

## 블럭이 부착된 수평 유로에서의 강제대류 열전달 해석

조한승 · 유재석\*

아주대학교 대학원 기계공학과  
(현 고등기술연구원)  
\*아주대학교 기계공학과

## Forced Convection Cooling Across Rectangular Blocks in a Parallel Channel

Han sung Cho and Jai suk Yoo\*

Department of Mechanical Engineering, Graduate school, Ajou University  
(Presently : Institute for Advanced Engineering)

\*Department of Mechanical Engineering, Ajou University

### 요 약

유한체적법(Finite Volume Method)을 이용하여 블럭이 부착된 수평 유로의 강제 대류 열전달 현상을 해석하였다. 블럭의 갯수, Reynolds 수 그리고 블럭간의 간격을 변화시키면서 해석하였고 블럭이 부착된 수평판은 전도벽면 (conducting plate)으로 해석하였다. 블럭내에서는 1/2 체적과 전체적에서 열원이 있다고 가정하였으며, 유동은 2차원 정상상태 비압축성 유동이라고 하였다.

전체적에서 열원이 있는 경우보다 1/2 체적에서 열원이 있는 경우가 전체 온도값이 높게 나타났으며, Reynolds 수와 블럭 사이의 간격이 커질수록 온도값이 낮아진다. 수평판이 단열되어 있는 경우보다 전도벽면으로 해석한 경우가 온도값이 낮게 나타나며 수평판이 단열되어 있다고 가정한 경우에는 최고 온도 값의 위치가 단열면 근처이나 전도벽면의 경우에는 블럭내의 중심에서 우측으로 치우쳐 있다. 그리고, 블럭의 1/2 체적에서 열원이 있는 경우의 최고 온도 위치는 블럭의 전체적에서 열원이 있는 경우의 위치보다 더 상단에 치우침을 알 수 있다. Nusselt 수는 블럭 윗면의 좌측 부분에서 다른 부분보다 높은 수치를 나타내고 있으며 Reynolds 수가 커질수록 Nusselt 수의 값이 증가한다. 그리고, 블럭내의 최고 온도값은 이러한 무차원 변수들과의 상관 함수를 이용하여 예측하였다.

**Abstract**—The purpose of this study is to obtain an improved interpretation of heat transfer phenomena between blocks and fluids in the parallel conducting plates. Flow is two-dimensional, incompressible steady laminar flow over rectangular blocks, representing finite heat source on parallel plate. Heat transfer phenomena, temperature of blocks and heat transfer into the flow field are investigated for different spacings between blocks and Reynolds numbers. Results indicate that Nusselt number on the far upstream corner of the block was higher than that of any part of the block. As Reynolds number and spacings of blocks increased, Nusselt number increased. The distribution of local Nusselt number on the top surface of the conducting plate is similar to the case with insulated plate. Temperature of the block which has heat source in half cubage was approximately twice as high as temperature of the block which has heat source in whole cubage. As Reynolds number and spacings of blocks increased, overall temperature decreased. The peak value of block temperature occurred at position shifted to the right or upper right from center. The maximum temperature of block can be expressed as a function of Reynolds number, spacings between blocks, position of maximum temperature of each block and then it is possible to predict the maximum temperature of blocks.

