

〈論 文〉

수평격판을 갖는 4각형 밀폐공간내에서 자연대류의 진동유동

김점수* · 정인기** · 송동주***

(1992년 4월 27일 접수)

**Oscillatory Motion of Natural Convective Flow
in Partially Divided Square Enclosure**

Jum-Soo Kim, In-Kee Chung and Dong-Joo Song

Key Words: Partition-Induced Oscillatory Motion(격판에 의한 진동운동), Natural Convection(자연대류), Square Enclosure(4각형 밀폐공간), Numerical Analysis(수치해석), Transition Inclination Angle(천이경사각), Critical Rayleigh Number(임계레이일이수)

Abstract

An oscillatory motion of the natural convection in a two dimensional, partially divided square enclosure heated from below, and fitted with a partition is investigated numerically. The enclosure was composed of the lower hot and the upper cold horizontal walls and the adiabatic vertical walls, and a partition was situated perpendicularly at the mid-height of the one vertical insulated wall. The governing equations are solved by using the finite element method with Galerkin method. The computations were performed with the variation of the length and the thermal conductivity of the partition, and Rayleigh number based on the temperature difference between horizontal walls and the enclosure height with water ($Pr=4.95$). Also, the effect of the inclination angles was studied for the transition to the oscillating flow. As the results, it was found that the intensity and frequency of oscillatory motion were affected significantly by the Rayleigh number and the length of partition. The effect of oscillatory motion was weaken with the increase of the thermal conductivity of partition. The inclination angle for the transition was raised with the increase of Rayleigh number and the length of partition.

—기호설명—

<i>b</i>	: 격판의 두께
<i>g</i>	: 중력가속도
<i>H</i>	: 밀폐공간의 높이(특성길이)
<i>k</i>	: 열전도계수
<i>L</i>	: 격판의 길이
<i>p</i>	: 압력
<i>Pr</i>	: Prandtl수

<i>Ra</i>	: Rayleigh수
<i>S</i>	: 상부벽에서부터 격판까지의 거리
<i>T</i>	: 온도
<i>t</i>	: 시간
<i>u</i>	: <i>x</i> 방향의 속도
<i>v</i>	: <i>y</i> 방향의 속도
<i>W</i>	: 밀폐공간의 폭
<i>x, y</i>	: 직교좌표
<i>α</i>	: 열확산계수
<i>β</i>	: 열팽창계수
<i>θ</i>	: 밀폐공간의 경사각

*정회원, (주)현대중공업
**정회원, 영남대학교 정밀기계공학과
***정회원, 영남대학교 기계공학과

ν : 유체의 동점성계수

ρ : 유체의 밀도

상첨자

* : 유차원량

하첨자

c : 냉각벽

f : 유체

h : 가열벽

p : 격판

1. 서 론

격판을 가진 밀폐공간 내부에서의 자연대류 유동 및 열전달현상은 축열조 및 태양열 집열기 등의 설계, 건축공간내의 에너지 이동현상, 전자장치 등의 냉각문제, 2중공간내의 단열효과 향상등 공학의 각 분야에서 일어나는 물리적 현상으로 이와 관련하여 지금까지 많은 연구들이 실험적 또는 수치해석적으로 수행되어 왔다. 1969년에 Emery⁽¹⁾가 원자로의 냉각장치를 모델로 4각 밀폐공간의 중앙에 하나의 수직격판이 있는 경우에 대하여 실험적으로 연구를 수행한 이후, Nansteel과 Greif^(2~4)는 상부벽에 하나의 수직격판이 부착된 밀폐공간에 대하여 흐름 가시화실험을 통한 다각적 연구를 하였으며, Winters⁽⁵⁾는 밀연에 수직으로 부착된 격판의 열전도율이 공간내의 유동과 열전달에 미치는 영향을 수치해석하였고, Lin과 Bejan⁽⁶⁾은 격판에 의해 부분적으로 분리된 4각 밀폐공간내의 자연대류 열전달에 대하여 이론해석과 실험을 동시에 수행하였다. 또 Bajorek과 Lloyd⁽⁷⁾는 상하 단열벽에 각각 수직격판이 부착된 4각 밀폐공간내의 열전달현상을 간섭계를 이용하여 실험적으로 연구하였으며, Zimmerman과 Acharya⁽⁸⁾는 상하벽과 격판이 열전도성을 가지는 4각 밀폐공간에 대하여 수치해석한 결과를 기존의 실험적 연구와 비교한 바 있다. 그러나 이들의 연구는 모두 4각 밀폐공간의 상하벽에 수직격판이 있고, 측면이 가열되는 경우에 대한 것이었다. 한편 정 등⁽⁹⁾은 양쪽 수직벽이 단열벽이고, 밀연이 고온, 윗면이 저온으로 유지되는 정4각형 단면의 2차원 밀폐공간내의 한쪽 측벽에 수평격판이 부착된 경우에 상하공간에서 발생한 자연대류 유동이 일정한 주기로 흐름방향이 격판선단에서 상

