

경사진 정사각형 밀폐공간 내에 있는 고온부로부터의 자연대류열전달

권순석* · 정태현**

* 동아대학교 공과대학 기계공학과

** 동아대학교 대학원 기계공학과

Natural Convection Heat Transfer from a Hot Body in an Inclined Square Enclosure

Kwon, Sun-Sok · Chung, Tae-Hyun

Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.

요 약

정상상태에서 고온부가 존재하는 밀폐공간내의 자연대류 열전달을 $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ 및 $k_s/k_f=14710$ 조건에서 경사각을 변화시켜 연구하였다. 고온부는 밀폐공간 면적의 1/25을 차지하고 형상비는 1.0이다. 전체평균 누셀트 수는 경사각을 증가시키면 감소하였고 $\theta=90^\circ$ 인 경우가 $\theta=0^\circ$ 일때보다 14% 낮게 나타났다.

ABSTRACT

Laminar natural convection heat transfer from a hot body in a square enclosure has been studied for various inclination angles at $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ and $k_s/k_f=14710$. The area of a hot body is 1/25 of the enclosure and the aspect ratio is 1.0. The total mean Nusselt number decreases as the inclination angle increases and in case of $\theta=90^\circ$ is 14% lower than that of $\theta=0^\circ$.

〈기호설명〉

- F : 부력항 제어상수
 g : 중력가속도(m/sec²)
 Gr : 그라스호프수, $g\beta L^3(T_s - T_o)/\nu^2$
 h : 열전달 계수(kcal/m²h)
 k : 열전도율(kcal/mh)
 HR : 우측 고온부
 HL : 좌측 고온부
 HT : 윗측 고온부
 HB : 아래측 고온부
 CR : 우측 저온벽면
 CL : 좌측 저온벽면
 KR : 열전도율 비, k_s/k_r
 L : 특성길이(m)
 Nu : 국소 누셀트 수, hL/k
 P : 무차원 압력, $(\rho L^2)/(\rho\nu^2)$
 Pr : 프란틀 수, $\nu\alpha$
 T : 온도(°C, K)
 U : 무차원 X방향 속도, $u/(v/L)$
 V : 무차원 Y방향 속도, $v/(v/L)$
 X : 밀폐공간 무차원 수평방향 좌표, x/L
 X' : 고온부 무차원 수평방향 좌표, x'/L
 Y : 밀폐공간 무차원 수직방향 좌표, y/L
 Y' : 고온부 무차원 수직방향 좌표, y'/L
 α : 열확산 계수(m²/sec)
 β : 체적팽창 계수(K⁻¹)
 Γ : 무차원 확산계수
 ν : 동점성 계수(m²/sec)
 Φ : 무차원 온도, $(T - T_o) / (T_s - T_o)$
 ψ : 유동함수, $\int v dx$
 Ψ : 무차원 유동함수, ψ/uL
 θ : 경사각(Radian)

〈첨 자〉

- c : 고온부 중심위치
 f : 주위 유체
 H : 고온부 표면
 o : 저온부 표면
 s : 고온물체
 T : 전체
 - : 평균

1. 서 론

밀폐공간에서의 자연대류 열전달 현상은 원자로 및 전자장비의 냉각장치, 태양열 집열기등에서 볼 수 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한면이 고온으로 유지되고 다른 한면은 저온으로 되어 있는 직각 밀폐공간내의 자연대류 열전달에 관한 연구로서 Macgregor와 Emery¹⁾는 Grashof수에 따라서 전도영역, 전도와 대류 혼합영역, 대류영역으로 구분하였고 Prandtl수, Rayleigh수, 형상비의 영향에 대해서 수치해석하였고 실험으로 비교하였다.

Poulikakos²⁾는 수직벽의 일부는 가열되고 일부는 냉각되는 건물의 외부벽면을 가정하여 형상비와 Rayleigh수를 변수로 하여 열전달 특성을 고찰하였고, 김등³⁾은 코어영역에서의 유동은 Prandtl수가 낮을수록 비선형으로 나타나고 Prandtl수가 1×10^{10} 인 경우는 두 셀을 잇는 축에 거의 수평을 이루었다고 보고하였다.

공간내부에 차폐막등의 유동방해물이 부착된 경우에는 Emery⁴⁾가 원자로의 냉각장치를 모델로 한개의 수직차폐막이 공간 내부에 부착되었을 때 차폐막의 길이를 변수로 하여 온도분포등을 보고한 후, Olson⁵⁾은 R114 가스를 작동유체로 하고 Rayleigh수가 1×10^{10} 상태에서 밀면의 단열벽면에 수직차폐막이 부착된 경우에 벽면 가까이에서 난류가 형성되고 코어에서 2차유동의 층류가 생성된다고 보고하였다.

밀폐공간 내의 내부발열체 및 고온 물체에 관한 연구로서 Exeter등⁶⁾이 유한요소법으로 공간내에 존재하는 작은 돌기 발열체의 열전달에 관하여 속도와 온도분포등을 보고하였고, 이⁷⁾는 형상비가 4와 1/4인 고립된 발열물체를 가지는 정사각형 밀폐공간 내에서의 자연대류 열전달 및 유동특성에 관하여 연구하였고, House등⁸⁾은 정사각형 밀폐공간 내부에 고체가 존재하는 경우 고체부분의 열전도율과 크기의 변화로 전열 특성을 보고하였다.

경사진 사각공간에 관한 연구로써 Inaba⁹⁾는 높은 종횡비의 경사진 사각 내에서 경사각이 감소하고 Rayleigh수가 증가할 때 다세포 유동이 발생된다고 보고하였고, 공간 내부에 격판으로써 차폐막이 부착된 경우 Meyer등¹⁰⁾은 격판의 두께가 길의 1/10이면 대칭적인 유동이 생성된다고 보고하였고, Acharya와 Tsang¹¹⁾은 격판이 공간의 중앙에 위치할때 형상비와 경사의 변화에 따라서 이차유동(secondary flow)과 삼차유동(tertiary flow)을 보고하였고 이어서 격판의 위치를 이동시켜 연구하였다.

이상에서 살펴본 것들은 양쪽벽면이 고온과 저온으로 유지되고 차폐막이 부착된 경우^{1~5)}, 내부 발열체 혹은 고온물체가 공간 내부에 있는 경우^{6~8)} 및 경사진 사각내에서 열전달^{9~11)}을 연구하였다.

본 연구는 방으로 부터의 열손실 및 특수공간 내에서의 열전달에 응용할 수 있는 자료를 얻기 위하여 밀폐공간 면적의 1/25을 차지하고 형상비가 1.0인 고온부가 존재하는 밀폐공간내의 자연대류 열전달을 $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ 및 $k_s/k_f=14710$ 조건에서 경사각에 따른 열전달 변화를 수치해석하였다.

2. 지배방정식 및 수치해석방법

Fig. 1은 수치해석을 행한 경사진 밀폐공간에서의 기하학적인 계의 개략도로써 외부의 좌, 우벽면은 저온면으로 $\Phi=0$ 로 두었고, 상, 하벽면은 단열벽으로 가정하였다. 저온면이 수직일 때의 경사각을 $\theta=0^\circ$ 로 하였으며 반시계방향으로 경사각이 증가하고 작동유체는 공기로서 300K를 물성치로 채택하였다.