### 1. 서 론

최근 전자산업의 급속한 발달로 집적회로의 소형화 추세에 따라 칩의 단면적이 작아지고 이에 의하여 칩의 단위면적당 열 발생률이 크게 증가하였다. 따라서 칩 내의 소자의 수명과 신뢰성 보장을 위하여 칩의 최대 온도를 저하시키는 것이 요구된다. 그러므로, 열이 발생하고 있는 가열된 소자를 냉각시키기 위한 방법으로 열의 분산을 극대화하기 위한 연구가 근래에 들어와서 활발히 진행되고 있다. 발표된 기존 논문에서는 주로 블럭이 부착된 판(plate)의 조건들을 변화시키면서 연구되었다. 초기에는 단열된 상태에서 시작하여, 최근에는 판과 유체 사이의 열전달을 무시할 수 없기 때문에, 판에 일정한 열전도계수가 있는 것으로 가정하고 문제를 해석하기도 하였다. 1982년에 Sparrow<sup>1)</sup> 등은 수평사각 덕트의 한벽에 열을 생성하는 블럭이 배열되어 있는 경우, 어떤 특정 블럭을 없애거나 또는 블럭 사이에 유동을 방해하는 막을 설치하여 그 주위의 열전달현상을 실험적으로 고찰하여 이때 열전달이 증가하는 현상을 발견하였다. 1984년에는 Sparrow<sup>2)</sup> 등은 수평유로 내에 설치된 여러개의 열을 생성하는 기준 블럭이 있는 경우, 표준 높이의 블럭에 비하여 높거나 낮은 블럭을 표준 높이의 블럭 사이에 설치함으로써, 또는 임의의 블럭을 없애므로서 열전달을 증가시킬 수 있음을 실험적으로 관찰하였다. Habchi와 Acharya<sup>3)</sup>는 1986년에 블럭이 부착된 수직 판을 가열평판 (hot plate)으로 맞은 편이 수직 판을 가열 또는 단열평판으로 가정하고 각각의 열전달 현상을 수치해법을 이용하여 연구하였다. 같은 해에 Ortega와 Moffat<sup>4)</sup>은 규칙적으로 판위에 부착된 유면체의 블럭이 연속적으로 나열되어 있다고 할 경우, 강제송풍시 발생하는 혼합대류 현상을 실험적으로 연구하였다. 이때 블럭이 부착된 수직 판을 단열상태로 해석하였다. Davalath 와 Bayazitoglu<sup>5)</sup>은 1987년에 3개의 블럭을 부착시키고, 각 블럭에서 일정한 열원이 있는 경우에 수평판의 조건을 2가지의 경우로 나누어서 해석하였다. 첫째는 절연된 판위에 3개의 블럭이 부착된 경우에서의 강제대류, 두번째는 판에서의 전도 열전달을 고려한 경우의 강제대류이며, 문제의 해석방법으로 유한체적법 (Finite Volume Method)을 사용하였으며 문제해석 중에서 압력에 관한 항은 SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 해법을 이용하여 수치적으로 해석하였다. 1988년에 Hung와 Shiao<sup>6)</sup>은 요철이 있는 판이 일정하게 가열되고, 그 맞은 편이 판은 단열된 경우의 열전달 현상을 관찰한 실험 결과를 발표하였고, 그 결과를 통해서 Nusselt 수, Grashof 수, Rayleigh 수 및 유로간격의 비와의 상호관계를

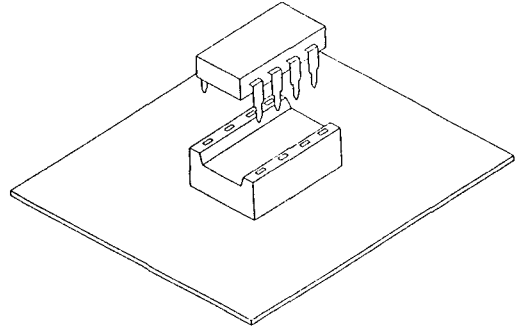


Fig. 1. Chip which is mounted by the socket.

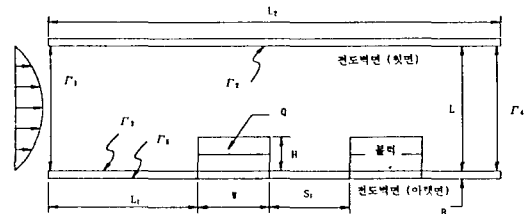


Fig. 2. Physical configuration and coordinate system.

밝혔다. Hsieh<sup>7)</sup> 등은 1990년에 단열된 수평 판에 부착되고 일정온도로 유지되는 블럭이 있는 통로에서 발생하는 강제대류를 수치해석과 실험을 병행 연구하여, 그 결과들을 비교하여 서로 유사함을 밝혀내었다.

기존 논문에서는 블럭전체에서 열원이 있다고 가정을 하였으나 현재 사용되고 있는 칩은 체적의 일부분에만 열원이 있다. 전자칩이 부착되어 있는 printed circuit board 내부에는 열이 전달되는 도선이 있기 때문에 단순히 단열되어 있다고 가정하는 것은 사실과 멀다. 그러므로 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 소켓에 끼워져 있는 칩을 해석대상으로 설정하여, 칩부분 즉 블럭의 1/2 체적에서 열원이 있다고 가정하여 블럭전체에서 열원이 있는 경우와 비교 하였다. 블럭이 부착된 수평판은 열전도 현상을 고려하여 전도판(conducting plate)이라고 가정하였고, 블럭의 갯수, 블럭 사이의 간격과 Reynolds 수를 변화시키면서 해석하였다.

