

격판이 존재하는 경사진 정사각형 밀폐공간 내의 자연대류유동에 관한 실험적 연구

김 광 희* · 김 유 곤†

(2001년 8월 17일 접수, 2002년 1월 2일 심사완료)

Experimental Study for Natural Convection Flow in an Inclined Partitioned Square Enclosure

Kwang-Hee Kim and You-Gon Kim

Key Words: PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계), Natural Convection(자연대류), Square Enclosure(정사각형 밀폐공간), Horizontal Partition(수평격판), Cross-correlation(상호상관)PIV

Abstract

In the present study, an experimental study of natural convection in a partitioned 2D square enclosure has been carried out. The square enclosure consist of two adiabatic vertical walls and the upper cold and the lower hot walls. A partition is positioned perpendicularly at the center of the left vertical insulated wall. The PIV measurements were performed with the variations of Rayleigh number, partition length and inclination of the enclosure. The working fluid is water with Prandtl number of 6.996 at 20 °C. The captured images were analyzed by using a cross-correlation(two-frame/single-exposure)PIV method.

기호설명

- H : 밀폐공간의 높이
W : 밀폐공간의 폭길이 (특성길이)
L : 격판의 길이
T_h : 가열면의 온도
T_c : 냉각면의 온도
ΔT: 양단의 온도차 (= T_h - T_c)
Ra : Rayleigh 수 (= $g\beta\Delta TW^3/\alpha\nu$)
g : 중력가속도
β : 열팽창계수
α : 열확산계수
ν : 동점성계수
Δt : 각 프레임의 시간간격
φ : 밀폐공간의 경사각
φ_{cr} : 천이 경사각

* 회원, 전남대학교 대학원

† 책임저자, 회원, 전남대학교 기계공학과

E-mail : ygkim@chonnam.ac.kr

TEL : (062)530-1676 FAX : (062)530-1689

1. 서 론

밀폐공간내에서의 자연대류에 관해서는 태양열 집열장치, 주거공간에서의 냉난방 문제, 축열조 및 전자장비의 냉각문제 등 여러 분야의 응용으로서 많은 연구가 되어왔다. 밀폐공간의 종횡비, 경사각, 가열 및 냉각면의 위치 및 크기 변화, Rayleigh 수 등의 변화에 따른 연구가 다각적으로진행되어 왔으며 최근에는 밀폐공간내에 격판이 설치된 경우에 대하여 유동현상의 변화 및 전열량의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Nansteel과 Greif⁽¹⁾는 밀폐공간내의 상부단열벽에 수직격판이 있는 경우에 대하여 유동가시화 실험을 하였으며 K.hanjalic 등⁽²⁾은 Nansteel와 같은 조건에 대하여 높은 Rayleigh 수에서 수직격판의 길이 변화에 따른 수치계산을 하였다.

Bajorek 등⁽³⁾은 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 상하 단열벽에 2개의 수직격판이 있는 경우에 대하여 실험적인 연구를 수행하였다. Lee 등⁽⁴⁾

은 상하의 수평전도벽이 존재하고 그곳에 격판이 부착되어 있는 경우에 대하여 수치해석과 간섭계를 이용한 실험을 병행하여 전도와 자연대류가 결합된 시스템에 대한 연구를 하였다.

위의 실험들은 모두 상하가 단열되고 양벽이 가열, 냉각되며 격판이 존재하는 경우에 대한 연구들이었다. Chung 등^(5~8)은 밀면이 고온, 윗면이 저온이며 양쪽 수직벽면이 단열인 정사각형 밀폐공간에서 한쪽의 단열된 수직벽의 중앙에 평행하게 격판이 설치된 경우에 대하여 다각적인 연구를 수행하였다. 그들은 격판이 설치된 밀폐공간 내에서 자연대류 유동이 일정한 주기로 유동방향을 바꾸어 가는 것을 가시화 실험을 통하여 관찰하였고 이를 수치해석을 통하여 재규명하였다. 또한 밀폐공간의 경사와 수평격판의 각도를 변화시켜가며 유동 및 열전달 특성을 수치적으로 연구하였으며 동일한 조건에 대하여 밀폐공간의 상부 냉각면이 일부 개방된 공간 내에서 발생하는 자연대류 문제를 내부 유체가 공기인 경우에 대하여 수치적인 연구를 수행하였다.

