

경사진 3차원 밀폐 공간 내에서의 자연대류

김현호† · 배대석* · 권오봉*

(원고접수일 : 2004년 9월 13일, 심사완료일 : 2005년 2월 2일)

Natural Convection in a Three Dimensional Inclined Enclosure

Hyun-Ho Kim† · Dae-Seok Bae* · Oh-Boong Kwon*

Abstract : In an inclined enclosure with the upper part cooled and the lower part heated, quantitative data of the temperature and velocity are obtained simultaneously using thermo-sensitive liquid crystals. Experimental results are presented for $Pr=909$, aspect ratios of 1/14, 2/14 and 3/14, angle of inclination, $0 \leq \theta \leq 45$ to the horizontal line. The numerical results are obtained in the same conditions as experiments by the finite volume method and its results are compared with experimental results. It is found that the number of cell is decreased with increasing the angle of inclination, and a unicell is formed at nearby $\theta=30^\circ$ which is not affected by the aspect ratio.

Key words : Natural convection(자연대류), Liquid crystal(감온액정), Angle of inclination (경사각)

기호설명

C_p : 정압비열

Gr : Grashof 수 $g\beta h^3(T_{high}-T_{low})/\nu^2$

H : 실험부 높이

L : 실험부 길이

Pr : Prandtl 수 ν/α

Ra : Rayleigh 수 $g\beta(T_{high}-T_\infty)H/\alpha\nu$

T : 온도

T_H : 상부면 온도

T_L : 하부면 온도

V : 속도

W : 실험부 깊이

g : 중력가속도

p : 압력

u : x 방향 속도

v : y 방향 속도

w : z 방향 속도

β : 체적팽창계수

α : 열확산계수

θ : 수평방향이 x축과 이루는 각

κ : 열전도율

μ : 유체의 점성계수

† 책임저자(부경대학교 대학원 기계공학부), E-mail : rlagusgh@hotmail.com, Tel : 011)591-0040

* 부경대학교 기계공학부

1. 서 론

밀폐 공간 내에서의 열·유체 거동을 정확하게 파악하는 것은 시설난방, 수정성장, 원자로, 용광로와 같은 시스템의 설계를 위해서 반드시 필요하다. 따라서 자연대류 열전달과 관련된 여러 가지 기하학적 형상에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다^{[1]-[7]}. 특히 하부가 가열되고 상부가 냉각되는 사각 밀폐 공간 내에서의 자연대류에서는 Rayleigh 수가 1700이상인 경우 Rayleigh-Bénard 대류라는 유동현상이 나타난다. 이러한 사각 밀폐 공간 내에서의 Rayleigh-Bénard 대류에 대한 연구는 밀폐공간의 형상비, Rayleigh 수, 작동유체의 Pr 수 및 경사각의 영향에 대해 다양하게 고찰되어졌다^{[5]-[7]}. 그러나 이들 연구의 대부분은 컴퓨터를 이용한 수치해석에 의해 수행되었으며 실험이 병행된 경우에도 전체적인 유동형태만을 알 수 있는 정성적인 유동가시화에 국한되었다.

최근 들어 컴퓨터와 화상처리기술의 비약적인 발전과 더불어 감온액정을 이용한 정량적 가시화 기법이 활발히 연구되고 있다. Yoon등^[8]은 감온액정과 컬러화상처리기법을 비정상 열유동의 순간적인 온도 측정에 사용함으로써 Hele-Shaw Cell 내부유동의 온도장 변화를 해석하였고, Kimura등^[9]은 회전계 자연대류에 적용하여 온도장과 속도장을 계측하고 3차원 실험기법의 필요성을 제시하였다. 또한 Bae^[10]는 비정상 기포유동의 온도장을 정량적으로 가시화하였으며, Hong^[11]등은 와동발생기 하류의 바닥면에서 시간에 따른 온도분포를 측정하였다. 이러한 감온액정을 이용한 실험은 유체의 유동에 영향이 적을 뿐만 아니라, 점계측된 열전대나 국소유속계 등과는 달리 온도장과 속도장 전체의 동시 계측이 가능하며 복잡한 형상의 온도측정, 순시속도측정 등이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 자체 개발한 감온액정을 이용한 온도장 및 속도장 동시 계측법을 상·하부면의 온도차로 생기는 경사진 밀폐 공간 내에서의 자연대류에 적용하여 실험적으로 전체 유동장의 온도와 속도를 정량적으로 가시화하고자 한다. 정량적 속도분포는 계조치 상호 상관법을 적용한 PIV(Particle Image Velocimetry)^{[12]-[14]} 계측