### 2. 0 이 론

논문에서 고려되는 해석 모델은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 높이가  $h$ 이고 너비가  $w$ 이며 전체적 또는 1/2 체적에서 일정한 열생성율을 가지고 있는 블럭이 부착된 수평 유로이다. 유동은 2차원 정상상태 비압축성 유동이라고 하였다.

2-1. 무차원 지배 방정식

지배 방정식을 무차원화하기 위하여 다음과 같은 무차원변수를 도입한다.

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, W = \frac{w}{L}, H = \frac{h}{L}$$

$$U = \frac{u}{U_0}, V = \frac{v}{U_0}, P = \frac{p}{\rho U_0^2}, \theta = \frac{k_f}{Q} (T - T_0)$$

$$Re = \frac{U_0 L}{\nu}, Pr = \frac{\mu C_p}{k}, Pe = Re Pr$$

무차원 변수를 이용하여 무차원화 된 2차원 비압축성 지배 방정식은 다음과 같다.

유동 영역;  
연속 방정식;

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{1}$$

운동량 방정식;

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \nabla^2 U \tag{2}$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \nabla^2 V \tag{3}$$

에너지 방정식;

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Pe} \nabla^2 \theta \tag{4}$$

고체 영역 ( Block and Plate );

고체 부분에서는 유동이 없으므로 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$0 = \frac{K^*}{Pe} \nabla^2 \theta + \frac{1}{Pe} \frac{1}{WH} \quad (\text{블럭의 } 1/2 \text{ 체적}) \tag{5}$$

$$0 = \frac{K^*}{Pe} \nabla^2 \theta \quad (\text{블럭과 적도 벽면}) \tag{6}$$

여기서  $K^*$ 는 열전도계수의 비로서 유체영역에 대한 고체영역의 비이다.

2-2. 경계 조건

입구에서의 유동은 포물선 확립 유동이며 각 경계면에서의 무차원속도가 0이다. 수평유로에서의 상하평판의 온도분포는 PCB 판이 여러개 나열되어 있으므로 상평판과 하평판의 온도가 같은 반복되는 주기조건이다. 즉, 경계면  $\Gamma_2$ 와  $\Gamma_3$ 에서의 경계조건은 동일하다.

$$U = 6 Y (1 - Y), V = 0, \theta = 1.0 \text{ at } \Gamma_1 \tag{7}$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} = 0, \frac{\partial V}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0 \text{ at } \Gamma_4 \tag{8}$$

고체와 유체의 경계면에서는 no slip condition 이며, 온도는 연속적이고 에너지 평형이 이루어져야 하므로 다음과 같은 조건이 필요하다.

$$\theta|_{\text{interface}} = \theta_s|_{\text{interface}} \text{ at } \Gamma_2 \text{ and } \Gamma_3 \tag{9}$$

$$K_f \frac{\partial \theta_f}{\partial n} \Big|_{\text{interface}} = K_s \frac{\partial \theta_s}{\partial n} \Big|_{\text{interface}} \text{ at } \Gamma_2 \text{ and } \Gamma_3 \tag{10}$$

3. 수치해석 방법

수치해석방법으로는 연속방정식과 운동량방정식으로 부터 국부적인 압력수정을 하는 SIMPLER(Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation Revised) 알고리즘을 사용하였고 각 방정식의 해법으로는 TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm)을 사용하는 line-by-line 방법을 사용하여 반복계산을 하였다<sup>8)</sup>. 각 방정식을 풀때 하향이완계수(under relaxation factor)를 사용하였고 해석시 수렴조건은 다음과 같이 정하였다.

$$\left| \frac{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^n}{\psi_{i,j}^n} \right| < C \tag{11}$$

이때 유동장에 대하여는  $C = 5 \times 10^{-4}$ , 온도장에 대해서는  $10^{-4}$  보다 작을 때 수렴하였다고 간주하였다. x, y 방향으로 블럭주위에서 좀 더 조밀하게 격자를 나누는 불균일 격자계를 이용하였다. 블럭이 3개인 경우에는 x 방향으로 87개, y 방향으로 45개, 블럭이 5개인 경우에는 x 방향으로 115개, y 방향으로 45개로 격자를 나누었다. 계산에 사용된 Computer 기종은 CYBER-910 이고 CPU Time은 약 12~13시간 정도이다.