위의 Chung 등^(5~8)의 연구는 정성적 유동가시화 및 수치계산에 의한 결과이므로 본 논문에서는 PIV 기법을 이용하여 밀폐공간내에 격판이 설치된 경우의 정량적인 유동특성을 실험적으로 분석하였다. 실험장치는 상부 냉각, 하부 가열, 양측면이 단열 되었으며 단열면의 중앙에 수평격판이 설치되어 있는 Chung 등의 연구와 비슷한 조건을 갖추고 있다. 각각의 실험은 Rayleigh 수의 변화와 함께 격판의 길이와 밀폐공간의 경사를 변화시켜가며 행하였다. 각각의 경우에 대하여 유동장 데이터를 측정하였으며 격판의 길이와 Rayleigh 수에 따른 유동특성의 변화에 대하여 연구하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 밀폐공간은 종횡비(W/H)가 1인 정사각형 단면으로 H=W=100 mm이며 폭방향 길이는 400 mm으로 중앙단면에서 2차원 유동에 충분히 가깝게 되도록 설계하였다. 상부 냉각면과 하부 가열면은 0.1°C 이내의 오차를 가지는 항온조를 사용하여 일정온도의 물을 공급하여 벽면

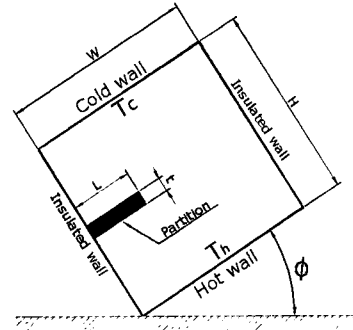


Fig. 1 Schematic diagram of enclosure

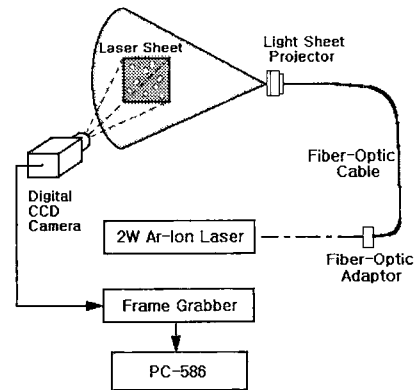


Fig. 2 Schematic diagram of the PIV system

의 온도를 일정하게 유지시켰으며 양측 단열벽은 두께 10 mm의 아크릴수지(열전달률: 0.19 W/m°C)와 외부에 polystyrene foam(열전달률: 0.03 W/m°C)을 붙여 단열하였다. Fig. 1에는 본 실험에 사용된 실험장치의 계략도를 나타내었다.

Fig. 2는 실험에 사용된 PIV 시스템이다. 광원인 Ar-ion레이저(2W)에서 나온 빔은 광섬유를 통해 실험장치까지 전달되고 전달된 빔은 빔확장기 (beam expander)에 의해 평면광(laser-sheet)을 형성한다. 빔확장기로부터 밀폐공간의 측정부까지의 거리는 150 mm이며, 측정부에서의 빔의 두께는 1 mm이다. 평면광은 밀폐공간의 폭방향 중앙부에 조사되어 지며 작동유체인 물속에 포함되어 있는 추적입자(tracer particles)에 의해 유동이 가시화 된다. 본 실험에 사용된 추적입자는 polyamid (50 μm)이다. 가시화된 영상은 평면광에 수직인 방향에서 디지털 CCD카메라(Kodak ES

Table 1 Temperature conditions of the exp.

	Rayleigh No.	T_h	T_c
Case 1	2.89×10^7	21 °C	19 °C
Case 2	5.78×10^7	22 °C	18 °C
Case 3	8.67×10^7	23 °C	17 °C

1.0)에 의해 획득되어진다. 실험에 사용된 디지털 CCD카메라는 1018×1008 화소를 가지고 있으며, 획득된 입자영상을 컴퓨터에 내장된 영상 보드(frame grabber: DT-3157)로 전송한다. 영상보드에 의해 입자영상은 디지털신호로 변환되어 컴퓨터에 저장되어진다.

2.2 실험 방법

각각의 실험은 일정 Rayleigh 수에서 격판의 길이와 밀폐공간(enclosure)의 경사를 바꾸어 가며 행하였다. 실험에 사용된 작동유체는 이차 증류한 순수한 물이며, 추적입자로써 비중이 1.03인 polyamid(50 μm)를 채택하였다. 실험에 적용한 세 가지의 온도조건과 Rayleigh 수를 Table 1에 나타내었다. 격판의 두께(t)는 0.1W 이며 재질은 아크릴수지이다. 격판의 길이(L)는 0.4W, 0.6W, 0.8W로 변화한다. 이 세 가지의 경우에 대하여 밀폐공간의 각도를 10° 에서 90° 까지 변화시켜가며 측정하였다.