법을 사용하여 속도 벡터로 나타내고, 정량적 온도분포는 뉴털 네트워크^[15]와 컬러이미지처리를 통하여 색으로 나타낸다. 그리고 형상비(H/L)와 경사각(θ)의 변화가 사각 밀폐공간내의 자연대류에 미치는 영향을 함께 검토하고, 그 결과를 수치해석결과와 비교·검토하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

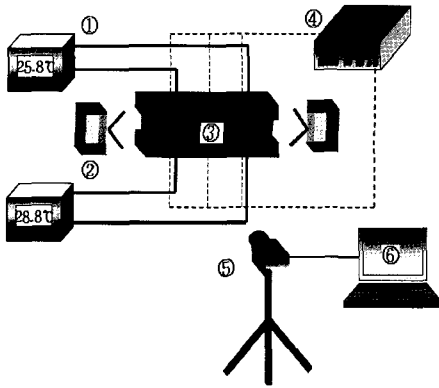
2.1 실험장치

실험장치는 Fig. 1과 같이 실험부(test section), 항온순환장치 2대, light source 2대, 디지털 온도계, 3CCD 디지털 비디오카메라 그리고 컴퓨터로 구성되었다. 실험부는 동일한 폭(140mm)과 깊이(10mm)를 갖고, 높이는 각각 10mm, 20mm, 30mm인 낮은 형상비를 갖는 3종류의 직사각 밀폐모형으로 제작되었다. 또한 실험부에 정확한 경사각을 주기 위해서 각도기가 부착되어진 원판을 실험부 후방에 연결하였다.

Fig. 2는 실험부 형상의 단면도로서 실험부는 영상 획득을 위해 투명아크릴로 제작되었으며 전 열면인 동판과 수직으로 조립되었다. 상·하부 동판에는 열전대가 각각 3부분에 설치되었고, 디지털 온도계를 통해 그 온도가 측정되었다. 반사광에 의한 해상도의 손실을 막기 위해 영상획득 부분을 제외한 실험부의 촬영전면에 검정색 종이를 부착하였고, 영상획득 부분 뒷면에도 감온액정의 발색을 보다 잘 촬영하기 위해 검정색 종이를 부착하였다. 광원은 실험부의 좌·우에 검정색 종이로 만들어진 2mm 슬릿 slit)을 통하여 조사되었다. 영상획득은 슬릿 광에 대해 수직방향으로 2m 위치에 설치된 컬러디지털비디오카메라에 의해 이루어졌다. 실내온도의 영향을 감소시키기 위해 실험 장치를 둘러싸는 별도의 차단벽을 설치하였으며 실내온도를 실험부 상하면의 평균온도로 설정하여 실험하였다.

작동유체로는 Shin-Etsu Silicon Oil KF-96-100cst(Shin-Etsu Chemical Co.,Ltd)를 이용하였고, 액정에는 RM2830(Japan capsular products INC.)를 사용하여 실리콘오일의 점성

에 영향을 미치지 않도록 중량비 약 0.1%로 현탁하였다.



- ① constant temperature bath ④ digital thermometer
- ② light source ⑤ digital video camera
- ③ test section ⑥ computer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

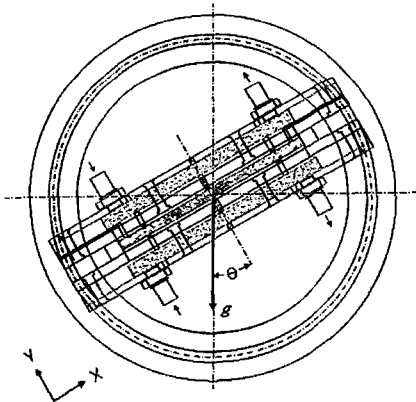


Fig. 2 Cross-section of the apparatus

2.2 실험방법

먼저, 실험부에 실리콘 오일을 주입하고, 항온순환장치를 작동시켜 대류를 발생시킨다. 전 영역에 걸쳐 대류가 충분히 발달되었을 때, 감온액정이 관찰장에 부착되거나 밀면에 침전되는 것을 방지하기 위해 상부동관의 유입관(inflow)을 통해 감온액정 현탁액을 주사기로 주입하였다. 주입된 감온액정이 충분히 교반되면, 상하면의 온도를 같게