본 연구에서의 유체는 2차원 정상상태 층류유동이고 Boussinesq근사에 적용되며 복사열전달 및 점성소산은 무시하는것으로 가정하였으며 이를 이용한 무차원 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad \dots(1)$$

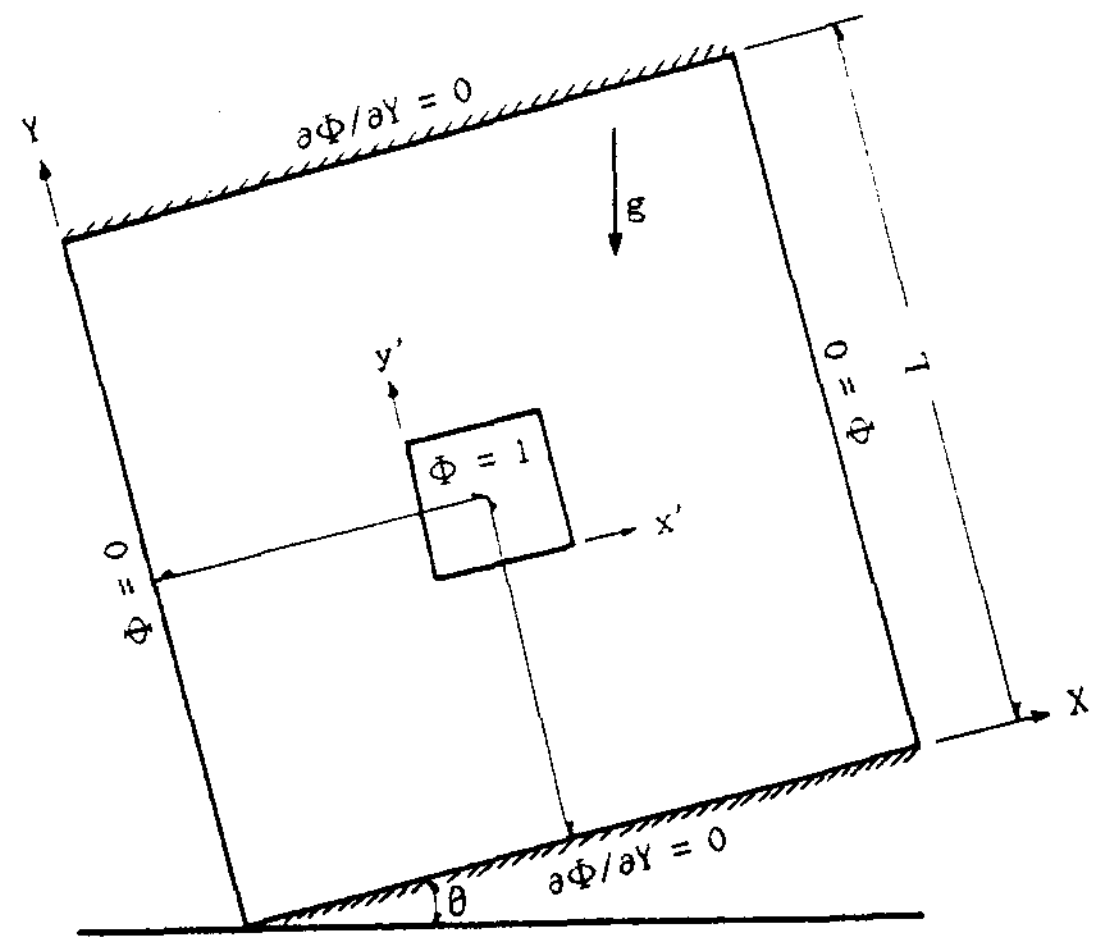


Fig. 1 Schematic diagram of an inclined square and enclosure with a hot square.

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \Gamma \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) + Gr \cdot \Phi(1-F) \sin \theta \quad \dots(2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \Gamma \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Gr \cdot \Phi(1-F) \cos \theta \quad \dots(3)$$

$$U \frac{\partial \Phi}{\partial X} + V \frac{\partial \Phi}{\partial Y} + \frac{KR}{Pr} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Y^2} \right) \quad \dots(4)$$

경계조건은 다음과 같다.

외부저온벽면 :

$$X=0, 1(0 < Y < 1) ; U=V=\Phi=0$$

외부 단열벽면 :

$$Y=0, 1(0 < X < 1) ; U=V=\partial \Phi / \partial Y=0$$

고온부 고체부분 :

$$U=V=0, \Gamma=0, KR=k_s/k_f, F=1$$

유체 유도부분 :

$$\Gamma=1, KR=1, F=0 \quad \dots(5)$$

지배방정식은 제어체적방식으로 차분화하였고, 유체유동장의 계산에서는 SIMPLE방법을 사용하였다. 격자수는 48×48로 엇갈린 격자를 사용하였으며 각 변수에 대한 경계 내부점의 반복 계산시에는 TDMA를 이용한 선순법을 적용하였다.

본 해석의 수렴조건은 고온부에서 유입되는 열량과 저온부로 유출되는 열량의 열평형오차가 0.01% 이내로 하였다. 밀폐공간에서의 속도, 온도를 수치해석에 의하여 해석한 후, 이의 결과에 의하여 유동함수 분포를 구하였고 Nusselt수는 유한의 두께에 일정한 열전도율을 가지는 경우 다음과 같이 열전도율을 고려하여 구한다.

고온부 좌, 우측면 국소 Nusselt수 :

$$Nu_H = h_H L / k_f = - [2KR / (1 + KR)] (1 / \Phi_H) (\partial \Phi / \partial X) \quad (6)$$

고온부 좌, 우측면 평균 Nusselt수 :

$$Nu_H = h_H L / k_f$$

$$= (1/0.2) \int Nu_H \Phi_H dY' \quad (7)$$

고온부 상, 하면 국소 및 평균 Nusselt수는 식 (6) 및 식(7)과 유사한 방법으로 구한다.

저온부 좌, 우측면 국소 Nusselt수 :

$$Nu_o = h_o L / k_f = - (\partial \Phi / \partial X) \quad \dots(8)$$

저온부 좌, 우측면 평균 Nusselt수 :

$$Nu_o = h_o L / k_f = \int Nu_o dY \quad \dots(9)$$

3. 결과 및 고찰

밀폐공간 내의 중앙에 고온물체가 위치한 경우 $Gr = 1.5 \times 10^5$, $Pr = 0.71$ 및 $k_s/k_f = 14710$ 인 조건에서 경사각을 $\theta = 0^\circ$ 에서 90° 까지 15° 씩 증가하여 열전달 및 유체유동 특성을 고찰하였다.

Fig. 2는 경사각을 $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 및 90° 로 변화시킨 경우의 등온선의 분포를 나타내고 있다. 등온선의 고온부와 냉각면 주위에서 조밀하게 나타났으며, 경사각이 증가함에 따라 단열벽의 영향으로 분리되는 경향을 보였고