Digital PIV속도측정기법을 위한 입자영상은 매우 짧은 노출시간을 주어 입자영상에 streak 이형성되지 않게 하고, 충분한 입자 쌍이 분포되도록 2개의 입자 영상사이의 시간간격(Δt)을 조절해야 한다. 특히 입자 쌍의 거동이 직선 등속도로 이동한다고 가정할 수 있도록 시간간격은 충분히 짧아야 한다. 본 자연대류 실험에서 입자의 이동속도는 최대 5 mm/sec 이하이므로 $\Delta t = 0.3 \text{ sec}$ 에서 최대변위는 1.5 mm 이하가 된다. 정상상태의 유동은 $\Delta t = 1/30 \text{ sec}$ 의 간격으로 단일노출/다중프레임법으로 1 sec 동안 측정하였으며 비정상상태의 유동은 $\Delta t = 0.3 \text{ sec}$ 의 간격으로 10 분 동안 디지털 CCD 카메라로 측정하였다. 10분동안 측정된 영상들중 3초 간격으로 영상데이터를 선택하여 연속적인 순간속도장을 계산하였다. CCD의 노출 시간은 30 msec로 일정하게 유지하였다.

3. PIV계측 기법을 이용한 화상처리

3.1 영상 전처리(image pre-processing)

CCD카메라 센서 자체의 암전류(dark current)노이즈와 입자 산란광의 불균일성에 의해서 입자화상은 많은 노이즈를 내포하고 있기 때문에 히스토그램 등가화(histogram equalization)과정을 거쳐서 고주파 성분의 노이즈를 제거하였으며 threshold 값의 변화를 통해 낮은강도의 산란광을 제거하였다.

3.2 알고리즘

Multi-frame/Single-exposure 기법은 개개의 입자영상을 각각 다른 프레임에 취득하고, 시간간격 Δt 로 취득한 2개의 입자영상에서 상호상관함수(cross-correlation function)를 계산하여 유동속도벡터를 구하는 방법이다. 이는 유동방향의 모호성이 발생하지 않는 장점이 있으므로 현재 가장 많이 쓰이는 기법이다. 본 논문에서는 탐색영역(interrogation window)의 크기를 $61 \times 61 \text{ pixels}^2$ 로 하여 계산을 수행하였다. 탐색영역내의 유효입자수는 10개로 하였으며 탐색영역내에서 허용하는 입자의 최대 변위는 탐색영역의 1/3로 제한하였다.

3.3 Data 후처리(post-processing)

PIV 속도장 측정에 있어서 유동의 3차원성으로 인하여 시간간격 Δt 사이에 측정영역의 평면광 내부로 새로운 입자가 들어오거나 기존 입자가 나감으로써 오류벡터가 존재한다. 이런 오류벡터를 수작업으로 제거하는 것은 주관적인 요소가 개입될 수 있으며, 비효율적이므로 자동으로 오류벡터를 제거할 수 있는 알고리즘이 필요하게 된다. 본 논문에서는 분석하고자 하는 속도벡터와 인접한 8개의 속도벡터의 평균을 비교함으로써 그 차이의 절대값이 일정값을 넘을 경우 오류벡터로 처리하도록 하였다. 원시 속도벡터장에서 오류벡터해석을 통해 모든 오류속도벡터를 제거하고 난 후 제거된 벡터들의 위치에 새로운 값을 대체삽입하기 위해 Lagrange polynomial을 이용한 데이터 보간법을 행하였다.

4. 실험 결과 및 토의

밑면이 고온, 윗면이 저온으로 유지되고 양쪽 수직벽이 단열인 정사각형 밀폐공간내의 좌측 측

벽에 수평격판이 부착되어 있는 경우에 대하여 Rayleigh 수의 변화와 함께 격판의 길이 및 밀폐공간의 경사를 변화시켜 가며 실험을 행하였다. 동일 Rayleigh 수에 대하여 격판의 길이와 밀폐공간의 경사에 의한 유동특성의 변화를 나타내었으며 격판의 길이에 따른 자연대류의 진동현상의 변화를 알아보았다. 또한 정상상태에 도달하는 천이경사각도(Φ_{cr})를 측정하였다. Fig. 3에는 $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ 인 경우의(Case1) 유동가시화 이미지와 알고리즘에 의해 구한 유선의 한 예를 나타내었다. Fig. 3 (a)의 이미지는 $\Delta t = 0.3 \text{ sec}$ 간격의 이미지를 중첩하여 얻은 결과이며 (b)는 탐색영역의 크기를 $61 \times 61 \text{ pixels}^2$ 로하여 계산한 결과이다. 격판의 길이가 $0.4W$ 인 경우에 대하여 $10^\circ \sim 90^\circ$ 로 경사각을 변화시켜가며 실험을 행하였다.