하여 대류가 완전히 제거되는 열평형상태로 만든다. 이후, 상부를 가열하고 하부를 냉각하여 색/온도변환을 위한 교정실험을 실시하였다. 이 교정실험에 앞서, 감온액정의 발광 온도영역을 파악하기 위한 실험을 실시하였다. 교정실험은 실리콘 오일의 유동이 전혀 없는 열전도 상태가 되었을 때, 상부 동관의 유입관으로 열전대를 삽입하여 감온액정의 다양한 발색에 대한 온도정보를 파악하는 것이다. 교정실험 이후 실험부에 경사각을 준 다음 열평형상태로 전환하고, 그 다음 하부면을 가열하고 상부면을 냉각시켜 실험부내에 대류가 충분히 발달해 정상상태가 되었을 때 3CCD 컬러 디지털 비디오카메라로 촬영을 하였다.

촬영되어진 화상의 속도장 해석은 복수의 추적입자가 만든 소영역의 농도패턴을 처리하는 방법인 계조치 상호 상관법으로써 전 유동장의 속도 벡터를 계산하였다.

2.3 온도장 측정방법

감온액정을 사용하여 촬영한 원 화상으로부터 정량적인 온도분포를 얻기 위해서는 색을 온도에 맞게 변환하여야 한다. 본 연구에서는 RGB표색계를 사용하여 색을 정의하고 컬러 화상처리를 하였다. 그러나 색과 온도사이에서 강한 비선형성이 나타나기 때문에 색과 온도의 관계를 정립하기 위해서 뉴럴 네트워크를 사용하였다.

Fig. 3은 3층 구조로 이루어진 뉴럴 네트워크를 나타내며, 색의 r, g, b값이 입력되어 온도 T_c 가 구해진다. 뉴럴 네트워크의 학습은 유닛간의 결합하중 W_i 와 역치 θ 를 조정하여 얻어진 출력 T_c 가 열전대에 의해 측정된 온도와 일치하도록 수행되어진다. Fig. 4는 다입력 1출력의 유닛으로 표현되어진 뉴런 모델을 나타낸다. 각각의 뉴런 유닛은 그 이외의 유닛에서의 출력에 의해 주어진 입력값 X_i 에 결합하중 W_i 를 더해서 입력된다. 각각의 입력값 X_i, W_i 는 총합 X 로 이루어지고 전달함수 $f(X)$ 에 의해 변환을 받아 y 가 출력된다. 또한 X_0 와 W_0 는 역치(bias: θ)를 설정하기 위해 사용되어졌다. 그 관계를 식(1)과 식(2)에 표시하였다.

$$X = \sum_{i=1}^n X_i W_i + \theta \quad (1)$$

$$y = f(X) = \frac{1}{1 + \exp(-X)} \quad (2)$$

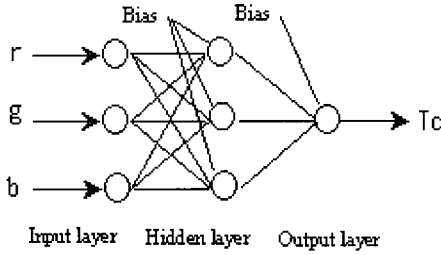


Fig. 3 Neural network structure

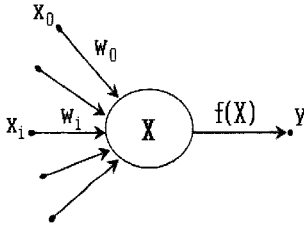


Fig. 4 Neuron model

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 5는 100cSt 실리콘 오일을 사용하여 형상 비 $H/L=2/14$, $Ra=2.03 \times 10^4$ 일 때 경사각에 따른 자연대류 결과이며, a)는 계조치 상호 상관법을 적용한 속도벡터, b)는 유선 그리고 c)는 촬영영상을 색/온도 변환한 온도분포를 나타낸다. 그리고 경사각 θ 는 수평방향과 X축이 이루는 각이다. 그림에서 보는바와 같이 경사각 θ 가 증가함에 따라 셀 수는 감소하며, 경사각 $\theta=0^\circ$ 일 때 8개, $\theta=15^\circ$ 일 때 5개 그리고 $\theta=30^\circ$ 근처에 도달하면 유동장 전체에 한 개의 셀 유동을 형성한다. 경사각이 $\theta=0^\circ$ 일 때 셀의 형태는 좌우대칭인 전형적인 Bénard 셀을 이루며, 각 셀은 Y방향 부력과 인접한 셀 유동의 상호작용에 의해서 X방향의 유속보다 Y방향의 유속이 더 크지만, 경사각 θ 가 증가함에 따라 대칭의 형태는 파괴되고 X방향 부력의 증가에 의한 X방향 유속이 증가함을 알 수 있다.