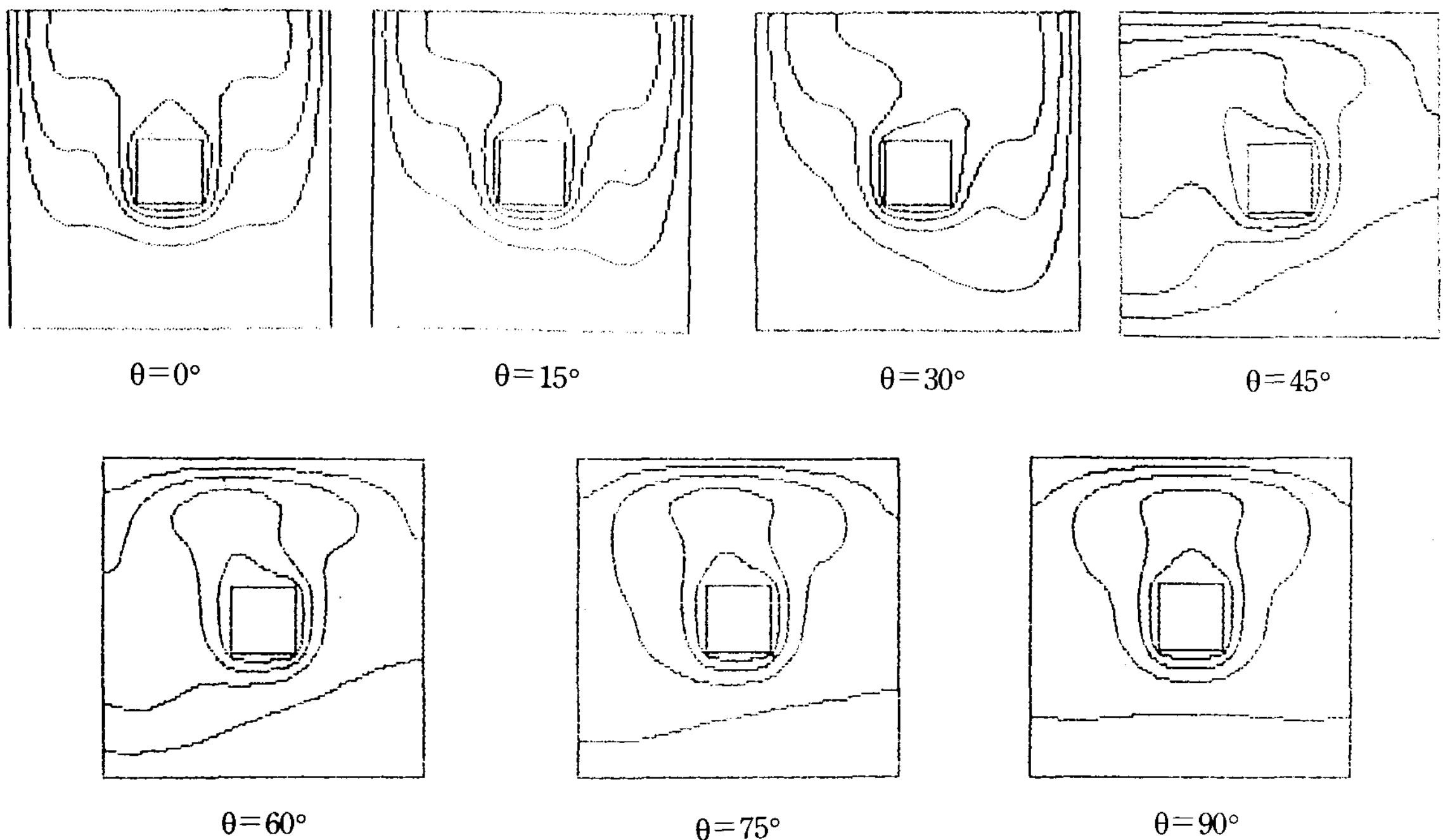


Fig. 2 Isotherms for $Gr = 1.5 \times 10^5$, $Pr = 0.71$, $k_s/k_f = 14710$. $\Delta \Phi = 0.2$.

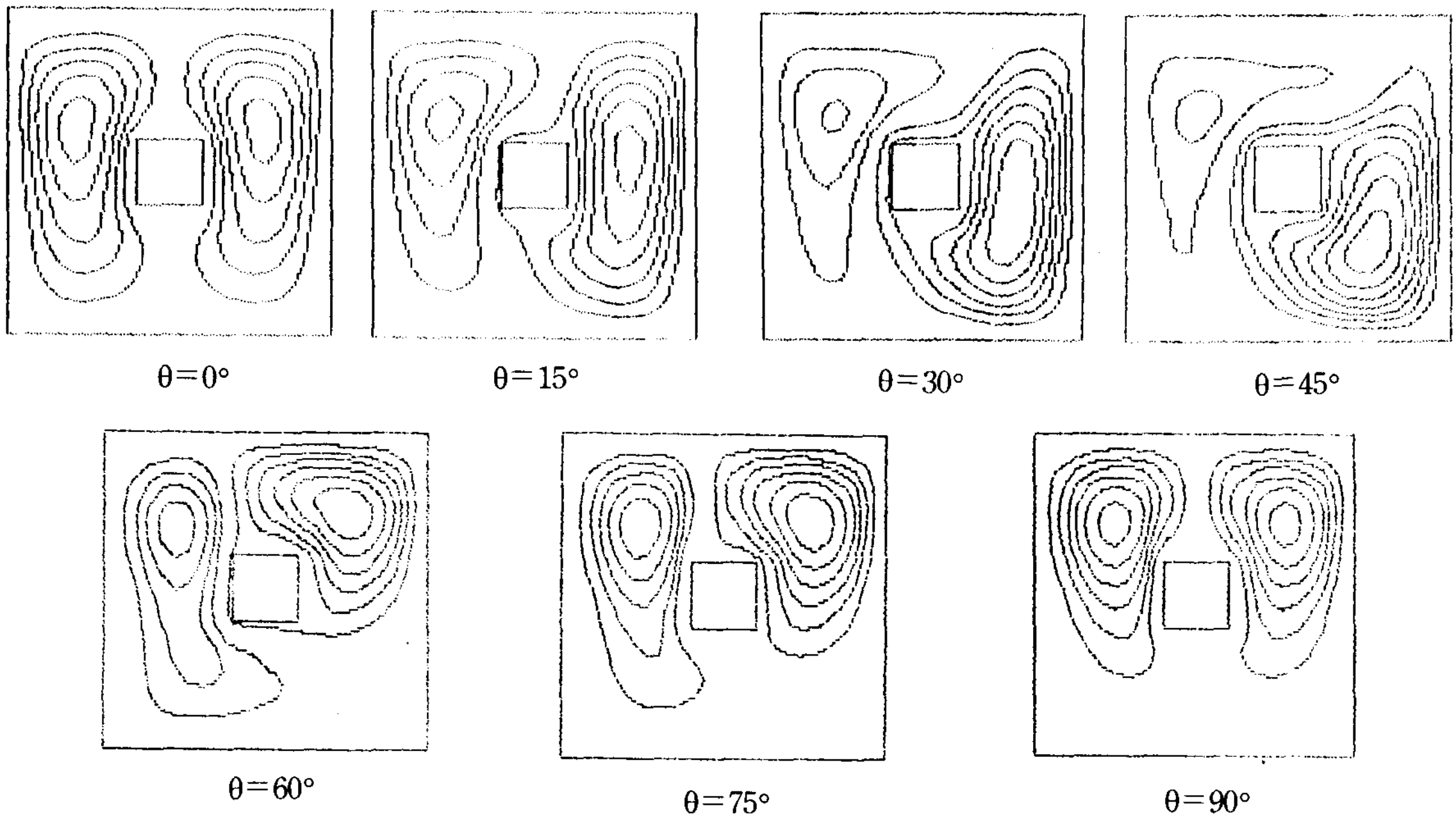


Fig. 3 Streamlines for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $K/K_j=14710$, $\Delta\Psi=2.0$.

thermal plume에 부딪치는 우측 저온벽면 부근에서 더욱 조밀하였다. 경사각이 $\theta=0^\circ$ 인 경우에는 밀폐공간 내부에 온도분포가 좌, 우로 대칭되어 고르게 나타났다.

Fig. 3은 경사각을 $\theta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 및 90° 로 변화시킨 경우의 유선의 분포를 나타내고 있다. 일반적으로 유동은 고온부의 주위에서 상승하고 밀폐공간의 저온벽면을 따라 하강하였으며, 경사각이 증가함에 따라 고온부의 왼쪽보다 오른쪽 공간에서 유동이 더욱 활발하였다. 순환거리가 커짐에 따라 고온부의 왼쪽보다 오른쪽 공간에서 유동이 더욱 활발하였다. 순환거리가 커짐에 따라 유동폭이 커져서 가열된 유체가 활발하게 유동한 $\theta=45^\circ$ 에서 최대 유동함수의 값을 나타내었고 $\theta=90^\circ$ 인 경우에는 단열벽의 영향으로 유선은 상부쪽으로 이동하였다.

Fig. 4는 경사각이 $\theta=0^\circ, 45^\circ$ 및 90° 인 경우 $Y=0.5$ 에서 X 에 대한 온도 분포를 나타내었다. 온도는 $X=0.6-0.9$ 위치에서 $\theta=45^\circ$ 와 90° 의 경우 thermal plume에 쌓여 완만한 강하를 나타내었고, $\theta=0^\circ$ 에서는 좌, 우 대칭인 현상을 나타내었다.