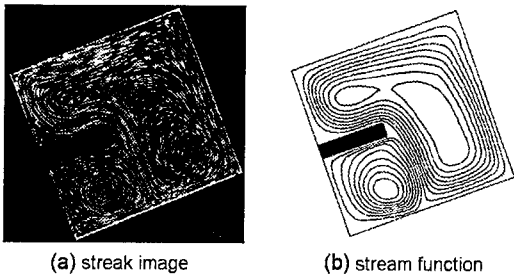


Fig. 3 Streak image and stream function
(Case 1, $L = 0.4 W$, $\Phi = 20^\circ$)

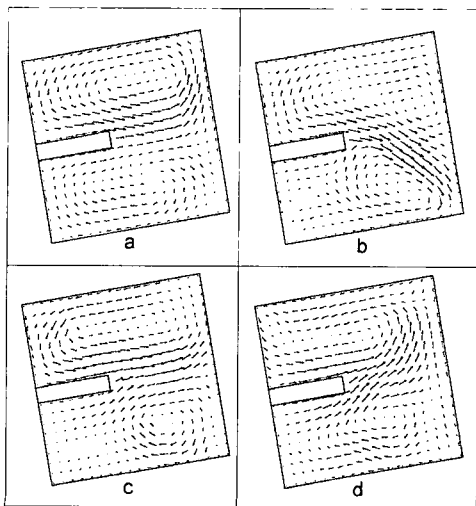


Fig. 4 Velocity fields showing oscillating flow
(Case 1, $L = 0.4W$, $\Phi = 10^\circ$)

Chung 등의 연구에서 나타난 바와 같은 자연대류의 진동현상이 경사각 10° 에서 나타났다. 이들이 이미 밝힌 바와 같이 진동유동의 발생원인은 상하부 공간에서 흐름이 정체될 때 상하부의 등온면과의 열교환으로 유체 내부의 에너지가 증가하거나 감소하게되고 온도구배에 의한 밀도변화에 의해 부양력과 하강력이 발생하게 되어 격판 선단을 중심으로 유동의 방향이 교차하는 진동현상이 발생되는 것으로 생각된다. 한 주기동안의 대표적인 유동의 변화과정을 Fig. 4에 나타내었다.

격판 상하부에 두 개의 순환유동이 형성되며 시간에 따라 그 크기가 변화하고 있다. Fig. 4의 순간속도장은 시간에 따른 대표적인 유동을 나타낸 것이다. 시간에 따른 유동장의 변화는 일정한 주기를 가지고 있지 않고, 불규칙적인 주기를 나타내었다. 격판 상하부의 두 개의 순환유동이 시간에 따라 팽창 및 축소를 반복하며 지속적인 변화를 나타내며 그 방향은 일정하게 유지되었다. 격판의 길이가 $0.6W$, $0.8W$ 의 경우에서도 경사각 10° 에서 진동현상이 나타났다. 격판의 길이가 증가함에 따라 유동억제 효과가 커지게 되어 격판 상하부 공간에서는 단일 유동특성을 보이게 되고 진동유동은 격판 선단부분에서 작은 폭의 상승

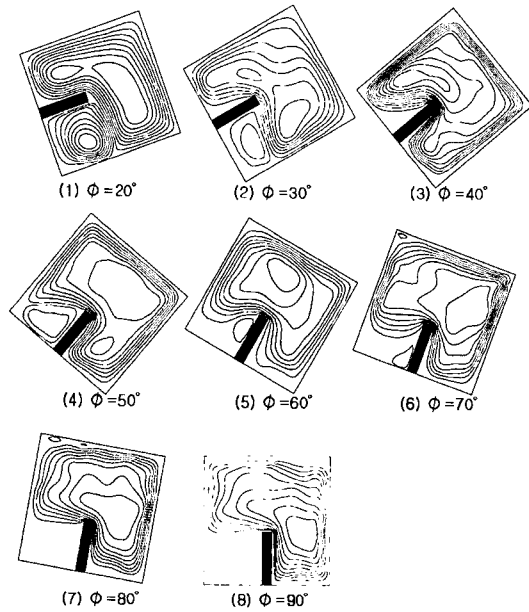


Fig. 5 Streamlines for various inclination angles
(Case 1, $L = 0.4W$)

하강을 반복하는 형태를 보였다. 격판의 길이가 가장 짧은 $L=0.4W$ 의 경우 진동주기가 가장 짧게 나타났으며, 격판의 길이가 증가함에 따라 진동주기가 증가하는 경향을 보였다.