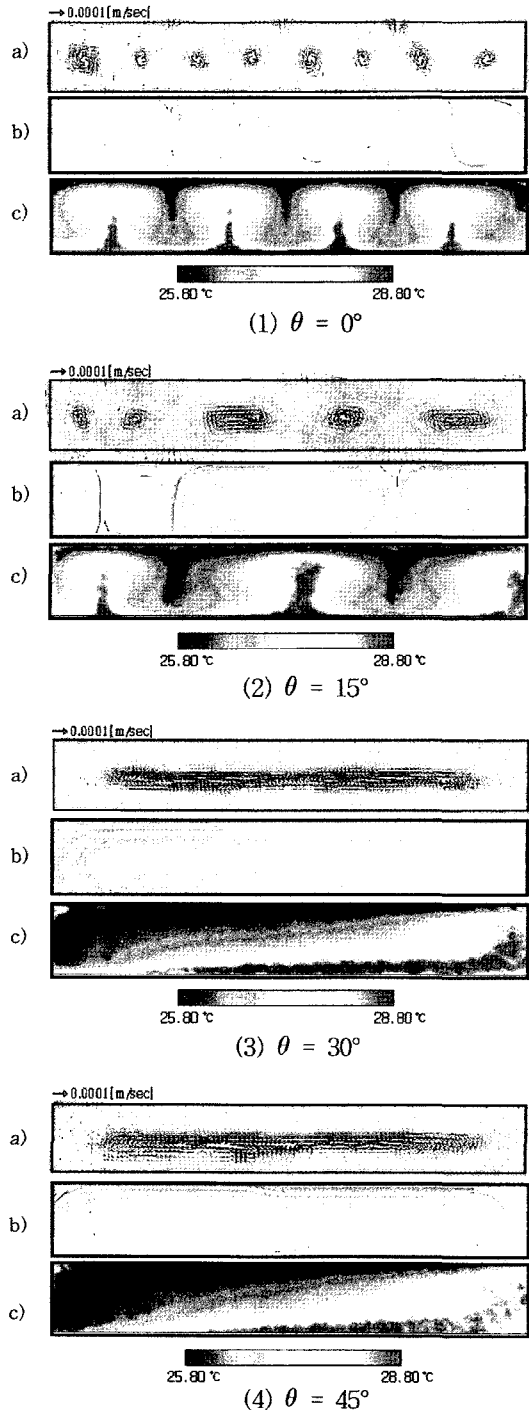


Fig. 5 Experimental results at $H/L=2/14$, $Ra=2.03 \times 10^4$, $Pr=909$, according to angle of inclination ; a) Velocity vectors b) Streamlines c) Temperature patterns

Fig. 6과 Fig. 7은 $Ra=2.03 \times 10^4$, 경사각이 각각 $\theta=15^\circ$ 와 45° 일 때, 형상비가 자연대류의 속도장에 미치는 영향을 나타낸다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 형상비의 증가에 따라 즉 Ra 수가 증가함에 따라 셀 수가 감소함을 알 수 있다. Fig. 7에서는 형상비에 상관없이 단일셀 유동형태를 보이며, 형상비가 증가함에 따라 수직벽면근처에서 V 속도가 증가한다.