Fig. 5는 경사각이 $\theta=0^\circ, 45^\circ$ 및 90° 인 경우

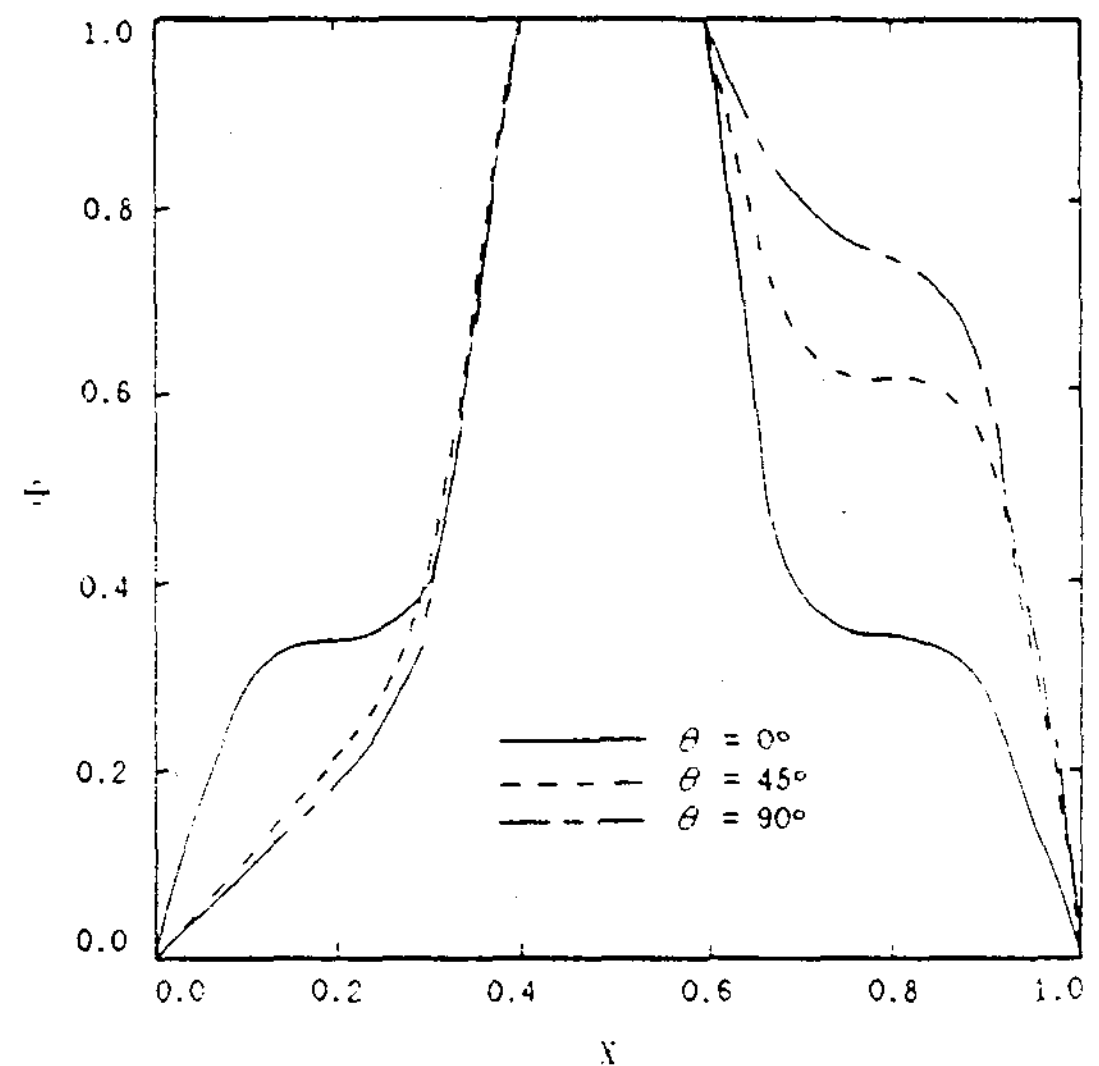


Fig. 4 Temperature distributions at $Y=0.5$ for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k/k_j=14710$.

$X=0.5$ 에서 Y 에 대한 온도 분포를 나타내었다. 모든 경우에 있어서 온도는 단열벽면으로 인하여 벽면에서 0이 아닌 일정한 값을 가지며, $\theta=90^\circ$ 인 경우에는 좌, 우 대칭인 분포를 나타내었고, $\theta=45^\circ$ 의 경우는 $Y=0.8$ 이상에서 온도반전 현상을 나

타내었는데 이는 단열벽을 따라서 냉각되지 않은 유체가 순환하기 때문이다.

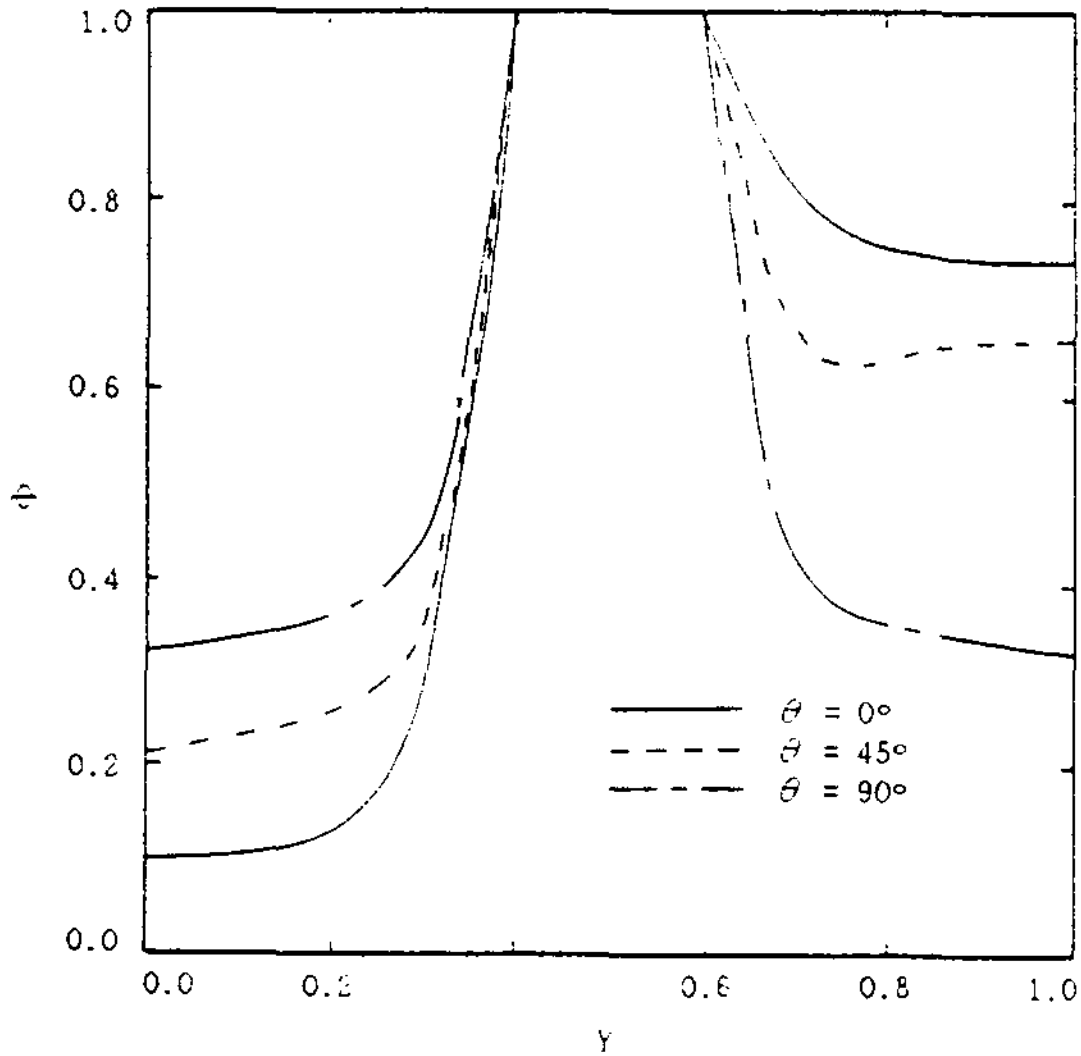


Fig. 5 Temperature distributions at $X=0.5$ for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k_s/k_f=14710$.