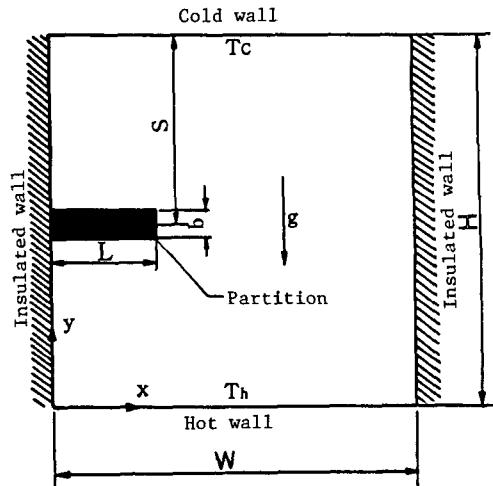


Fig. 1 Schematic diagram of enclosure geometries

하로 교차하는 진동유동(oscillatory flow)이 발생하는 것을 가시화실험을 통하여 관찰하였다. 지금 까지 밀폐공간내에서 정상상태의 주기적 진동유동은 Kitamura 등⁽¹⁰⁾이 벽면의 열적 경계조건에 의해 발생하는 경우와 五十嵐⁽¹¹⁾가 공간내의 열원에 의한 것을 발표한 바 있었으나, 격판에 의해서 발생되는 진동유동은 이때까지 보고된 것이 없다. 따라서 본 연구는 Fig. 1에 나타낸 정 등⁽⁹⁾의 모델을 사용하여 공간내의 자연대류 유동을 수치적으로 해석하고 실험결과와 비교하여 수평격판에 의해서 발생하는 진동유동의 특성을 규명하고자 한다. 본 수치해석에서는 물($Pr=4.95$)을 내부유체로 하여 Rayleigh수, 공간의 폭에 대한 격판길이(L/W) 및 격판의 열전도율의 변화가 자연대류 진동유동에 미치는 영향을 밝히고, 밀폐공간의 경사에 의해 진동유동이 사라지는 각도, 즉 천이 경사각도를 찾아내고자 한다. 이러한 유동특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 지배방정식을 Galerkin method를 사용한 2차원 유한요소법(FEM)으로 수치해석하였다.

2. 지배방정식과 경계조건

Fig. 1과 같은 모델을 해석하기 위하여 유체는 비압축성, 뉴우튼 유체이고, 고체와 유체의 물성치는 일정하며, 흐름은 2차원 유동으로 가정하였고, 복사 전열효과는 무시하였다. Boussinesq 근사와 위 가정을 적용하고 무차원화시킨 2차원 비정상상

태의 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지방정식은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \nabla^2 u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{\partial p}{\partial y} + \nabla^2 v + Ra/Pr T \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{Pr} \nabla^2 T \quad (4)$$

또 격판의 열전도율을 변화시키는 경우에는 격판부분에서 다음과 같은 비정상 열전도방정식을 적용하였다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{Pr} \nabla^2 T \frac{k_p}{k_f} \quad (5)$$

격판과 내부유체의 경계면에서는 에너지평형이 이루어져야 하므로 다음과 같은 조건식이 필요하다.

$$k_f \frac{\partial T_f}{\partial n} \Big|_{\text{interface}} = K_p \frac{\partial T_p}{\partial n} \Big|_{\text{interface}} \quad (6)$$

그리고 위의 식들에 사용된 무차원수는 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} x &= x^*/H, y = y^*/H, u = u^* H/\nu, v = v^* H/\nu \\ t &= t^* \nu/H^2, p = (p^* + \rho gy^*)/(\rho \nu^2/H^2) \\ T &= (T^* - T_c^*)/(T_h^* - T_c^*), \\ Ra &= g\beta \Delta TH^3/\alpha\nu, Pr = \nu/\alpha \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 * 표시를 한 변수는 모두 유차원량을 나타낸다.