4. 결 과

본 연구에서는 Fig.1에 나타난 바와 같이 일정한 열을 발생하는 3개 또는 5개의 블럭이 부착된 수평 유로 내의 강제 대류 현상을 수치적으로 해석하였다. 여기서 W, H, L,  $L_1$ , B는 현재 사용하고 있는 칩의 크기에 기준을 두어  $W = 0.5, H = 0.25, L = 1.0, L_1 = 0.75, B = 0.05$ 으로 하였고,  $L_2$ 는 블럭이 3개인 경우 15.0, 블럭이 5개인 경우는 18.0으로 하였다. Reynolds 수는 750과 1000으로 Prandtl 수는 공기를 기준으로,  $k^*$ 는 기존의 수치해석

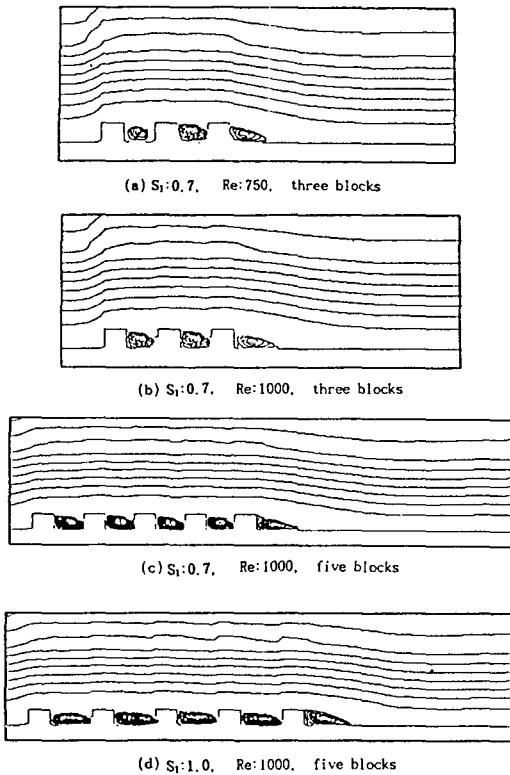


Fig. 3. Streamline over blocks.

- (a)  $S_1 : 0.7, Re : 750, \text{ three block}$
- (b)  $S_1 : 0.7, Re : 1000, \text{ three block}$
- (c)  $S_1 : 0.7, Re : 1000, \text{ five block}$
- (d)  $S_1 : 1.0, Re : 1000, \text{ five block}$

논문<sup>5,7)</sup>과 비교하기 위해 각각 0.7, 10으로 계산하였다. 한편 Nusselt 수는 다음과 같이 정의하였다.

$$Nu = \frac{hL}{k_f} = - \frac{1}{\theta_w} \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_w \quad (\text{블럭과 전도벽면의 윗면})$$

$$Nu = \frac{hL}{k_f} = - \frac{1}{\theta_w} \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_w \quad (\text{블럭의 양측면})$$

Fig. 3은 Reynolds 수와 블럭사이의 간격 변화에 따른 유선분포를 나타낸 것이다. 블럭 주위에서 유선이 굽어지며, 블럭 뒷부분에서 유동의 재순환이 발생한다. Reynolds 수가 증가할수록 블럭 뒷부분에서의 유동 재순환의 영역이 커지게 된다. 한편 본 논문의 해석 범위에서는 블럭 앞부분에서는 재 순환 영역이 나타나지 않았는데, 이는 입구에서의 속도분포를 확립유동 속도 분포와 동일하게 가정하였기 때문이다. 입구에서의 속도가 균일하다고 가정한 경우에도, 블럭의 크기와 무