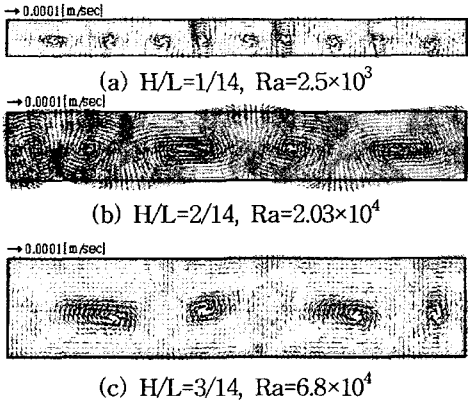


Fig. 6 Velocity vectors at $\theta=15^\circ$, $Pr=909$ according to aspect ratio

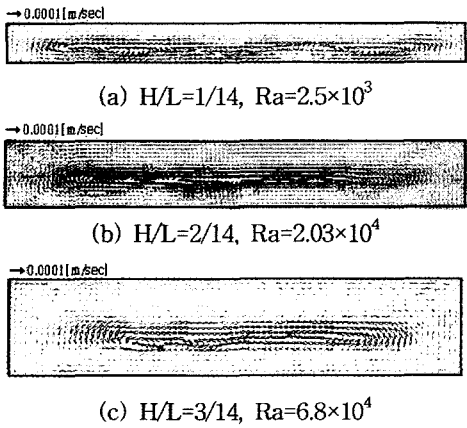


Fig. 7 Velocity vectors at $\theta=45^\circ$, $Pr=909$ according to aspect ratio

Fig. 8과 Fig. 9는 경사각이 각각 $\theta=15^\circ$, 45° 일 때, 높이 $H/2$ 에서 형상비의 변화($H/L=1/14$, $H/L=2/14$, $H/L=3/14$)에 따른 Y 방향의 V 속

도 분포를 비교한 것이다. Fig. 8에서는 형상비가 증가함에 따라 Y 방향의 V 속도의 최대값과 최소값이 증가하며, 대칭적이고 주기적인 속도분포를 나타내어 유동형태가 다중셀 유동형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 9에서보는 바와 같이 $\theta=45^\circ$ 일 때는 주기적인 속도분포는 사라지고 오직 대칭적인 속도분포를 나타내어 하나의 셀이 형성됨을 보여주고 있다. 또한 Fig. 7에서 설명한 바와 같이 형상비가 증가함에 따라 V 속도가 증가함을 알 수 있다.

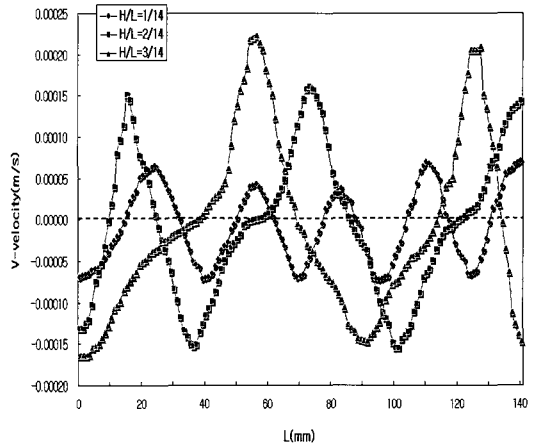


Fig. 8 Comparison of V -velocity according to each aspect ratio at $\theta=15^\circ$

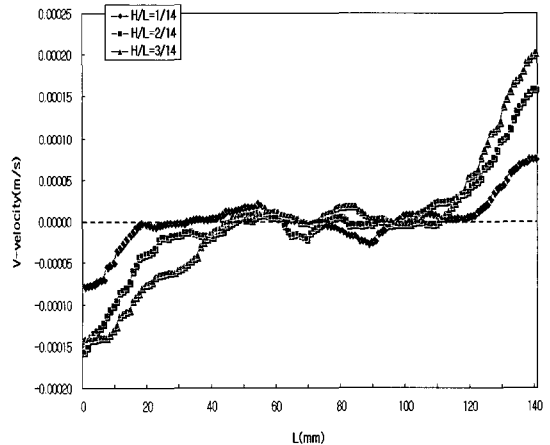


Fig. 9 Comparison of V -velocity according to each aspect ratio at $\theta=45^\circ$

4. 수치 해석

수치해석모델은 실험 형상비 중의 하나인 길이 $L=140mm$ (X축), 높이 $H=20mm$ (Y축), 그리고 깊이 $W=10mm$ (Z축)이다. 경계조건은 좌우 수직 벽면은 단열조건이며, 하부면은 $T_L=28.8^\circ C$ 로 가열되고 상부면은 $T_H=25.8^\circ C$ 로 냉각된다. 수치 해석은 상용코드인 STAR CD 3.150A를 사용하였으며, 압력보정은 PISO 알고리즘을 사용하였고, 대류항은 중심차분도식을 사용하였다. 또한 점성에 의한 에너지 소산과 복사는 무시하였고, 부력에 관련된 밀도변화는 Boussinesq 근사를 적용하였다. 본 수치해석에 적용된 지배방정식은 다음과 같다.