위의 지배방정식을 풀기 위하여 무차원화된 초기조건과 경계조건은 다음과 같다.

• 초기조건 : $t=0$ 일 때 벽을 포함한 내부공간에서

$$u=v=0, T=0$$

• 경계조건 : $t>0$ 에서

양측벽, $x=0$ 과 $x=W$ 에서

$$u=v=0, \frac{\partial T}{\partial x}=0$$

$$\text{밑면}, y=0 \text{에서 } u=v=0, T=1 \quad (8)$$

$$\text{윗면}, y=H \text{에서 } u=v=0, T=0$$

$$\text{단열격판일 때는 격판표면에서 } u=v=0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\partial T}{\partial y}=0$$

식(1)~(6)의 각 식에 대하여 Galerkin법을 이용한 유한요소방정식은 weighting functions를 도입하였고, 이것을 각 식에 곱하여 요소내에서 적분

을 행하였다. 사각형요소를 사용하여 2차 다항식의 shape functions M_α , $\alpha=1\sim 8$, 1차 다항식의 shape functions N_α , $\alpha=1\sim 4$ 로 표시하였다. 각 변수들을 요소를 위한 적분식에 대입하고 정리하여 비정상문제 해석을 위한 시간 적분식을 구하였다.

3. 수치계산

지배방정식에 대한 수치해석에서 모든 고체경계면에서는 no-slip 조건이 고려되었으며, 초기조건은 벽표면과 공간내의 전 흐름영역에서 유체가 저온으로 균일하게 유지되어 있는 것으로 하였다. 계산을 위해 사용된 격자배열은 33×33 으로 하였으나, 유동의 변화가 심한 격판부근과 벽면근처에서는 조밀하게 배열시켰다. 시간증분에 따른 반복계산으로 얻어지는 비정상상태의 해는 반복적으로 주어지는 속도값의 최대오차가 0.01 이하인 경우에 정상상태로 수렴한 것으로 판정하였다. 본 계산에 사용한 전자계산기는 SUN 3/80 Work Station이며, 수치계산의 반복회수는 600~1000회 정도였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구는 정 등⁽⁹⁾이 이미 유동 가시화실험에서 관찰한 바 있는 밀폐공간내 자연대류의 특이한 현상으로 밑면이 고온, 윗면이 저온으로 유지되고 양쪽 수직축벽이 단열인 4각 밀폐공간내에서 한쪽 측벽의 중앙에 부착된 수평격판에 의하여 정상상태에서 자연대류 흐름이 격판선단을 따라서 상하로 반복유동하는 전동현상에 대해서 수치해석을 통하여 규명한 것이다. 이 격판에 의한 진동유동은 격판을 대칭으로 하여 공간내의 주순환유동과 격판의 상부 또는 하부에서 발생하는 재순환유동이 주기적으로 번갈아 격판선단을 따라 상하로 이동하는 현상이다. 밀폐공간은 종횡비 (W/H)가 1인 정사각형 단면이고 격판의 두께 (b)는 $0.1H$ 이며, 내부유체는 양 등온벽의 온도차에 관계없이 밀폐공간 내부의 물의 평균온도를 35°C 로 유지시킨 실험결과⁽⁹⁾와 비교하기 위하여 Prandtl 수가 4.95인 물로 하였고 2차원 유동으로 가정하였다. 수치계산에서의 변수는 수평격판의 무차원길이 (L/W)와 물에 대한 격판의 열전도율비 (k_p/k_f), 상하등온벽의 온도차로 정의한 Rayleigh수 등의 변화에 따른 진동유동의 특성을 검토하였으며, 또한 밀폐공간의 경사에 의

해 진동유동이 사라지는 천이 경사각도(θ_{cr})를 찾았다.

4.1 진동유동의 발생

Rayleigh수가 큰 경우에는 밀폐공간내에 설치된 수평격판에 의해 정상상태에서 자연대류 유동이 진동현상을 나타내는 것은 이미 실험적으로 검증된 바 있는데,⁽⁹⁾ 본 연구에서는 격판의 길이와 Rayleigh수를 변화시키면서 공간내의 흐름이 진동유동으로 발전하는 과정을 조사하였다.