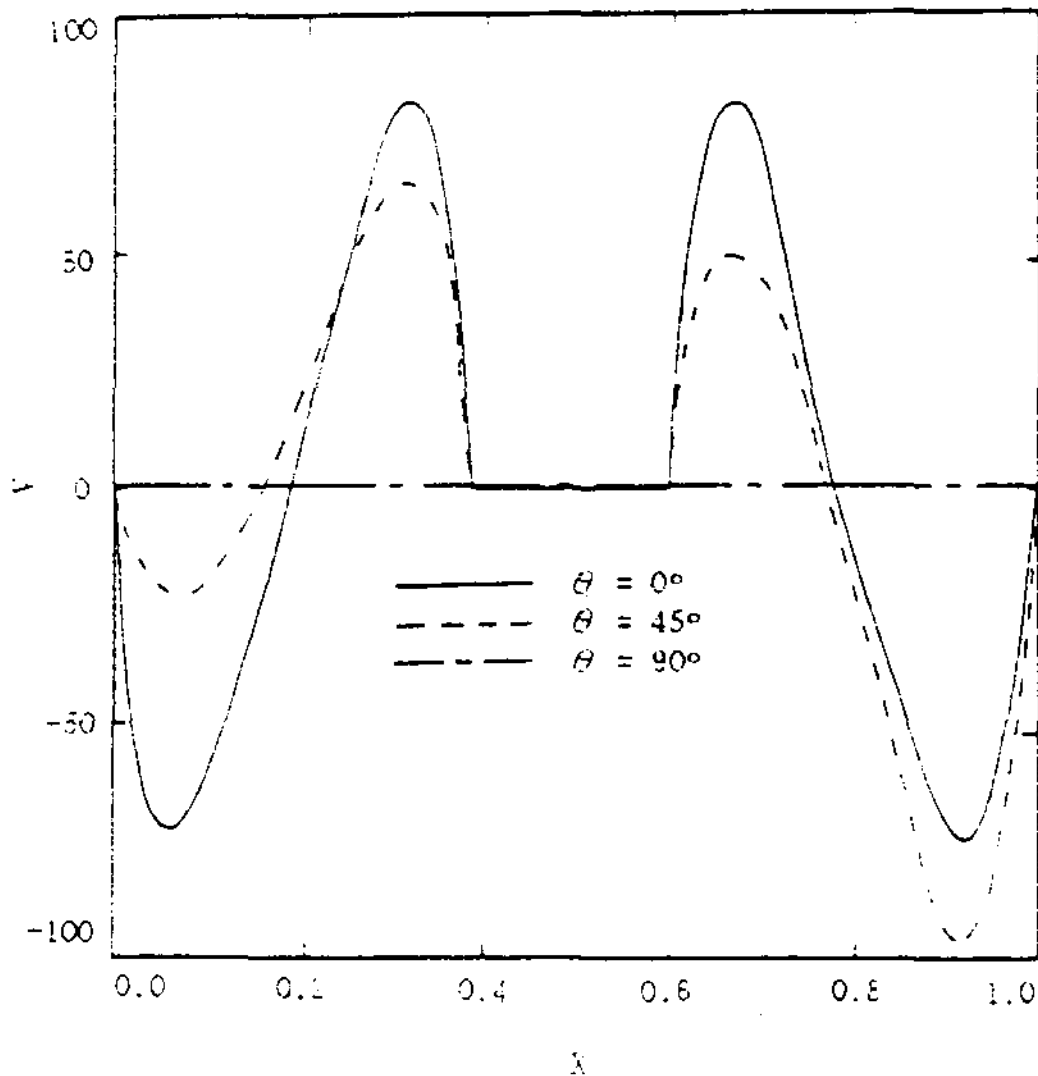


Fig. 6 Vertical velocity distributions at $Y=0.5$ for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k_s/k_f=14710$.

Fig. 6은 경사각이 $\theta=0^\circ$, 45° 및 90° 인 경우 $Y=0.5$ 에서 X 에 대한 수직방향 속도 분포를 나타내고 있다. $\theta=0^\circ$ 인 경우에는 유체가 고온부 주위에서 가열되어 상승하였다가 좌, 우 저온벽

면을 따라 하강하면서 냉각되어지므로 상, 하향류가 좌, 우 대칭으로 나타나고, $\theta=45^\circ$ 인 경우에는 우측 저온벽면이 상부에 위치하여 이 벽면을 따라 하강 유동이 활발하여 좌측보다 우측 속도 분포가 크게 나타났으며, $\theta=90^\circ$ 인 경우에는 좌,

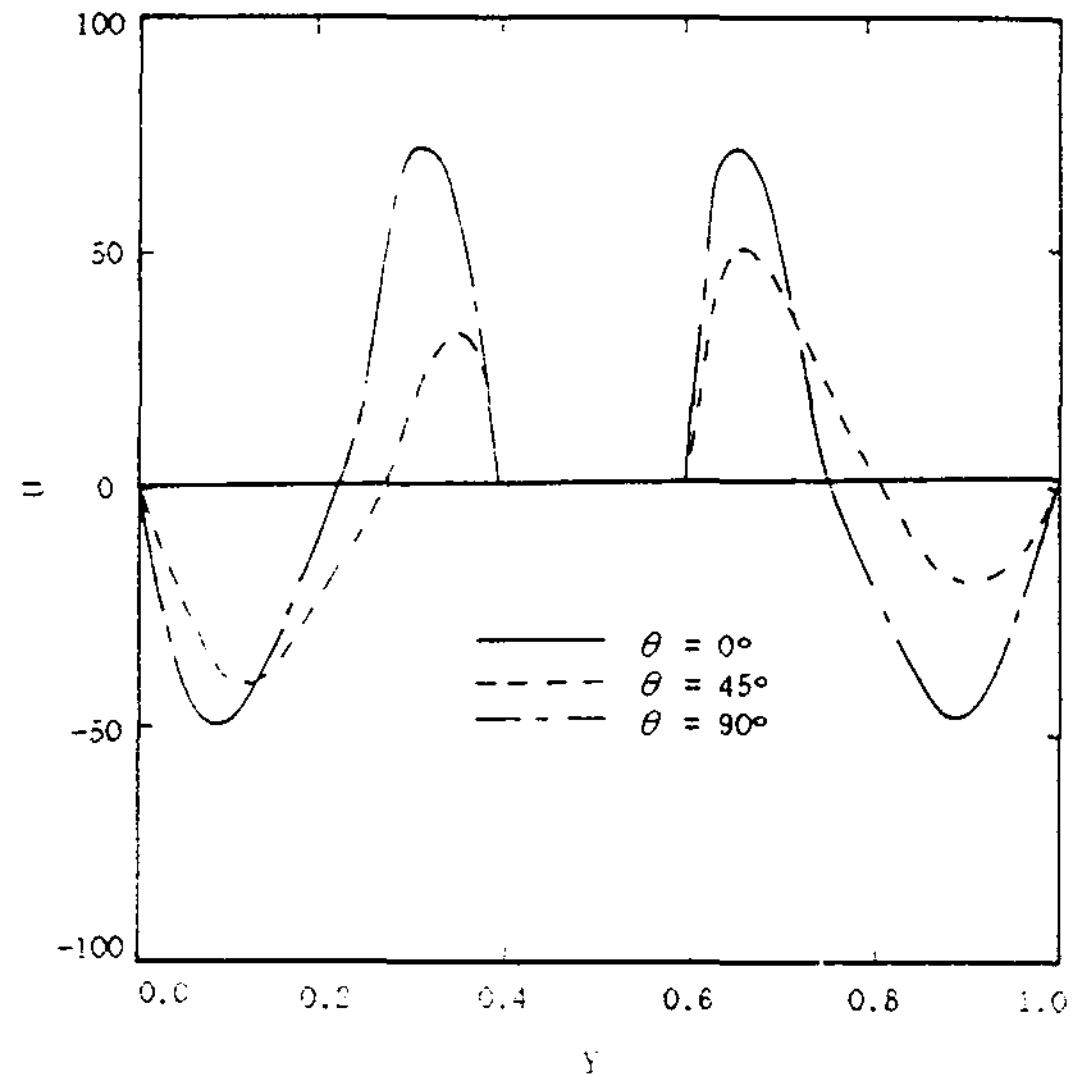


Fig. 7 Horizontal velocity distributions at $X=0.5$ for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k_s/k_f=14710$.