· 연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

· X 방향 운동량 방정식

$$\begin{aligned} & \rho(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}) + \frac{\partial p}{\partial x} \\ & = \mu(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}) + \rho g \beta \Delta T \sin \theta \end{aligned}$$

· Y 방향 운동량 방정식

$$\begin{aligned} & \rho(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}) + \frac{\partial p}{\partial y} \\ & = \mu(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}) + \rho g \beta \Delta T \cos \theta \end{aligned}$$

· Z 방향 운동량 방정식

$$\begin{aligned} & \rho(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}) + \frac{\partial p}{\partial z} \\ & = \mu(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}) \end{aligned}$$

· 에너지 방정식

$$\begin{aligned} & k(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}) \\ & = \frac{k}{C_p}(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) \end{aligned}$$

4.1 수치해석 결과 및 고찰

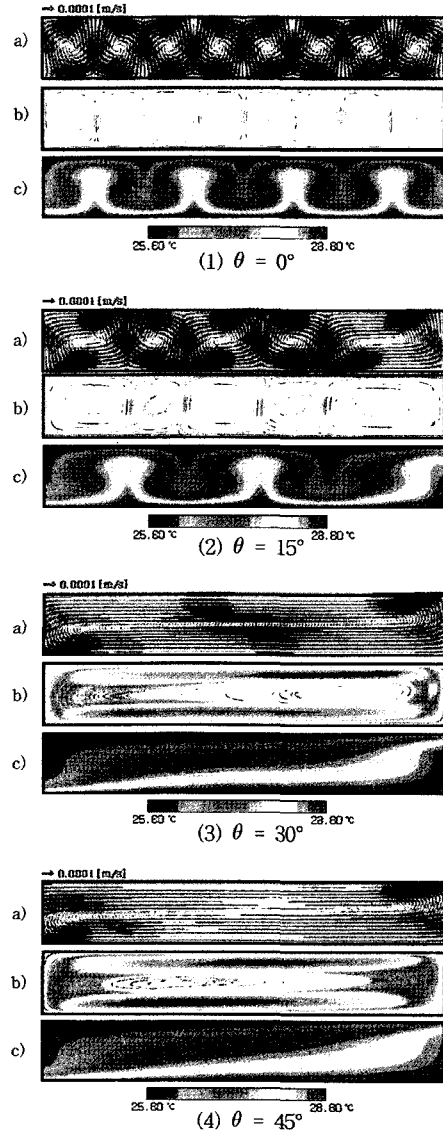
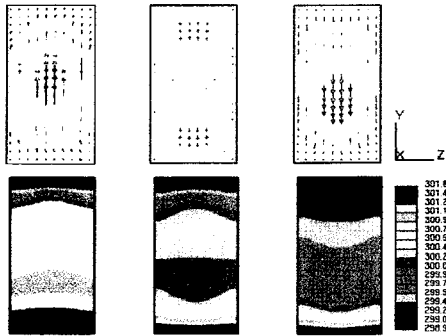


Fig. 10 Numerical results at $H/L=2/14$ according to angle of inclination ; a) Velocity vectors b) Streamlines c) Temperature patterns

Fig. 10은 $W=5mm$ (Z축)인 지점에서 a)는 속도벡터, b)는 유선 그리고 c)는 온도분포를 XY평면에 나타낸 것이다. 경사각에 따른 자연대류의 실험 결과인 Fig. 5와 잘 일치한다. 경사각 θ 가 30도에 도달하면 다중 셀 유동에서 단일 셀 유동으

로 바뀌는 것을 확인 할 수 있으며, 다중 셀 유동을 보이는 구간에서 셀의 수도 실험결과와 동일하였다. 또한, 경사각 θ 가 증가하여 단일셀 유동으로 변함에 따라 가열 및 냉각 부근의 작동유체의 X방향 속도 U 가 부력의 영향 때문에 증가하는 것을 확인하였다.



(a) $x=5.25\text{cm}$ (b) $x=6.125\text{cm}$ (c) $x=7\text{cm}$

Fig. 11 Velocity vectors and temperature patterns according to each location of x-axis

Fig. 11는 경사각 $\theta=0^\circ$ 이고 실리콘 오일 100cSt일 때, X축 방향으로 4번째에 위치한 셀을 삼등분하여 세 곳의 위치 즉 $X=5.25\text{cm}$, 6.125cm , 7cm 인 지점에서의 YZ평면의 Y방향으로 V 속도 성분과 온도구배를 나타낸다. 각 위치는 유동이 +Y방향(a)과 -Y방향(c) 그리고 그 두 곳의 중앙지점 즉 셀 중앙(b)을 나타낸다. 상승과 하강 유동만이 있는 셀의 좌우인 a)와 c)의 경우 유속은 좌우 및 상하 벽면의 영향으로 최대 속도는 중앙에서 나타난다. 그러나 회전유동이 있는 셀의 중앙인 b)의 경우는 최대속도는 좌우벽면의 영향으로 좌우 중앙에서 나타나지만 상하 대칭으로 나타나는 것은 알 수 있다. 한편 YZ평면의 온도분포는 성층적인 온도분포를 나타내고 있다.

