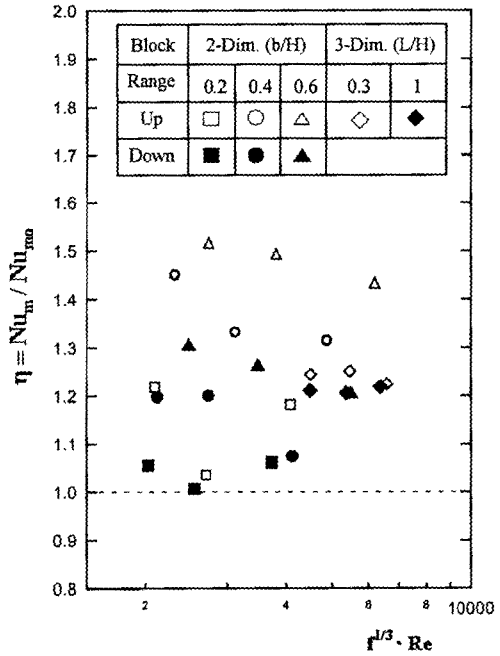


Fig. 13 Performance evaluation.

각장치에 응용할 수 있을 것으로 기대되며, 냉각공기의 유량을 줄일 수 있어 냉각팬의 전력소비를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

장방형유로의 밑면에 배열된 2차원 및 3차원 돌출 발열블록에 대하여 리브형 난류촉진체 삽입에 의한 열전달촉진 및 압력강하 특성에 대하여 검토하고 압력손실을 고려한 전열성능평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 가시화 실험에서 블록표면의 박리·재부착·재순환유동 현상이 잘 파악되었고, 이것은 국소 열전달계수의 분포와 거의 일치한다.
- (2) 블록 표면에 대한 국소 Nusselt수에 대하여 촉진체를 삽입한 경우 제1 및 제2블록에서 현저한 전열촉진효과가 있으나 제3블록에서는 그 효과가 급격히 감소한다.
- (3) 2차원 및 3차원 배열 블록의 평균 Nusselt수는 저 Reynolds수 영역에서 촉진체에 의한 효과가 현저하다.
- (4) 전체블록에 대한 평균 Nusselt수는 Reynolds수의 증가에 따라 거의 대수 비례적으로 증가하고

촉진체 삽입에 의해 약 20%의 전열촉진효과를 나타낸다.

(5) 전열촉진효과는 다공판보다 무공판 리브의 경우가 우수하고, 유로의 상부벽면에 부착하였을 때 그 효과가 현저하다.

(6) 유로마찰계수는 촉진체의 삽입에 의해 현저히 증가하며 Reynolds수가 증가함에 따라 서서히 감소한다.

(7) 송풍기동력 일정 조건하에서의 성능평가 결과, 2차원 블록의 저 Reynolds수 영역에서 상부벽면에 부착된 무공판 리브의 경우 최대 $\eta=1.52$ 의 전열촉진효과를 얻었다.

후 기

이 연구는 교육부의 1997년도 기계공학 연구분야지원과제(과제번호 : ME 97-A-13)에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Oktay, S., Hannemann, R. and Bar-Cohen, A., 1986, High heat from a small package, *Mechanical Eng.*, Vol. 108, No. 3, pp. 36-42.
- 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. Heat Mass Transfer*, Vol. 26, No. 4, pp. 689-699.
- 柳田武彦, 中山 恒, 根本武夫, 1984, 長方形管路の壁面に配列された發熱體まわりの流動と熱傳達, *日機學論集(B編)*, 50卷, 453號, pp. 469-473.
- McEntire, A. B. and Webb, B. W., 1990, Local forced convection heat transfer from protruding and flush-mounted two-dimensional discrete heat sources, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 33, No. 7, pp. 1521-1533.
- 高崎博美, 五十嵐 保, 1993, 平行平板流路に置かれた角柱列まわりの流れと熱傳達, *日機學論集(B編)*, 59卷, 562號, pp. 2021-2027.
- Kakac, W. L. S., Hatay, F. F. and Oskay, R., 1993, Experimental study of unsteady forced convection in a duct with and without arrays of block-like electronic components, *Wärme und Stoffübertragung*, Vol. 28, pp. 69-79.
- Davalath, J. and Bayazitoglu, Y., 1989, Forced convection cooling across rectangular blocks, *ASME J. of Heat Transfer*, Vol. 109, pp. 321-328.
- Shaw, H. J., Chen, W. L. and Chen, C. K., Study on the laminar mixed convective heat transfer in three-dimensional channel with a thermal source, *ASME J. of Electronic Packaging*, Vol. 113, pp. 40-49.
- Han, J. C., Park, J. S. and Lei, C. K., 1985, Heat transfer enhancement in channels with turbulence promoters, *ASME J. of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 107, pp. 628-635.
- Hung, Y. H. and Lin, H. H., 1993, An effective installation of turbulence promoters for heat transfer augmentation in a vertical rib-heated channel, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 35, No. 1, pp. 29-42.
- Jubran, B. A. and Al-Salaymeh, A. S., 1996, Heat transfer enhancement in electronic modules using ribs and 'Film-cooling-like' techniques, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol. 17, No. 2, pp. 148-154.
- 박찬우, 장승일, 남평우, 정종수, 1996, 난류발생기의 형상에 따른 수직 PCB채널에서의 열 전달 및 압력손실 변화, *대한기계학회논문집(B)*, 제20권, 제7호, pp. 2277-2288.
- Garimella, S. V. and Eibeck, P. A., 1991, Enhancement of single phase convective heat transfer from protruding elements using vortex generators, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 34, No. 9, pp. 2431-2443.
- 유성연, 주병수, 박종학, 이상운, 1997, 와류발생기를 사용한 전자칩의 냉각촉진에 관한 연구, *대한기계학회논문집(B)*, 제21권, 제8호, pp. 973-982.