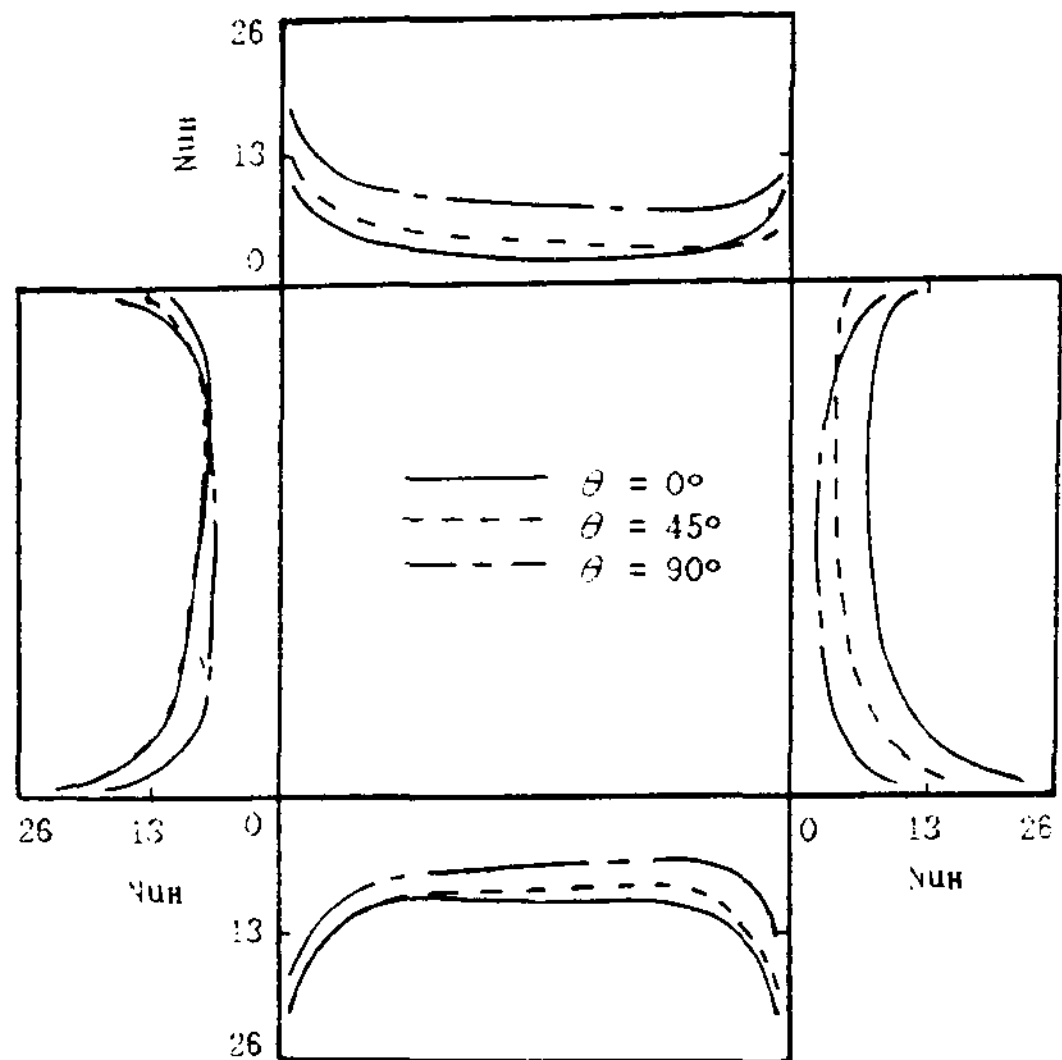


Fig. 8 Local Nusselt number distributions on surfaces of a hot square for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k_s/k_f=14710$.

우로 유동이 분리되는 곳으로 미약한 유동을 나타내었다.

Fig. 7은 경사각이 $\theta=0^\circ$, 45° 및 90° 인 경우 $X=0.5$ 에서 Y 에 대한 수평방향 속도 분포를 나타낸다. 속도는 $\theta=90^\circ$ 인 경우에는 좌, 우 대칭인 분포를 나타내었고 $\theta=0^\circ$ 에서는 미약한 유동을 나타내었다.

Fig. 8은 경사각이 $\theta=0^\circ$, 45° 및 90° 인 경우 고온부 4개면의 국소 Nusselt수 분포를 나타내었다. 국소 Nusselt수 분포는 각 모서리 부근에서 단효과로 높은 값을 나타내었고, 밑면과 우측면에서는 $\theta=45^\circ$ 와 90° 의 경우 열경계층에 쌓여 감소하는 경향을 나타내었고, 윗면의 경우에는 수직면으로 되는 $\theta=45^\circ$ 와 90° 의 경우 열경계층에 쌓여 감소하는 경향을 나타내었고, 윗면의 경우에는 수직면으로 되는 $\theta=90^\circ$ 에서 높게 나타났으며, 좌측면에서는 $\theta=90^\circ$ 의 경우 양쪽 단 열벽의 영향으로 냉각되지 않는 유체로 인하여 낮게 나타났다.

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 조건에서 좌, 우 저온

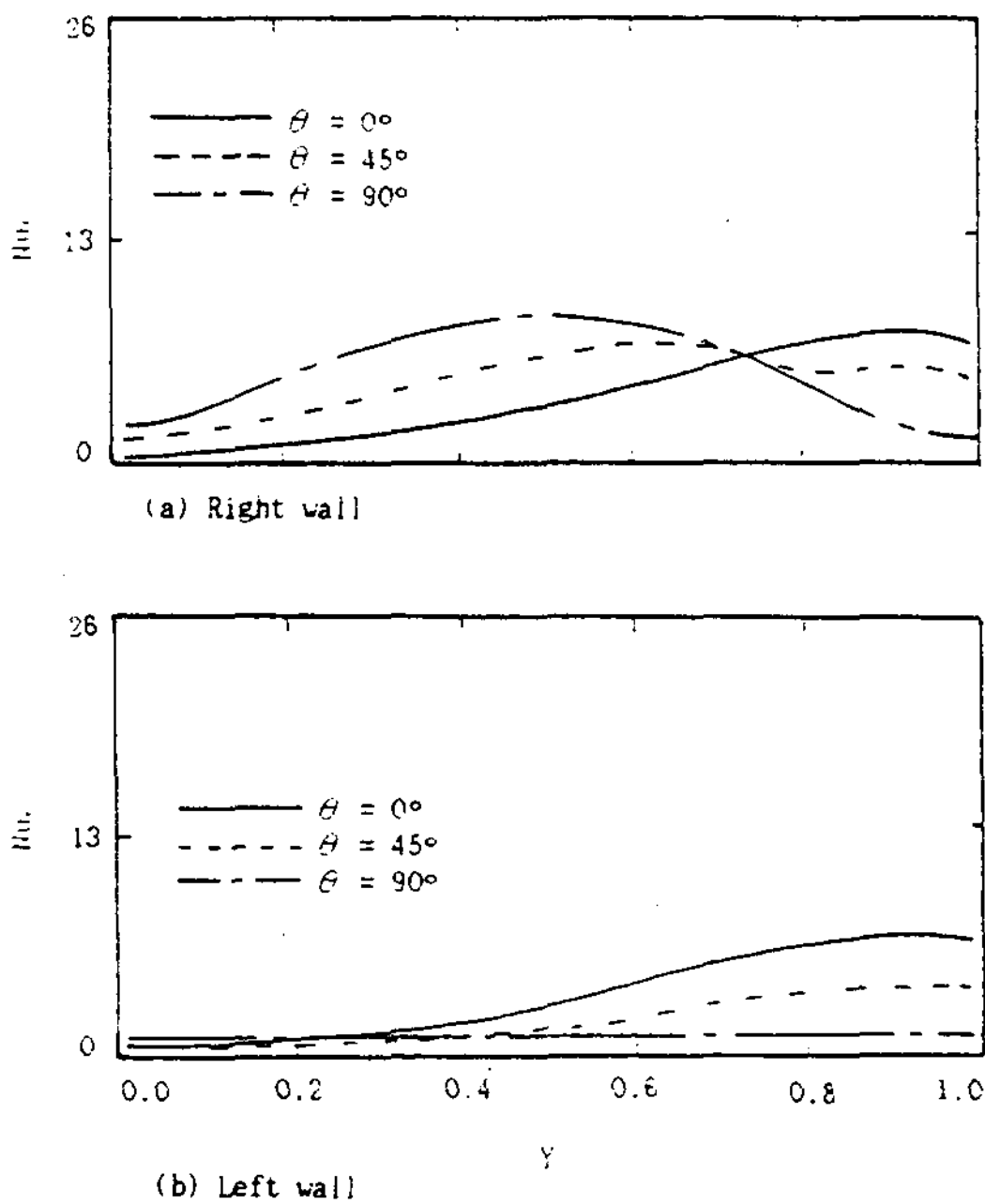


Fig. 9 Local Nusselt number distributions on surfaces of a cold enclosure for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k/k_i=14710$.