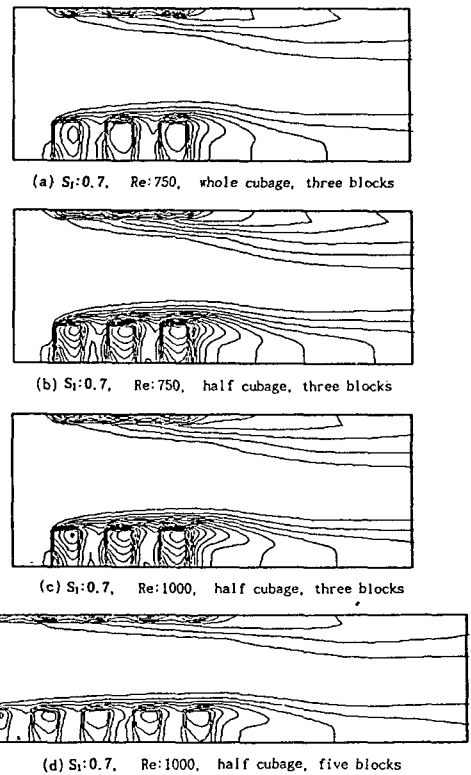
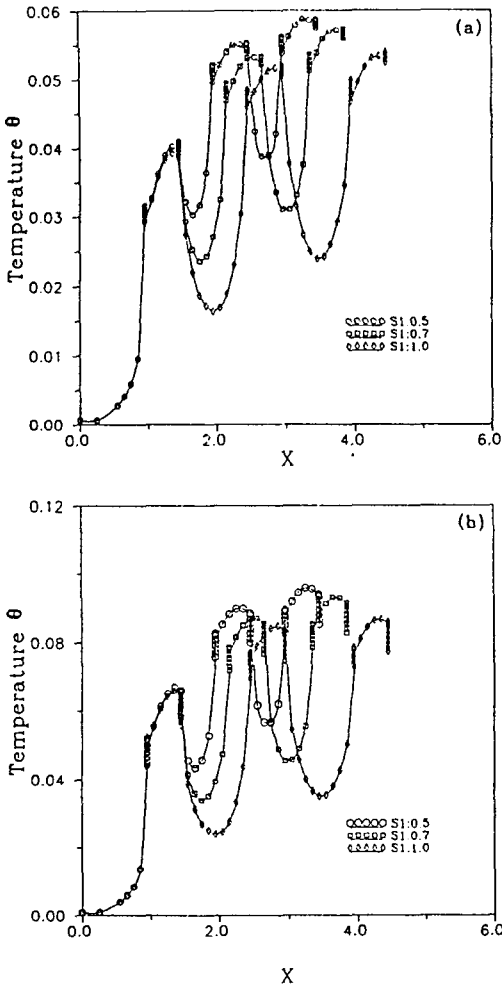


Fig. 4. Temperature contours for blocks.

- (a)  $S_1 : 0.7, Re : 750, \text{ whole cubage, three block}$
- (b)  $S_1 : 0.7, Re : 750, \text{ half cubage, three block}$
- (c)  $S_1 : 0.7, Re : 1000, \text{ half cubage, three block}$
- (d)  $S_1 : 0.7, Re : 1000, \text{ half cubage, five block}$

차원 수의 범위에 따라서는 이 부분에 재순환 영역이 나타나지 않았음을 참고 문헌에서 알 수 있다<sup>3,5,6,7)</sup>.

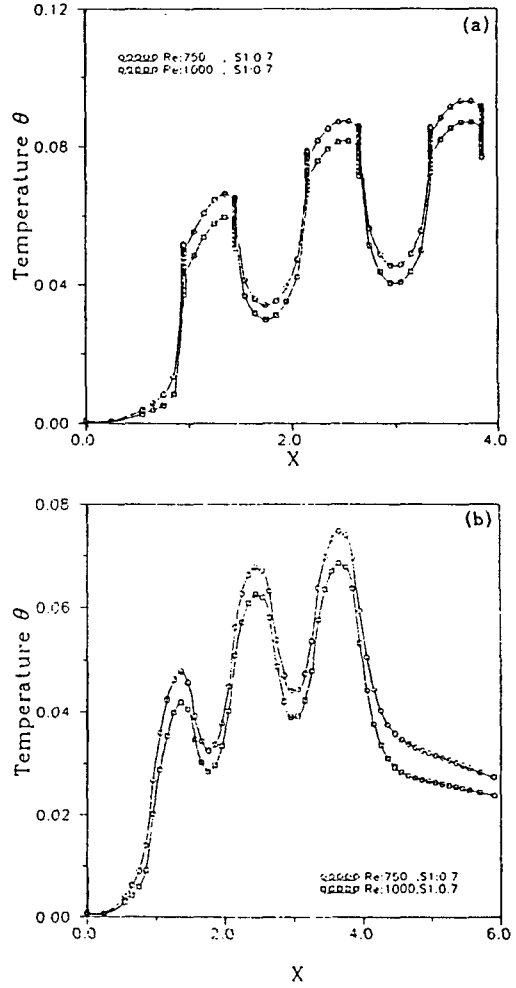
Fig.4는 Reynolds 수의 변화, 열원이 블럭의 전 체적 또는 1/2 체적에 있는 경우에 따라 온도 분포를 나타낸 것이다. 블럭의 전체적에서 열원이 있는 경우보다 1/2 체적에서 열원이 있는 경우가 온도값이 높게 나타났으며, 블럭 뒷부분에서는 유동의 재순환이 발생하므로, 이 순환에 의하여 맨 마지막 블럭 뒷부분에서 등온선이 뒤로 치지는 형태를 나타내고 있다. Reynolds 수가 증가할수록 블럭 뒷부분에서의 재순환 영역이 커지게 되므로 등온선이 더욱 더 뒤로 치지는 형태를 나타낸다. 전도벽면 부근에서는 온도구배가 존재함을 알 수 있다. 즉 열전달이 일어나고 있다는 것을 알 수 있으며 단열이라고 가정해서는 안된다. 수평판의 조건이 단열되어 있다고 가정한 경우에는 블럭내의 최고 온도를 나타내는 지점의 위치가 단열면 근처이나, 본 논문에서와 같이 전도 벽면의 경우에는 이 위치가 블럭내의 중심에서