밀폐공간의 경사각이 20° 이상으로 증가하게 되면 Fig. 3에서의 결과와 같이 진동현상이 사라지게 되고 시간에 따라 변화하지 않는 정상상태에 이르게 된다. 경사각이 20° 에 이르면 격판선단을 따른 하강유동이 강해져 격판 하부의 순환유동은 크기가 감소되며 경사각이 30° 로 증가하면 격판선단으로 이동하여 주순환유동으로 끌려가게 된다. 경사각 20° 이상에서의 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다.

경사각 40° 에서는 격판하부의 순환유동이 주순환유동의 내부로 포함되어 완전한 단세포 유동이 형성되며 순환유동이 전 영역에 걸쳐 활발하게 나타났다. 경사각이 더욱 증가하면 주순환유동은 격판상부의 하단까지 영향을 미치지 못하고 격판선단에서 하강하게 된다. 경사각 90° 의 결과에서 보이듯이 냉각면방향 하부는 정체상태에 이르게 되고 격판 선단을 따라 하강유동이 발생하여 가열면쪽의 주순환유동이 형성된다.

경사각 $50^\circ \sim 70^\circ$ 에서의 결과를 살펴보면 주순환 유동의 내부영역유동이 약해지게 되어 벽면 근접부분의 경계층 유동만이 활발히 발생하는 것을 볼 수 있다. 경사각 30° 에서의 결과와 50° 의 결과를 속도벡터로 나타내어 Fig. 6에서 비교하였다. 경사각 30° 에서 내부유동이 가장 활발하였고 경사각 $50^\circ, 60^\circ$ 에서 내부유동의 정지영역이 넓어짐에 따라 벽면의 경계층유동이 활발하게 나타났다. 경사각이 더욱 증가함에 따라 경계층유동마저 크기가 현저하게 감소하였다.

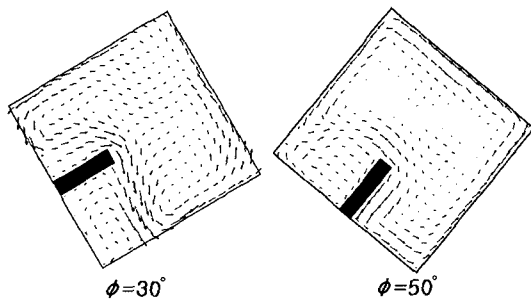


Fig. 6 Velocity vector field for different inclination angles (Case 1, $L = 0.4W$)

격판길이 $0.6W$ 에서도 $0.4W$ 와 같은 경향을 나타내고 있다. Fig. 7에 경사각에 따른 결과를 나타내었다. 경사각 40° 에서의 결과를 $L = 0.4W$ 와 비교해 보면 냉각면 방향의 하강 유동이 빨리 형성되는 것을 볼 수 있다. 또한 가열면 방향의 하강유동이 약해져 가열면까지 도달하지 못하고 상승하는 것을 볼 수 있다. 격판의 길이 증가에 의해 유동억제효과가 나타나 전체적인 유동속도는 감소하였다. $L = 0.8W$ 에서의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 경사각 20° 에서 진동현상이 발생하였고, 30° 에서 다른 격판길이에서와는 다른 형태의 유동분포를 보이고 있다. 격판 선단을 따른 가열면으로의 하강유동이 더욱 빨리 형성되었으며 냉각면 방향의 유동은 거의 전영역에 걸쳐 정

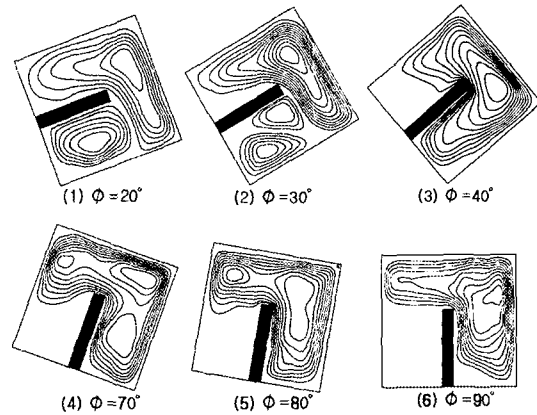


Fig. 7 Streamlines for various inclination angles (Case 1, $L = 0.6W$)