Fig. 2의 (a)~(c)에는 격판길이 $L=0.4W$ 일 때 Rayleigh수의 변화에 의해 공간내의 흐름이 진동유동으로 변천되는 과정을 보여주고 있는데,

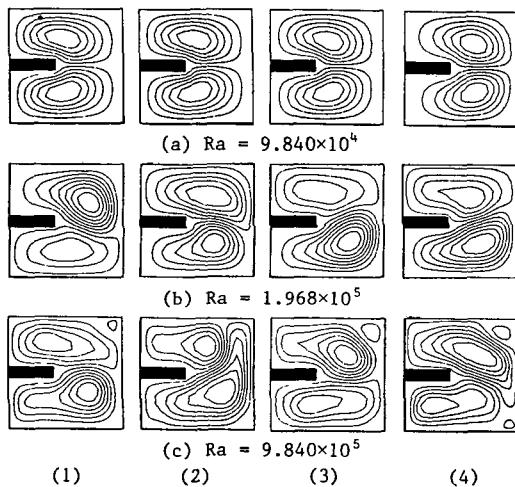


Fig. 2 Development of oscillating flow in a square enclosure, $L=0.4W$

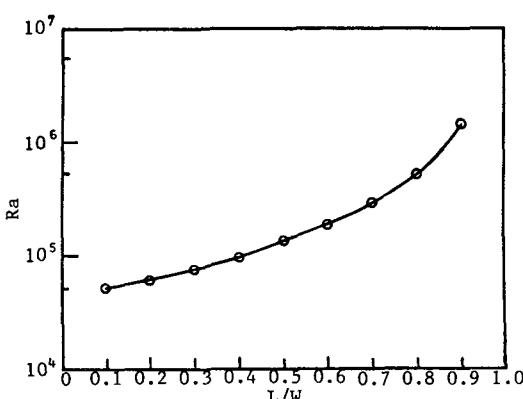


Fig. 3 Critical Rayleigh numbers for oscillating flow in a square enclosure

Rayleigh수가 낮을 때는 정상상태에서 수평격판을 중심으로 상하대칭의 분리된 일정한 유동형태(a)를 보이고 있으나, Rayleigh 수의 증가와 함께 유동은 격판선단을 따라 약한 상승과 하강현상을 반복하는 과정(b)으로 변천되며, Rayleigh 수가 상당히 증가한 경우에는 진동현상이 명백하게 나타났다(c).

Fig. 3은 이와 같이 정상상태에서 상하대칭의 분리된 유동형태가 주기적으로 격판선단을 따라 상하로 반복되는 진동유동으로 변천되는 임계 Rayleigh 수를 격판길이에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 격판길이가 증가함에 따라 임계 Rayleigh수도 커지는데, 격판길이의 증가에 대해 임계 Rayleigh수는 점차 큰 폭으로 증가하였다. 이것은 격판이 길어질수록 공간내에서 유동저항이 커지고 격판선단부근의 공간이 좁아져서 진동유동을 억제하는 효과를 가지는 것으로 생각된다.