**Fig. 5. Dimensionless wall temperature(top surface) for three blocks.**  
**(a)  $Re : 750$ , whole cubage (b)  $Re : 750$ , half cubage**

우측 상단 부근으로 치우쳐있다. 블럭의 1/2 체적에서 열원이 있는 경우의 최고 온도 위치는 블럭의 전체적에서 열원이 있는 경우의 위치보다 더 상단에 치우침을 알 수 있다<sup>4,5,7</sup>.

Fig. 5와 Fig. 6은 Reynolds 수와 블럭사이의 간격 변화에 따라 열발생이 1/2 체적 또는 전체적에서 있을 경우, 블럭의 표면 및 전도벽면의 윗면(top surface), 전도 벽면의 아랫면(bottom surface)에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 블럭의 전체적에서 열원이 있는 경우보다 1/2 체적에서 열원이 있는 경우가 온도 값이 높게 나타나고 있으며, Reynolds 수와 블럭사이의 간격이 증가할수록 온도가 낮아진다. 블럭



**Fig. 6. Dimensionless wall temperature for three blocks.**  
**(a) Dimensionless wall temperature(top surface) at different Reynolds number**  
**(b) Dimensionless wall temperature(bottom surface) at different Reynolds number**

표면의 우측부분 온도값이 블럭의 다른 표면에서의 온도값 보다 높게 나타난다.

Fig. 7와 Fig. 8은 Reynolds 수와 블럭사이의 간격의 변화에 따라 블럭표면과 전도 벽면의 윗면에서의 Nusselt 수와 전도 벽면의 아랫면에서의 Nusselt 수의 분포를 나타낸 것이다. 블럭 윗면의 좌측 부분의 Nusselt 수가 다른 부분의 값 보다 크게 나타나며 Reynolds 수와 블럭사이의 간격이 커질수록 그 값은 증가함을 알 수 있다. 아랫면의 경우에도 블럭이 있는 위치에서는 Nusselt 수가 증가하였다. 전도벽면의 블럭 표면에서의 Nu-

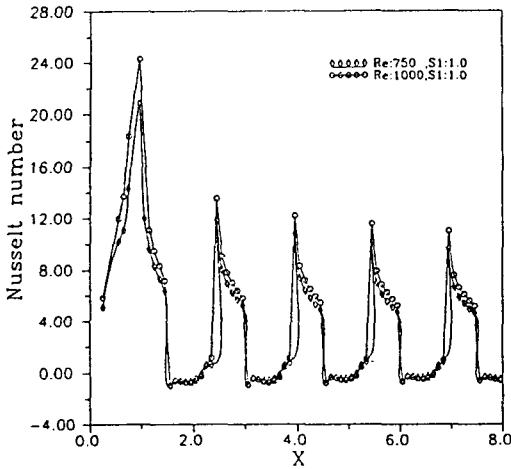


Fig. 7. Nusselt number (top surface) at different Reynolds numbers.