벽면에서의 국소 Nusselt수 분포를 나타내었다. 국소 Nusselt수 분포는 $\theta=45^\circ$ 와 90° 의 경우 thermal plume과 만나는 우측 벽면에서 높게 나타났고, 좌측 벽면의 경우는 경사각을 증가시키면 고온부의 영향을 적게 받음으로 해서 감소하였다.

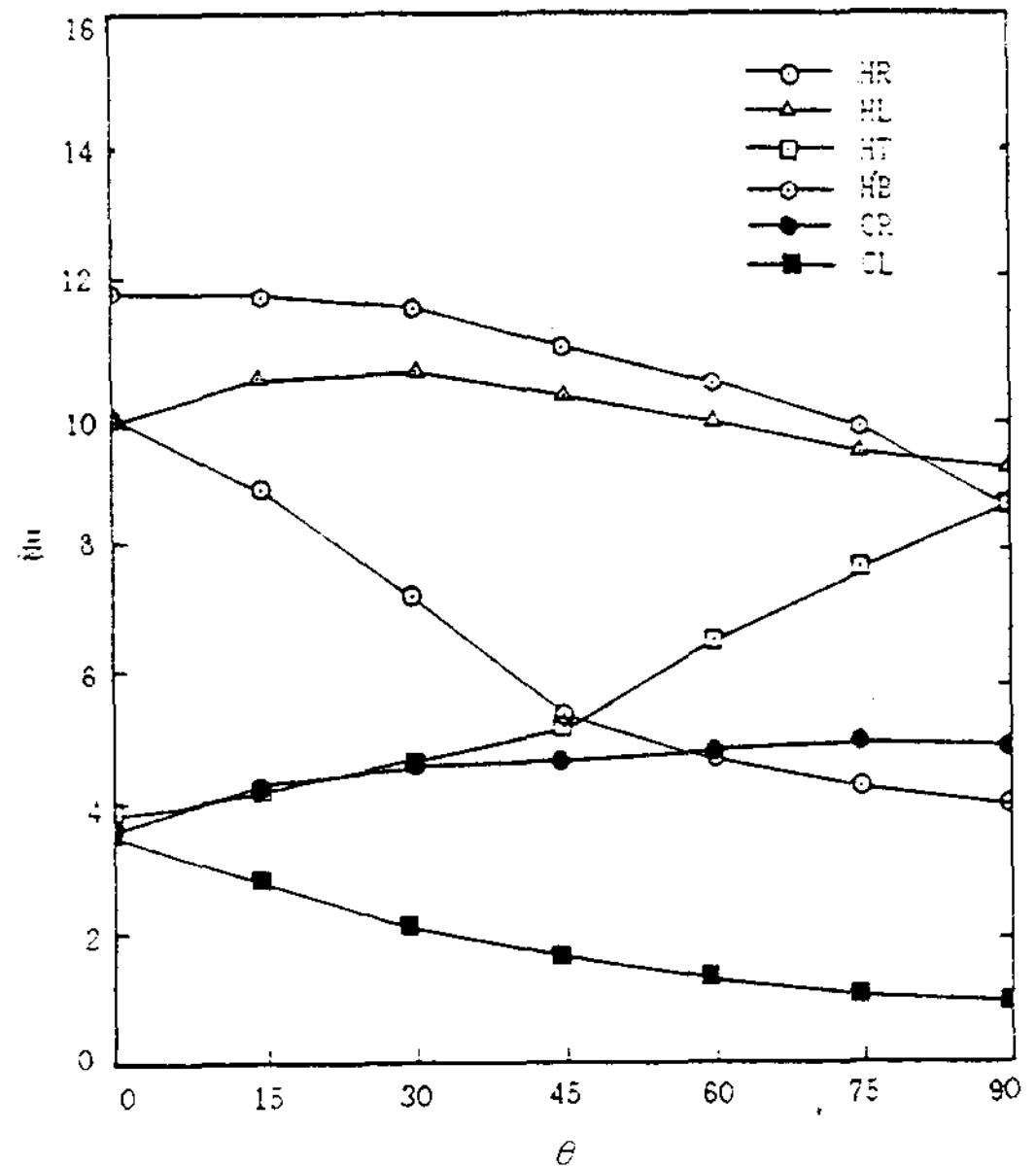


Fig. 10 Mean Nusselt number distributions on surfaces of a Hot square and a cold enclosure for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k/k_i=14710$.

Fig. 10은 고온부 4개면과 좌, 우 저온벽면의 평균 Nusselt수 분포를 경사각의 변화에 대해서 나타내었다. 평균 Nusselt수는 경사각을 증가시키면 고온부의 밑면과 우측면은 가열된 유체에 쌓이게 되어 감소하였으며, 윗면의 경우에는 thermal plume의 영향을 점점 적게 받게 되어 증가하였고, 우측 저온면의 경우에는 thermal plume과 부딪치는 부분이 넓어지는 $\theta=90^\circ$ 인 경우가 0° 인 경우 보다 열전달이 잘 되어 40% 높게 나타났고, 좌측 저온면의 경우에는 고온부의 영향을 적게 받게되어 감소하였다.