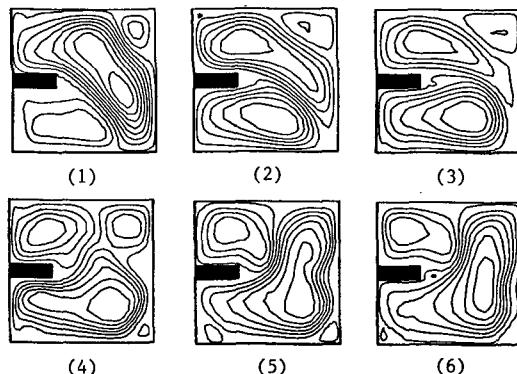


Fig. 4 Streamlines of oscillating flow, $Ra=1.968 \times 10^7$, $L=0.3W$

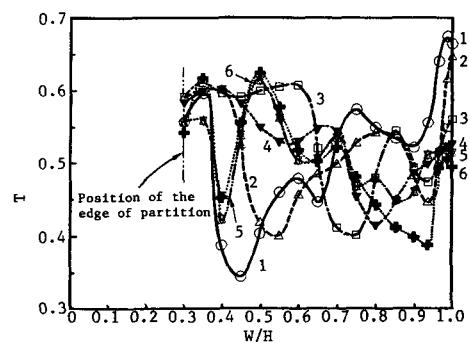


Fig. 5 Temperature profiles at $y=H/2$ for $Ra=1.968 \times 10^7$, $L=0.3W$

Fig. 4는 $L=0.3W$ 일 때 $Ra=1.968 \times 10^7$ 에 대하여 반복계산으로 얻어진 진동유동의 천이과정을 보여주고 있는 그림이다. 수치계산에서 나타난 진동유동 현상을 정 등⁽⁹⁾이 가시화실험에서 얻은 유동사진과 비교하여 보았을 때 한 주기동안의 천이과정에서 유사한 유동양상을 보여주고 있었다. 이러한 진동유동의 발생은 물리적으로 격판의 하부 혹은 상부공간에서 흐름이 정체되거나 와류가 일어날 때 상하 등온벽과의 열교환으로 유체내부에 에너지가 축적 또는 감소하므로서 부양력 또는 하강력이 증가하여 생기는 현상으로 사료된다. 그러나 이와 같은 원인외에 3차원 유동의 영향이 있는지 현재로서는 파악할 수 없고 앞으로의 연구과제로 남아 있다.

Fig. 5는 Fig. 4와 같은 진동유동의 천이과정에서 $y=H/2$ 위치 즉, 격판선단과 우측벽사이의 공간에서 나타난 유체내부의 수평방향으로 온도분포를 도시한 그림이다. 그림에 표시한 1~6까지의 번호는 각각 Fig. 4에 나타낸 천이과정의 각 유동상태일 때를 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 격판의 선단근처에서는 진동유동의 주순환유동이 하강에서 상승으로 바뀜에 따라 고온의 하부벽 영향으로 온도분포가 상승하는 경향을 보이고, 공간의 우측 단열벽부근에서는 저온의 상부벽에 의해 반대의 경향을 나타내고 있다. 이러한 온도분포의 형태는 반복되는 계산과정에서 공간내의 진동유동에 의해 반복적으로 나타났다.

4.2 격판의 길이 및 Rayleigh수의 영향

전술한 바와 같이 밀폐공간내에서 격판에 의한 진동유동에는 격판의 길이와 Rayleigh수 등이 큰 영향을 미치게 될 것으로 예상된다. 따라서 본 계산결과를 Rayleigh수가 일정할 때 격판길이의 변화와 격판길이가 일정할 때 Rayleigh수의 변화에 대하여 나타내어 보았다.

Fig. 6은 먼저 Rayleigh수, $Ra=1.968 \times 10^7$ 일 때 격판길이 변화에 따른 진동유동의 천이과정을 보여주고 있는데, 격판길이가 비교적 짧은 경우에는 격판이 길어질수록 격판선단부근에서 상승과 하강유동의 강도는 강해지나, 격판의 길이가 공간폭의 반보다 길어질 때는 앞에서 언급한 바와 같이 격판에 의한 유동의 억제효과가 커지게 되어 오히려 흐름이 약해지고 격판의 상하부공간에서 유동의 정체현상이 생겨서 공간전체에 영향을 미치는 주순환유동

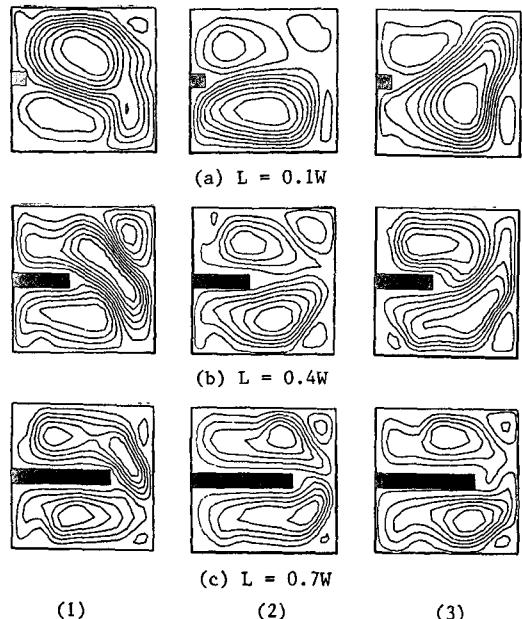


Fig. 6 Streamlines of oscillating flow for various partition lengths, $Ra=1.968 \times 10^7$

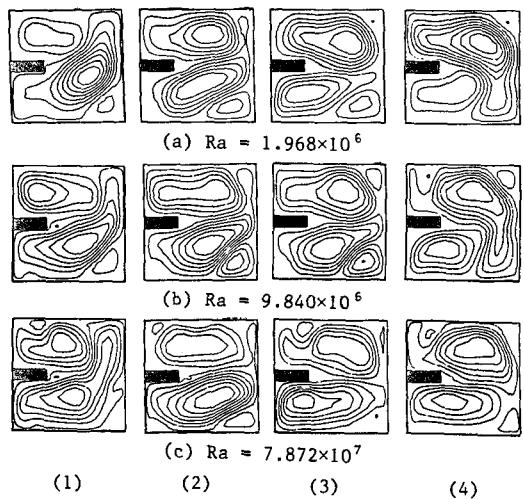


Fig. 7 Streamlines of oscillating flow in a square enclosure, $L=0.3W$

의 진동은 어렵게 된다. 즉, 격판의 길이가 $0.7W$ 이상으로 커지는 경우에는 격판의 선단부에서만 상승과 하강유동이 반복되는 현상을 보였다.