4.2 실험 결과 및 수치해석 결과 비교

Fig. 12와 Fig. 13은 깊이 $W/2$ 에서 형상비 $H/L=2/14$, 경사각 $\theta=20^\circ$ 일 때 수치해석 및 실험으로 구한 속도 벡터와 온도 분포를 정량적으로

가시화한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 속도 장 및 온도장의 수치해석결과는 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

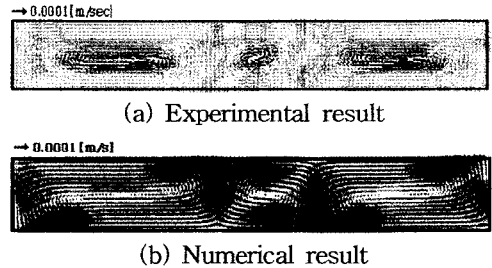


Fig. 12 Comparison of velocity vectors at $H/L=2/14$, $\theta=20^\circ$

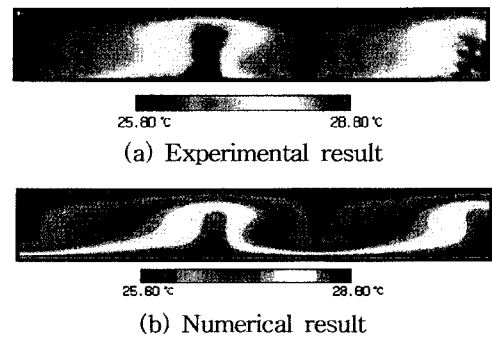


Fig. 13 Comparison of temperature patterns at $H/L=2/14$, $\theta=20^\circ$

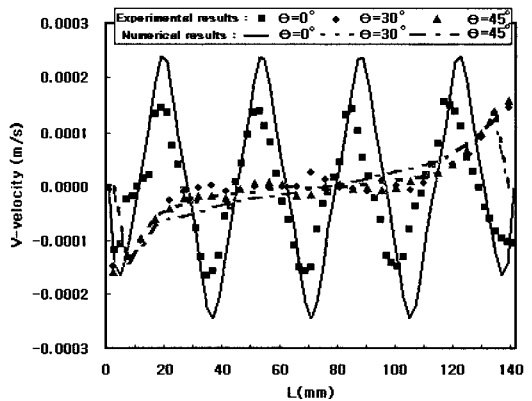


Fig. 14 Comparison of experimental and numerical results according to angle of inclination at $H/L=2/14$

Fig. 14는 $H/2$, $W/2$ 인 위치에서 경사각이 각각 $\theta=0^\circ$, $\theta=30^\circ$, $\theta=45^\circ$ 일 때 V 방향 속도 분포를 나타낸다. $\theta=0^\circ$ 인 경우 수치해석 결과와 실험 결과를 비교해보면 최대 및 최저 속도에 약간의 차이가 있지만 각 셀이 발생하는 위치는 잘 일치 하였고 경사각 $\theta=30^\circ$, $\theta=45^\circ$ 의 경우도 유동 형태 및 속도분포가 잘 일치하여 실험오차와 수치해석 오차를 고려하면 전반적으로 실험과 수치해석 결과는 잘 일치한다고 할 수 있다.

결 론

경사각과 형상비가 경사진 평행 평판내의 자연대류에 미치는 영향을 감온액정을 이용하여 실험적으로 연구하고, 그 결과를 수치해석 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실험적으로 경사진 사각 밀폐 공간내의 전 유동장 영역의 온도장과 속도장을 동시에 가시화하고 정량적으로 계측 할 수 있었으며, 그 결과는 수치해석 결과와 잘 일치하였다.
- 2) 경사각은 사각 밀폐 공간내의 유동에 크게 영향을 미쳤으며, 경사각 $0 \leq \theta < 30$ 범위에서는 다중셀 유동 형태를 나타내고 경사각 $30 \leq \theta$ 범위에서는 단일셀 유동 형태를 나타내었다.
- 3) 밀폐공간내의 셀 수는 형상비가 증가하면 감소하였지만, 유속은 형상비가 증가하면 증가하였다.