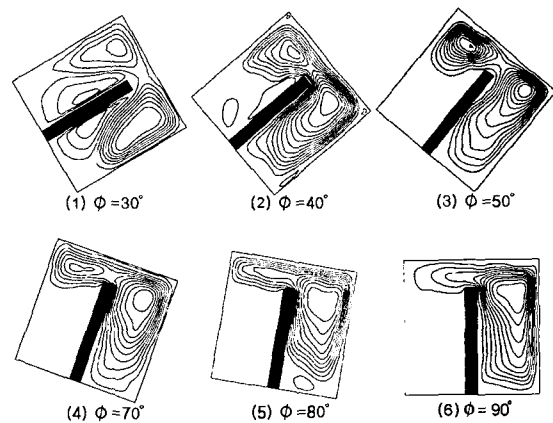


Fig. 8 Streamlines for various inclination angles (Case 1, $L = 0.8W$)

지된 상태를 나타내었다. 경사각 90°에서는 가열면쪽의 주순환유동이 격판 선단을 거의 넘지않고 국부적인 단일 순환유동을 나타내었다. 격판의 유동역제효과에 의하여 모든 경사각도에 대하여 전체적인 유동속도는 가장 작게 나타났다.

위의 실험들에서 나타나는 공통점들을 요약하면 다음과 같다. $L = 0.4 W$, $0.6 W$ 에서는 10° 에서 모두 진동현상이 발생하였으며 0.8 W에서는 20° 까지 진동현상이 발생하였다. 단위시간내 진동하는 횟수는 격판의 길이가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 낮은 경사각에서는 주순환유동과 격판하부의 재순환유동이 생기는 유동형태를 나타내고 있으며, 경사각의 증가에 의해서 격판하부의 재순환유동은 사라지고 주순환유동이 공간의 전역으로 확장되어 안정된 단세포유동으로 발달하였다. 그러나 경사각을 계속 증가시키면 냉각면 쪽의 정지영역이 확장되어 격판선단 방향으로

이동하며 공간내 전체적인 유동속도가 현저하게 약화되는 경향을 나타내고 있다.

격판의 길이에 따른 진동특성을 알아보기 위하여 진동현상이 모두 발생하는 $\phi=10^\circ$ 의 속도장 데이터를 이용하였다. 10분동안 측정된 연속적인 데이터로부터 3 sec 간격으로 순간속도장을 계산하여 격판선단과 마주하는 단열 수직벽사이의 거리에서 격판선단으로부터 30% 되는 지점의 수직방향 속도성분의 크기(v) 변화를 시간에 따라 Fig. 9에 나타내었다. 격판의 길이가 증가함에 따라 진동의 주기는 길어지고 속도의 크기 또한 감소하는 것을 볼 수 있다. $L = 0.4 W$ 에서 주기는 50sec 정도였으며 $L = 0.6 W$ 에서는 약 100sec를 나타내었다. $L = 0.8 W$ 에서는 그 크기가 거의 모두 음의값을 나타내는데 이는 격판선단을 따른 하강유동이 강하며 상승유동은 미약함을 나타낸다. Rayleigh 수를 증가시킨 Case 2 조건에서의

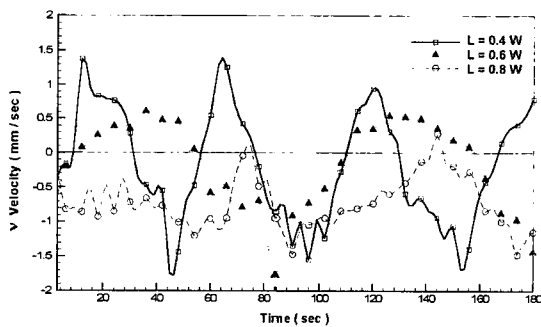


Fig. 9 Effect of the partition length on the oscillatory motion (Case 1)

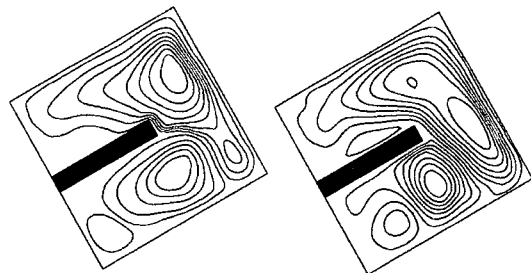


Fig. 11 Streamlines of unsteady flow (Case 2, $L = 0.6W$, $\phi = 30^\circ$)