Fig. 11은 고온부와 저온부 전체평균 Nusselt수 분포를 나타낸다. 경사각을 증가시키면 전체평균

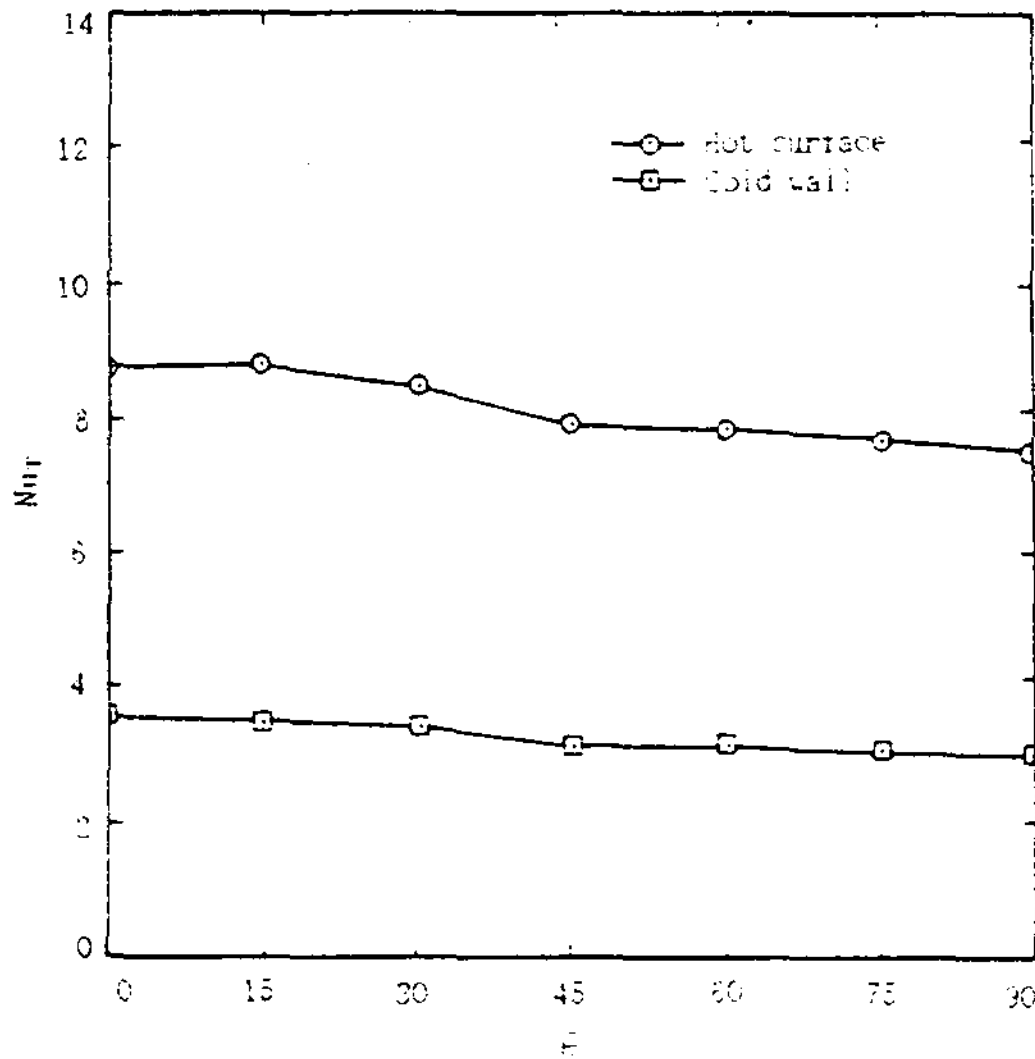


Fig. 11 Total mean Nusselt number distributions on surfaces of a hot square and cold enclosure for $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$, $k_s/k_f=14710$.

Nusselt수는 감소하였으며 $\theta=45^\circ$ 를 지나서는 변화가 적었다. $\theta=90^\circ$ 가 $\theta=0^\circ$ 때보다 14% 낮게 나타났다.

4. 결 론

정사각형 밀폐공간 내의 중앙에 1개의 고온부가 존재하고 $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ 및 $k_s/k_f=14710$ 인 조건에서 경사각을 변화시켜 수치해석한 결과는 다음과 같다.

- 1) $\theta=0^\circ$ 인 경우 밀폐공간 내부에 온도분포가 좌, 우로 대칭되어 고르게 나타났다.
- 2) $\theta=45^\circ$ 인 경우 순환거리가 길어져서 유동은 가장 활발하였다.
- 3) 경사각을 증가시키면 전체평균 Nusselt수는 감소하였고 $\theta=90^\circ$ 가 $\theta=0^\circ$ 때 보다 14% 낮게 나타났다.
- 4) 경사각을 증가시키면 우측 저온벽면 평균 Nusselt수는 증가하였고 $\theta=90^\circ$ 가 $\theta=0^\circ$ 보다 40% 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) R. K. Macgregor and A. F. Emery, "Free Convection Through Vertical Plane Layers-Moderate and High Prandtl Number Fluids", Trans. of the ASME, J. of Heat Transfer, August, pp.391~403(1969).
- 2) D. Poulikakos, "Natural Convection in a Confined Fluid-Filled Space Driven by a single Vertical Wall with Warm and Cold Regions", Trans. fo the ASME, J. of Heat Transfer, Vol. 107, pp. 867~875(1985).
- 3) 김무현, 이진후, 강신형, 손영석, "유한요소법을 이용한 정방형 밀폐용기내의 플란틀수가 낮은 유체의 자연대류에 관한 연구", 대한기계학회논문집 제12권 제3호, pp.541~550(1988).
- 4) A. F. Emery, "Exploratory Studies of Free-Convection Heat Transfer Through an Enclosed Vertical Liquid Layer with a Vertical Baffle", Trans. of the ASME, J. of Heat Transfer, February, pp. 163~165(1969).
- 5) D. A. Olson, L. R. Glicksman and H. M. Ferm, "Steady-State Natural Convection in Empty and Partitioned Enclosures at High Rayleigh Numbers", Trans. of the ASME. J. of Heat Transfer, Vol. 112, pp. 640~647(1990).
- 6) M. K. Exeter, N. Hay and J. J. Webster, "Finite Element Solutions for Free Convection Flow Around an LMFBR Debris Tray", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 7, pp. 999~1011(1982).
- 7) 이재현, "고립된 발열물체를 가지는 정사각형 밀폐공간 내에서의 자연대류 열전달 및 유통 특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집 제8권 제4호, pp.360~367(1984).
- 8) J. M. House, C. Beckermann and T. F. Smith, "Effect of a Centered Conducting Body on Natural Convection Heat Transfer in an Enclosure", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 18, pp. 313~225(1990).

- 9) H. Inaba, "Experimental study of Natural Convection in an Inclined Air Layer", *Int. J. Heat Transfer*, Vol. 27, No. 8, pp. 1127~1139(1984).
- 10) B. A. Meyer, J. W. Mitchell and M. N. Ei-Wakil, "The Effect of Thermal Wall Properties on Natural Convection in Inclined Rectangular Cells", *Trans. of the ASME*, Vol. 104, pp. 111~117(1982).
- 11) S. Acharya and C. H. Tsang, "Natural Convection in a Fully Partitioned, Inclined Enclosure", *Numerical Heat Transfer*, Vol. 8, pp. 407~428(1985).

ABSTRACTS

SOLAR ENERGY VOL. 12, NO.1, 1992

An Experimental Study on the Interior Visual Environment of Classrooms in the Existing School Buildings**Lim, Sang-Hoon · Chun, Won-gee · Auh, Chung-moo · Lee, Nam-Ho***Korea Institute of Energy Research*

The conventional school building design, which locates the hallway on the north side of the classroom, has proven to be very ineffective for indoor light control. Especially, glares and dark spots on the work plane as well as nonuniform illuminance on the chalkboard were causing undesirable visual effects for the students. The present study has investigated various problems with the classroom in the existing elementary and(junior) high school buildings from the point of indoor visual environment, and made some suggestions for possible solutions.

Solar Absorption System Analysis with Spreadsheet Models**Choi, Hong Kyu · Rocco A. Fazzolari****Korea Solar Creative Cooperation****Nuclear and Energy Engineering Dept. University of Arizona*

An hourly simulation model of a solar LiBr-water absorption cooling and heating system (for bervity, solar absorption system) is presented, based on SuperCalc spreadsheet computational procedures. This paper demonstrates the value of using spreadsheet simulation techniques by examining the thermal performances of a solar absorption system. The hourly heating and cooling coil loads for a typical office building in Tucson, Arizona are modeled and calculated using ASHRAE methods. The details of the algorithms for the components and control schemes are presented. Two case studies are also presented using real system parameters.C

Natural Convection Heat Transfer from a Hot Body in an Inclined Square Enclosure**Kwon, Sun-Sok* · Chung, Tae-Hyun****

Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ

Laminar natural convection heat transfer from a hot body in a square enclosure has been studied for various inclination angles at $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ and $k_s/k_f=14710$. The area of a hot body is 1/25 of the enclosure and the aspect ratio is 1.0. The total mean Nusselt number decreases as the inclination angle increases and in case of $\theta=90^\circ$ is 14% lower than that of $\theta=0^\circ$.

A Study on the Air System for Space Heating

Chun, Won-gee · Lim, Sang-Hoon · Jeon, Myung-Seok · Yoon, Jong-Ho

Korea Institute of Energy Research

The present study has carried out thermal performance evaluation of air systems for space heating in Daejeon by the f-chart method. The various effects with the change in air flow rate, number of glazings, storage capacity of pebble bed, and coating materials of absorber plate are analyzed with regard to the effectiveness of air systems for space heating. A comparison is also made with liquid systems under the same operating conditions.

Design of Telecommunications Office Building with Passive Solar Schemes

Korean Solar Energy Society

The present study has been carried out to investigate various passive solar technologies for their possible application to telecommunications office buildings. HVAC systems utilizing the solar energy are analyzed in this regard to elicit the most feasible design. The proposed design is unique, for it has been devised to promote the working spirit with an efficient space planning as well.

Experimental Study on Inward Melting of Phase Change Material in Inclined Circular Tube

Yim, Chang-Soon, Song, Ha-Jin

Inha University, Graduate School, Inha University