본 논문은 한국과학재단 지정 부경대학교 친환경첨단에너지기계연구센터의 지원(과제번호 : R12-2003-001-03006-0)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] K. P. Ajay and R. K. Jeffrey, "Combined forced and natural convection heat transfer in a deep lid-driven cavity flow", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol.17, No.5, pp. 460-467, 1996.
- [2] G. L. Zhang, T. Hanzawa and N. Sakai, "Heat Transfer by Natural Convection in Rectangular Cavities with Low Grashof Number and Various Heater Locations", *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 29, No.4, pp. 603-610, 1996.
- [3] Y. P. Chang and R. Tsai, "Natural Convection in a Square Enclosure with a Cold Source", *Heat and Mass Transfer*, Vol.24, No.7, pp.1019-1027, 1997.
- [4] O. Polat and E. Bilgen, "Conjugate heat transfer in inclined open shallow cavities", *Int. J. Heat and Mass Transfer* Vol.46, pp.1563-1573, 2003.
- [5] J. G. Symons and M. K. Peck, "Natural Convection Heat Transfer Through Inclined Longitudinal slots", *Transaction of the ASME*, Vol.106, pp.824~829, 1984.
- [6] Y. C. Michael and K. T. Yang, "Three- Dimensional Mach-Zehnder Interferometric Tomography of the Rayleigh-Bernard Problem", *Transactions of the ASME*, Vol.114, pp.622~629, 1992.
- [7] K. R. Kirchartz and H. Oertel, "Three- dimensional thermal cellular convection in rectangular boxes", *J. Fluid Mech*, Vol.192, pp.249~286, 1988.
- [8] Jong-Hwan Yoon, Deog-Hee Doh and Sang-Joon Lee, "Temperature Field Measurement of Convective Flow in a Hele-Shaw Cell with TLC and Color Image Processing", *Trans. of the KSME B*, Vol. 20, No. 3, pp.1114~1122, 1996.

- [9] Kimura, I., Hyodo, T. and Ozawa, M., "Temperature and Velocity Measurement of a 3-D thermal Flow Field Using Thermo-Sensitive Liquid Crystals", *J. Visualization*, Vol. 1, No. 2, pp. 145~152, 1998.
- [10] 배대석, "감온액정을 이용한 기포유동의 온도장 해석에 관한 연구", *대한기계학회논문집 B권*, 제27권 제11호, pp.1572~1578, 2003.
- [11] 홍철현, 양장식, 이기백, "과도 액정 기법을 이용한 와동발생기 하류의 유동장 및 열전달 측정", *대한기계학회논문집 B권*, 제27권 제11호, pp.1618~1629, 2003.
- [12] 백승조, 이상준, "2-프레임 PTV 시스템의 개발 및 채널유동에의 응용", *대한기계학회논문집 B권*, 제 22권 제6호, pp.874~887, 1998.
- [13] 이영호, "PIV에서의 동시다점계측의 원리 및 적용", *대한기계학회 '96년도 열 및 유체공학부 학술평론 논문집*, pp.30~44, 1996.
- [14] R. J. Adrian, "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics", *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 23, pp.421~485, 1998.
- [15] Dae-Hee Lee, Jae-Hun Chung, Se-Youl Won, Yun-Taek Kim and Kwang Suk Boo, "A New Liquid Crystal Color Calibration Technique Using Neural Networks and Median Filtering", *KSME International Journal*, Vol. 14, No. 1, pp. 113~120, 2000.

저 자 소 개



김현호 (金賢鎬)

1977년 7월생, 2003년 부경대학교 기계공학부 졸업(공학사), 2005년 부경대학교 대학원 졸업(공학석사)



배대석 (裵大錫)

1955년 2월생, 1980년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1984년 동아대학교 대학원 졸업(석사), 1991년 동 대학원 졸업(박사), 1994년 University of Minnesota (post doctor), 1999년 일본 후쿠이대학(교환교수), 현재 부경대학교 기계공학부 교수.



권오봉 (權五鵬)

1958년 1월생, 1980년 서울대학교 기계공학과 졸업, 1982년 서울대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1992년 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 기계공학과 졸업(박사), 현재 부경대학교 기계공학부 교수