또 Fig. 7은 격판의 길이 $L=0.3W$ 일 때 Rayleigh수의 변화에 따른 진동유동의 변화를 보여주는 그림이다. 본 수치계산만으로는 진동유동의 크기와 강도, 또는 진동의 주기를 명확하게 정량화시

키기에는 곤란한 점이 있었으나, 유선의 분포나 정 등⁽⁹⁾의 실험결과와 비교해서 유추해 볼 때 동일한 격판길이에 대해서 Rayleigh수가 증가할수록 유동의 크기와 강도는 커지고 진동유동의 주기도 빨라지는 경향을 보이고 있다. 또한 Rayleigh수가 커질수록 격판상하부의 공간에서 재순환유동은 난류에 의하여 불안정해졌다.

4.3 격판 열전도성의 영향

격판이 있는 밀폐공간내에서 Zimmerman과 Acharya,⁽⁸⁾ 그리고 Winters⁽⁵⁾는 격판의 열전도성이 공간내부의 유동과 열전달에 영향을 준다는 것을 발표한 바 있는데, 본 연구에서도 격판의 열전도성이 진동유동에 미치는 영향을 규명하기 위하여 내부유체에 대한 격판의 열전도율의 비(k_p/k_f)를 변화시키면서 계산하여 보았다.

Fig. 8은 격판의 길이 $L=0.3W$ 이고, Rayleigh 수, $Ra=1.968 \times 10^7$ 인 경우에 격판의 열전도율 변화에 따른 진동유동의 특성을 보여주고 있다. 격판의 열전도율이 증가함에 따라 격판을 통한 열전달의 영향으로 진동유동의 발생원인으로 생각되는 격판의 상하부공간에서의 유체내부에 에너지의 축적 및 감소가 줄어들어 진동의 강도가 약해지고 유동

의 불안정성이 나타났다. 열전도율이 비교적 낮은 경우는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 격판이 단열인 조건과 유사한 유동의 형태를 보이고 있으나, 격판의 열전도율이 상당히 큰 경우는 격판의 상하부공간에서 재순환유동의 생성이 곤란하게 되어 흐름의 진동현상은 나타나지 않고 공간전체에 걸쳐 다세포 와류가 발생하여 불안정한 유동현상으로 나타나는 경향을 보였다. 이러한 경향은 격판의 길이가 증가할수록 더욱 현저하게 나타나며 격판의 열전도성에 의해서 수평격판의 상하부에서 2차유동 및 와류가 발생되었다. 따라서 수평격판의 열전도성이 단열에 가까울수록 진동유동은 더욱 안정되게 발생하는 것을 알았다.

4.4 천이 경사각도

본 연구에서 채택한 모델과 기하학적 형상이 같은 밀폐공간에 대하여 정 등⁽⁹⁾은 공간의 경사각도가 진동유동에 미치는 영향을 가시화실험을 통하여 연구하였는데, 실험에서 밀폐공간이 수평($\theta=0^\circ$)일 때는 진동유동이 발생하지만 작은 경사각도 범위에서도 공간내의 유동은 천이가 일어나서 격판선단부로 유동이 상승하지 못하고 진동유동이 사라지는 현상을 관찰한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 밀폐공간내에서 진동유동이 사라지고 격판선단부를 따라 흐르는 주순환유동과 격판하부에 생기는 재순환유동이 일정한 유동형태로 발전하는 천이 경사각도를 찾아보았다. Rayleigh수와 격판길이의 변화에 대해서 밀폐공간을 $\theta=0^\circ$ 에서부터 0.5° 씩 경사시키면서 진동유동이 사라지는 천이 경사각도(θ_{cr})를 찾았다.