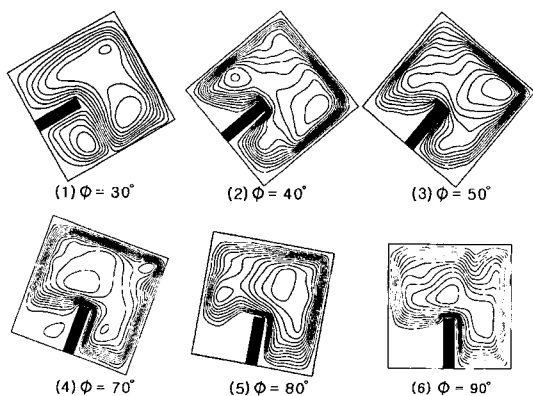


Fig. 10 Streamlines for various inclination angles (Case 2, $L = 0.4W$)

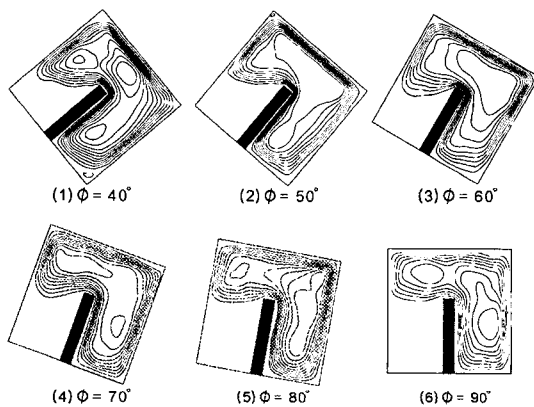


Fig. 12 Streamlines for various inclination angles (Case 2, $L = 0.6W$)

$L = 0.4 W$ 실험데이터를 Fig. 10에 나타내었다. Rayleigh 수의 증가와 함께 유동의 속도는 전체적으로 증가하였고 $\phi = 20$ 까지 비정상상태를 나타내었다.

격판의 길이 $L = 0.6 W$ 에서는 비정상상태 유동이 $\phi = 30^\circ$ 정도까지 존재하였다. 격판하부의 재순환유동이 존재하여 시간에 따라 축소 및 팽창을 반복하는 과정을 Fig. 11에 나타내었으며 정상상태에 도달하는 $\phi = 40^\circ$ 부터의 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 나머지 경사각에 대해서는 Case 1과 유사한 형태의 변화를 보이고 있다.

$L = 0.8 W$ 에서의 결과는 Fig. 13에 나타내었다. $\phi = 40^\circ$ 부근에서 정상상태에 도달하여 안정된 유동분포를 나타내고 있다. 냉각면 방향의 정체영역 크기는 크게 나타나고 있으며 격판을 따른 하강유동은 격판 하단까지 도달하지 못하고 가열

면방향으로 향하여 상승하는 유동형태를 보이고 있다.

위의 결과들에서 나타난 것처럼 초기 낮은 경사각도에서는 격판 상하부 두개의 주순환유동이 격판선단을 중심으로 유동의 방향이 교차하는 진동현상이 발생하였으며 경사각이 증가함에 따라 주순환유동과 재순환유동이 형성되며 경사각의 증가와 함께 재순환유동이 사라지고 주순환영역이 공간의 전역으로 확장되었다. 격판의 길이와 Rayleigh 수가 증가함에 따라 정상상태에 도달하는 각도 즉 천이경사각도가 지연되는 것을 알 수 있었다. 격판의 길이와 Rayleigh 수에 따른 천이경사각도를 Fig. 14에 나타내었다. 그림에 나타난 것처럼 천이경사각도는 Rayleigh 수의 증가에 따라 증가하였고 증가 폭이 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 격판의 길이가 증가함에 따라 천이경사각도는 점차 증가하였다.

5. 결 론

밀면이 고온, 윗면이 저온으로 유지되고 양쪽 수직벽이 단열인 정사각형 밀폐공간내의 한쪽 측벽의 중앙에 수평격판이 부착되어 있는 경우에 대한 자연대류 유동을 PIV 계측 기법을 사용하여 실험을 하였다. Rayleigh 수의 변화와 함께 격판의 길이와 밀폐공간의 경사각을 변화시켜가며 얻은 순간속도장 으로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 경사각이 10° 인 경우에는 격판의 길이가 $0.4 W, 0.6 W, 0.8 W$ 인 모든 경우에 대하여 격판선단을 중심으로 유동의 방향이 교차하는 자연대류 진동현상이 발생하였으며, 그 주기는 불규칙한 형태를 나타내었다. 또한 격판의 길이가 증가함에 따라 진동주기는 더욱 증가하였고 유동의 크기는 감소하였다.

