

Taylor - Görtler - Like(TGL)와의 거동특성에 관한 연구

이영호* · 김춘식** · 조대환*** · 최장운***

A Study on the Behavior Characteristics of TGL Vortex

Y. H. Lee · C. S. Kim · D. H. Jo · J. W. Choi

Key words : TGL Vortex(TGL와), Cavity Flow(캐비티흐름), PIV(영상처리유속계), Image Grabber(이미지 그래버), 2 - D Plane Poiseuille Flow(2차원 평면 포아슈흐름)

Abstract

Flow characteristics within the three dimensional square cavity are studied experimentally by adopting PIV(Particle Image Velocimetry). A new method for tracking the same particle pairs in the consecutive flow image is suggested resulting in more effective acquisition of the velocity vectors. Two methods for supplying the shearing stress within the cavity are developed by continuous moving belt and 2 - dimensional plane Poiseuille flow. The effect of TGL vortex in the case of belt moving flow is remarkable owing to the distribution of the kinetic energy in the spanwise direction. But, for the plane Poiseuille flow, velocity profiles similar to a forced vortex are obtained and its tendency increases with the Reynolds number.

1. 처음말

유동현상을 지배하는 현상학적인 요소중에서 여러형태의 와의 생성, 발달 및 소멸과정은 유체역학적인 많은 문제점을 제공하는 동시에 이의 해결을 위한 다양한 노력을 요구하고 있다. 따라서, 유체역학의 궁극적인 목표중의 한가지는 이와 같은 와의 유동현상을 지배하는 보편법칙을 이론적

으로 또는 경험적으로 규명하는데에 있다고 볼 수 있다. 그 결과, 지금까지 이와 관련된 많은 이름들의 와의 거동을 파악하고자 하는 연구가 진행되어 왔으며 다양한 연구결과가 보고되어 있다(ref.1).

한편, 비교적 최근의 실험적인 연구결과로 Koseff가 주도하는 스탠포드대학의 연구그룹이 일련의 흥미있는 실험 또는 수치해석결과를 발표하고 있다. 이들은 정방형 또는 장방형의 3차원 밀

* 한국해양대학교 기계공학과

** 한국해양대학교 기관공학과

*** 한국해양대학교 대학원 기계공학과

폐공간(캐비티)에서 한면이 연속적으로 밀착이동할 때에 내부에서 형성되는 유동장에 착목하여 몇 가지 흥미있는 새로운 연구결과(ref.2 - ref.6)를 발표하여 주목을 받아 왔다.

특히, 이들은 DSE(Down stream eddy)에서 어느 일정한 레이놀즈이상에서는 Taylor-Görtler와 유사한(Like) 새로운 형태의 와가 발생함을 보고 하고 있다. 또한, 이것은 DSE부분에서 원심력과 압력구배에 의한 힘의 균형이 점성담핑효과에 의해 무너지기 때문이며, 이와 같은 초기교란은 스펙트럼방향의 코너와(corner vortex)에 의해 증폭된다고 추론하고 있다. 그러나 밀폐공간내에서 연속적으로 순환하는 유동에서 국소적으로 절대적인 불안정한 영역(locally absolutely unstable region)이 이와 같이 DSE부근에만 한정된다고 보기에는 무리가 있음이 지적될 수 있다.

또한, 애초에 이들의 실험결과가 보고되었을 때에 제기되었듯이 구동벨트로 부터의 노이즈 또는 DSE상류부에서의 초기 불안정 문제가 의문점으로 남아 있다. 나아가, 최근의 연구결과가 새롭게 제기하는 문제점(ref.7 - ref.8)도 아울러 해결하기 위하여 TGL와의 거동특성을 보다 면밀히 검토할 필요성이 있다고 보여진다.

캐비티흐름은 밀폐공간의 대표적인 유동장으로서, 대형계산기의 집냉각용 열교환기의 성능특성, 항공기 동체표면에서의 공력소음문제, 회전체의 시일링수법으로 채택되고 있는 래버린스패킹의 효율적인 누설방지대책, 제지공정에서의 염료코팅의 분배구조 등과 같이 산업공학적인 관점에서 연구되어야 할 대상으로 간주되고 있다. 이에 관련된 근간의 연구내용으로서는 사진용필름 또는 고품질의 제지착색에 이용되는 코우터(coater)의 내부유동에 관련된 가시화실험(ref.9)이다.