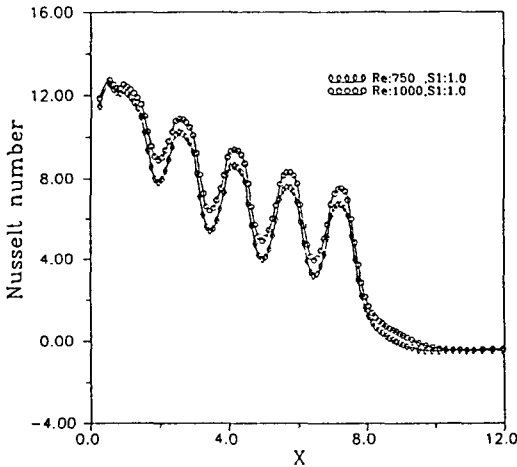


Fig. 8. Nusselt number (bottom surface) at different Reynolds numbers.

sselt 수의 분포는 블록이 부착된 판의 조건이 단일인 경우와 비슷하였다<sup>3,6,7</sup>.

블록내의 최고 온도는 Reynolds 수, 수평유로의 조건 그리고 다른 변수들의 조건에 의해 얻어지게 된다. Reynolds 수와 블록사이의 간격이, 증가할수록 온도값이 감소하므로 서로 반비례의 관계이며, 블록내의 최고 온도위치는 X의 값이 증가할수록 커지므로 비례 관계이다. 그러므로, 이러한 관계를 고려하여 블록의 1/2 체적에서 열발생이 일어나는 경우의 블록의 최고 온도를 Fig. 9에 나타내 듯이 무차원 변수들로 이루어진 상관 함수로 표시가능하며, 이 함수를 이용하여 블록내의

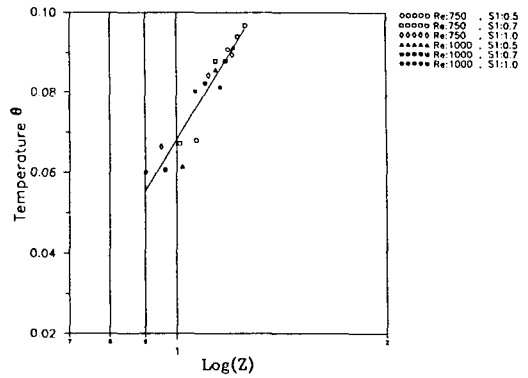


Fig. 9. Correlation function between maximum temperature and dimensionless groups for three blocks.

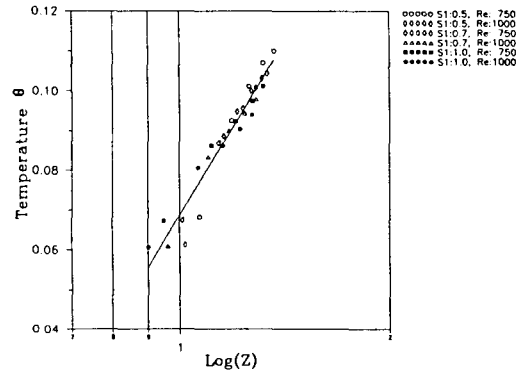


Fig. 10. Correlation function between maximum temperature and dimensionless groups for five blocks.

최고 온도값을 예측할 수 있다. 블록내의 최고 온도와 무차원 변수들과의 상관 함수는 다음과 같다.

$$\text{블록 3개인 경우} : 10u = 0.122 \text{ Log}(Z) + 0.0682 \quad (12)$$

$$\text{블록 5개인 경우} : 10u = 0.127 \text{ Log}(Z) + 0.0688$$

$$\text{여기서 } Z = \frac{X^a}{R_c^b S_1^c}, \quad a=0.500, \quad b=0.388,$$

$$c=0.388 \text{이다.}$$

Z는 온도의 x 축 위치, Reynolds 수 그리고 블록과 블록사이의 간격으로 이루어진 함수를 의미한다.

### 5. 결 론

유한체적법(Finite Volume Method)을 이용하여 블럭이 3개 그리고 5개 부착된 수평 유로내의 강제 대류 열전달 현상을 해석하였다. 전도벽면에 부착된 블럭내

에서는 1/2체적과 전체적에서 열원이 있다고 가정하였고, 유동은 정상상태 비압축성 유동이라고 하였다.