(2) 경사각이 증가함에 따라 진동현상이 사라지고 격판하부의 재순환유동이 존재하여 시간에 따라 축소 및 팽창을 반복하게 된다.

(3) 경사각이 더욱 증가하면 격판하부의 재순환 유동마저 크기가 변화하지 않고 전 영역에 걸쳐 정상상태를 나타내는 천이경사각이 존재하였다. 천이경사각은 격판의 길이와 Rayleigh수가 증가함에 따라 더욱 크게 나타났다.

(4) 경사각이 40° 이상으로 증가하면 세 가지 모

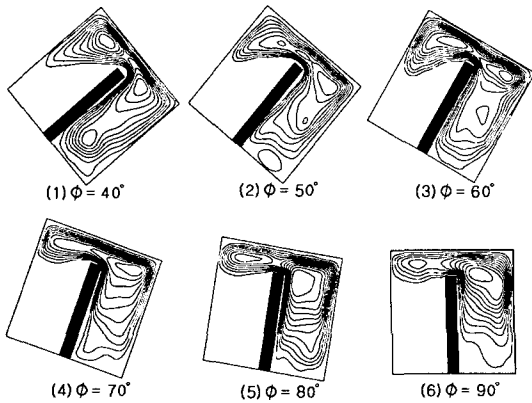


Fig. 13 Streamlines for various inclination angles (Case 2, $L = 0.8 W$)

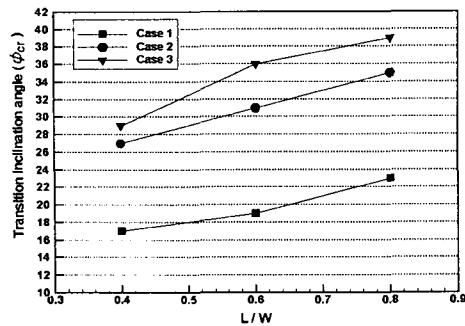


Fig. 14 Transition inclination angles for various Rayleigh number and partition lengths

든 경우에 대하여 하나의 주순환영역이 형성되었으며 정상상태에 이르게 되었다.

(5) 경사각이 50°이상이 되면 주순환유동의 내부영역의 유동크기가 감소하며 벽면부근의 유동이 강하게 나타났다.

(6) 경사각이 더욱 증가하게 되면 전체적인 유동의 크기가 감소하였으며 격판상부의 정체 영역이 크게 확장되었다.

(7) 격판길이의 증가는 전체적인 유동장 억제효과를 가져와 길이 증가에 따라 유속이 현저히 감소하였다.

후 기

본 연구는 2001년 BK21 지역대학육성 사업단(수송 기계 분야) 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Nansteel, M.W. and Grief, R., 1981, "Natural Convection in Undivided and Partially Divided Rectangular Enclosure," *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 103, pp. 623~629.

(2) Hanjalic.K, Kenjeres.S and Durst.F, 1996, "Natural Convection in Partitioned Two Dimensional Enclosures at Higher Rayleigh Numbers," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 39, No.7, pp. 1407~1427.

(3) Bajorek, S.M, Lloyd and J.R., 1982, "Experimental Investigation of Natural Convection in Partitioned Enclosures," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 104, pp. 527~532.

(4) 이택식, 이상우, 1987, "수평전도벽과 간막이가 직4각형 밀폐공간내에서의 2차원 층류 자연대류에 미치는 영향," *공기조화냉동공학회*, 제16권, 제2호, pp. 204~215.

(5) 정인기, 김정엽, 이효조, 1991, "밀면 가열 4각 밀폐공간 내에서 격판에 의한 자연대류의 진동," *공기조화냉동공학회*, 연구보고 제19권, 제 1호, pp. 55~62.

(6) 김점수, 정인기, 송동주, 1992, "수평격판을 갖는 4각형 밀폐공간내에서 자연대류의 진동유동," *대한기계학회*, 제16권, 제10호, pp. 1963~1970.

(7) 정인기, 김점수, 송동주, 1993, "수평격판을 갖는 정사각형 밀폐공간내에서 자연대류 유동 및 열전달," *대한기계학회*, 제17권, 제9호, pp. 2304~2314.

(8) 김점수, 정인기, 송동주, 1995, "수평격판을 갖는 상부가 부분 개방된 밀폐공간내의 자연대류," *공기조화냉동공학회*, 제7권, 제3호, pp. 528~537.