Fig. 9는 $Ra=1.968 \times 10^7$, $L=0.5W$ 일 때 $\theta=0^\circ$ 로 부터 유동이 천이되는 과정을 경사각의 변화와 함께 나타내고 있는데, $\theta=2^\circ$ 까지는 진동유동이 계속 일어나고 있으나 $\theta=2.5^\circ$ 에서는 진동유동이 사라지고 앞에서 언급한 바와 같이 주순환유동과 재순환유동으로 분리되어 일정한 유동형태로 안정되는 것을 보여 주었다. 공간의 경사가 천이 경사각보다 더 커지면 주순환유동이 공간의 하부까지 크게 확장되는 경향을 보이며 더욱 안정된 흐름형태를 나타내었다.

Fig. 10은 Rayleigh수와 격판길이의 변화에 대한 천이 경사각도를 나타낸 그림인데 정 등⁽⁹⁾의 실험 결과와 비교하여 도시하였다. Rayleigh수와 격판길이의 증가는 천이 경사각도를 지연시키는 경향을

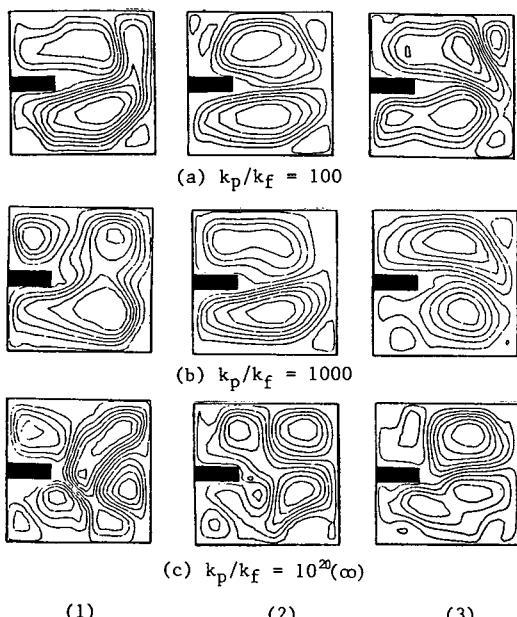


Fig. 8 Streamlines of oscillating flow for various conductivity ratio, $Ra=1.968 \times 10^7$, $L=0.3W$

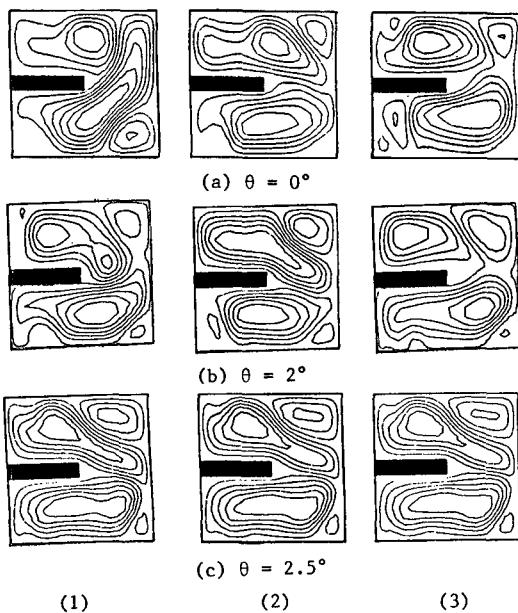


Fig. 9 Streamlines of oscillating flow transition in a square enclosure, $Ra=1.968 \times 10^7$, $L=0.5W$

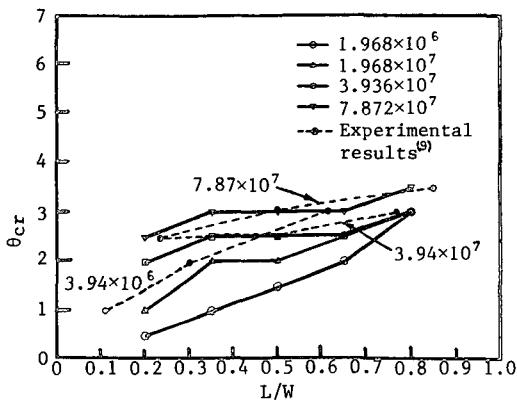


Fig. 10 Transition inclination angles for various Rayleigh number and partition lengths in a square enclosure