블럭 사이의 간격과 Reynolds 수가 증가할수록 전체 온도가 낮아졌으며 전체적에서 열원이 있는 경우 보다 1/2 체적에서 열원이 있는 경우가 온도값이 높게 나타났다. 반면에 수평판의 조건이 단열되어 있는 경우 보다 전도벽면으로 가정한 경우가 온도값이 낮게 나타난다. 수평판의 조건이 단열되어 있다고 가정한 경우에는 최고 온도 값의 위치가 단열면 근처이나, 전도벽면의 경우에는 블럭내의 중심에서 우측 상단으로 치우쳐 있다. 블럭이 부착되어 있는 판의 표면과 반대편의 판의 표면 부근에서는 온도구배가 있음을 알 수 있다. 그러므로 열전달이 일어나고 있기 때문에 단열이라고 가정해서는 안된다. 블럭내의 최고 온도는 Reynolds 수, 블럭사이의 간격 그리고 다른 변수들의 조건에 의해 얻어지게 된다. 그러므로, 블럭내의 최고 온도값은 이러한 무차원 변수들과의 상관 함수를 이용하여 그 값을 예측할 수 있다.

블럭 3개인 경우 :  $\theta = 0.122 \text{ Log}(Z) + 0.0682$

블럭 5개인 경우 :  $\theta = 0.127 \text{ Log}(Z) + 0.0688$

여기서  $Z = \frac{X^a}{R_c^b S_1^c}$ ,  $a = 0.500$ ,  $b = 0.388$ ,

$c = 0.388$ 이다.

### 참고문헌

1. Sparrow, E. M., Niethammer, J. E. and Chaboki, A., "Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Arrays of Rectangular Modules Encountered in Electronic Equipments", *Int. J. Heat Mass Transfer*, **25**(7), pp. 961 (1983).
2. Sparrow, E. M., Yanezmoreno, A. A. and Qtb, Jr. D. R., "Convective Heat Transfer Response to Height Differences in an Array of Block-Like Electronic Components", *Int. J. Heat Mass Transfer*, **27**(3), pp. 469 (1984).
3. Habchi, S. and Archarya, S., "Laminar Mixed Convection in a Partially Blocked Vertical Channel", *Int. J. Heat Transfer*, **29**(11), pp. 1711 (1986).
4. Ortega, A. and Moffat, R. J., "Buoyancy Induced Convection in a Non-Uniformly Heated Array of Cubical Elements on a Vertical Channel Wall", *Heat Transfer in Electronic Equipment*, **57**, pp. 123 (1986).
5. Davalath, J. and Bayazitoglu, Y., "Forced Convection Cooling Across Rectangular Blocks", *J. Heat Transfer*, **109**, pp. 321 (1987).
6. Hung, Y. H. and Shiau, W. M., "Local Steady-State

Natural Convection Heat Transfer in Vertical Parallel Plates with a Two Dimensional Rectangular Rib", *Int. J. Heat Mass Transfer*, **31**(6), pp. 1279 (1988).

7. Hsieh, S. S., Shih, H. J. and Hong, Y. J., "Laminar Forced Convection from Surface-Mounted Ribs", *Int. J. Heat Mass Transfer*, **33**(9), pp. 1987 (1990).
8. Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Company, New York (1980).

### 사용기호

- B : 수평 판의 두께  
 $C_p$  : 정압 비열  
H : 블럭 높이의 무차원 수  
h : 블럭의 높이  
n : 기준면의 수직 방향  
 $k_f$  : 유체의 열전도율  
 $k_s$  : 고체의 열전도율  
 $k^*$  : 유체의 열전도율에 대한 고체의 열전도율의 비  
L : 수평 유로의 폭  
 $N_u$  : 국소 Nusselt 수  
P : 유체 압력의 무차원 수  
p : 유체의 압력  
 $P_e$  : Peclet 수  
 $P_r$  : Prandtl 수  
 $S_1$  : 블럭과 블럭사이의 간격  
T : 온도  
 $T_o$  : 입구에서의 유체 온도  
Q : 각 블럭의 단위 길이당 발생열량  
 $R_c$  : Reynolds 수  
U, V : 무차원 속도성분  
u, v : x, y 방향 유체 속도 성분  
 $U_o$  : 입구에서의 x 방향 평균유체속도  
W : 블럭의 폭의 무차원 수  
w : 블럭의 폭  
X, Y : 무차원 좌표  
x, y : 좌표  
 $\Gamma_1$  : 입구에서의 경계면  
 $\Gamma_2$  : 상평판에서의 아래 경계면  
 $\Gamma_3$  : 하평판에서의 윗 경계면  
 $\Gamma_4$  : 출구에서의 경계면  
 $\Gamma_5$  : 하평판에서의 아래 경계면  
 $\theta$  : 무차원 온도  
v : 동점성계수  
 $\mu$  : 점성계수  
 $\rho$  : 유체의 밀도