보이고 있는데, 격판의 길이가 비교적 짧을 때는 Rayleigh수의 영향이 현저하게 나타나고 있으나 격판의 길이가 커질수록 Rayleigh수 변화의 영향이 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 진동유동의 천이 경사각도는 격판의 길이가 증가할수록, Rayleigh수가 클수록 증가하고 천이영역도 넓어지는 것을 알 수 있었다. 또한 가시화실험을 통하여 얻은 천이 경사각도와 비교하여 보면 전반적으로는 유사한 경향을 보이고 있으나, 본 해석에서 제시한

천이 경사각도는 수평격판이 단열인 조건에서 얻어졌기 때문에 격판의 열전도율이 고려되어야 하는 실험과는 다소 차이를 보이고 있다. Rayleigh수가 증가함에 따라 진동유동이 안정된 순환유동으로 천이된 이후에도 공간전체에 걸쳐서는 난류강도가 커져서 유동의 안정성은 떨어졌다.

5. 결 론

밀면이 고온, 윗면이 저온이고 양측벽이 단열인 4각 밀폐공간에서 한쪽 측벽의 중앙에 부착된 수평격판이 공간내부의 자연대류 유동에 미치는 영향을 수치해석을 통하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수평격판의 길이가 길어질수록 공간내의 흐름이 진동유동으로 천이되는 Rayleigh수의 값은 증가하고 유동도 불안정해졌다.

(2) 격판이 비교적 짧은 경우에는 격판길이가 증가하면 유동의 강도는 커지게 되나 격판길이가 공간폭의 반이상으로 커질 때는 격판의 유동 억제효과가 커져 흐름강도가 약해지고 격판의 상하부공간에서 흐름의 정체가 생긴다.

(3) 격판의 열전도성이 커지면 진동유동의 발생은 어려워지고 격판상하부 공간에서 2차유동과 와류가 생긴다. 이러한 현상은 격판이 길어질수록 더욱 현저하다.

(4) 밀폐공간의 경사에 의해 공간내의 유동은 격판선단부를 따라 하부공간까지 확장되는 주순환유동과 격판하부의 재순환유동으로 분리되어 진동유동은 사라졌다. 격판길이와 Rayleigh수를 증가시키면 진동유동이 사라지는 천이 경사각도는 지연되며, Rayleigh수의 증가와 함께 천이영역은 넓어지는 경향을 보였다.

참고문헌

- Emery, A.F., 1969, "Exploratory Studies of Free Convection Heat Transfer Through an Enclosed Vertical Liquid Layer with a Vertical Baffle," ASME J. Heat Transfer, Vol. 91, pp. 163~165.
- Nansteel, M.W. and Greif, R., 1981, "Natural Convection in Undivided and Partially Divided Rectangular Enclosure," ASME J. Heat Trans-

- fer, Vol. 103, pp. 623~629.
- (3) Nansteel, M.W. and Greif, R., 1983, "Natural Convection Heat Transfer in Complex Enclosures at Large Prandtl Number," ASME J. Heat Transfer, Vol. 105, pp. 912~915.
- (4) Nansteel, M.W. and Greif, R., 1984, "An Investigation of Natural Convection in Enclosures with Two-and Three-Dimensional Partitions," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 4, pp. 561~571.
- (5) Winters, K.H., 1982, "The Effect of Conducting Divisions on the Natural Convection of Air in a Rectangular Cavity with Heated Side Walls," ASME Paper, 82-HT-69.
- (6) Lin, N.N. and Bejan, A., 1983, "Natural Convection in a Partially Divided Enclosure," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 26, No. 12, pp. 1867~1878.
- (7) Bajorek, S.M. and Lloyd, J.R., 1982, "Experimental Investigation of Natural Convection in Partitioned Enclosures," ASME J. Heat Transfer, Vol. 104, pp. 527~532.
- (8) Zimmerman, E. and Acharya, S., 1987, "Free Convection Heat Transfer in a Partially Divided Vertical Enclosures with Conducting End Walls," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 30, No. 2, pp. 319~331.
- (9) 정인기, 김중엽, 이효조, 1991, "밀연가열 사각밀폐공간내에서 격판에 의한 자연대류의 진동," 영남대 공업기술연구소 연구보고, 제19권, 제1호, pp. 55~62.
- (10) Kitamura, K., Komiyama, K. and Saito, T., 1984, "Oscillatory Motion of Natural Convection in Rectangular Cavity," Bull. of JSME, Vol. 27, No. 233, pp. 2463~2469.
- (11) 五十嵐 保, 1977, "密閉空間内 自然對流の振動現象," 日本機械學會論文集(第2部), 43卷, 374號, pp. 3839~3847.