이 연구에서는 유동장의 속도계측수단으로서 최근에 주목을 받고 있는 영상처리유속계(PIV: Particle Image Velocimetry)를 이용하여 유동장의 전범위에 걸친 속도값을 효과적으로 동시계측하였다. 이미지보오드를 이용한 간편한 계측시스템을 구성하였고, 동일입자추적수법을 새롭게 제안하여, 유효입자의 획득 및 처리속도의 향상을 꾀하였다.

얻어진 속도벡터를 이용하여 운동에너지의 공간분포 등을 검토하여 TGL와의 특성을 새롭게 규명하였다. 그 결과, 밀착이동경계면에 의한 레이놀즈수가 5×10^3 의 경우에는 TGL와의 영향으로 주기적인 운동에너지의 분배구조에 의해 대표단면의 속도분포가 평탄한 모습을 나타냈다. 그러나 2차원의 평면Poiseuille흐름에 의한 경우에는 레이놀즈수가 증가할수록 2차원의 강제와의 형태가 공간 중심을 두고 크게 발달함을 알 수 있었다.

2. PIV시스템

2.1. 영상처리

Fig.1은 영상처리의 순서를 보여주고 있다. 발달된 유동장은 비디오 카메라에 의해 기록 보존된다. 2차원의 유동장단면은 백색광원 또는 레이저 시이트라이트에 의해 제공된다. 추적입자는 물과 비중이 거의 비슷한 나이론12를 사용하였다. 직경은 150미크론 전후이다. 기록된 유동장의 영상정보는 개인용 컴퓨터에 내장된 이미지보오드에서 디지털정보로 변환된다. 2차원 배열로 구성되어 있는 화소의 계조치를 기초데이터로 하여 여러가지의 영상처리과정을 걸쳐 각 추적입자의 중심위치를 구하는 것이 우선의 목적이 된다(ref.10).

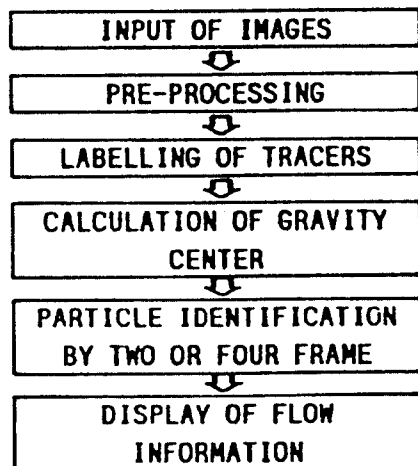


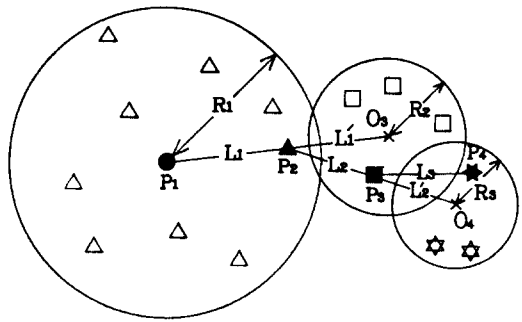
Fig.1 Flow Chart of PIV Processing

2. 2. 입자추적수법

일정시간간격으로 처리된 입력화상에서 입자의 중심위치를 우선 구한다. 다음으로 필요한 것은 분포된 입자가 미소시간간격이후에 어디로 이동하였는가를 판별하는 일이다. 결국 컴퓨터로 하여금 눈의 시각작용을 대신하는 성능을 갖추게 하는 것이 PIV에서는 대단히 중요하며, 지금까지 여러가지의 수법이 제시되어 왔다(ref.11 ref.13).

Fig.2는 4프레임수법의 진형적인 개념을 보여주는 그림이다. 4프레임상에서 동일입자의 궤적은 등간격직선이동의 조건을 만족하여야 한다. 따라서 계층구조로 되어 있는 수 많은 예상궤적중에서 참된 동일입자의 경로는 예를 들면, 그림에 나타나 있는 평가함수의 값이 최소가 되는 경로를 의미한다. 한편 이 수법은 4프레임의 연속화상이 필요하며, 따라서 유동장의 고유한 성질 또는 화상의 잡음성분에 의해 연속된 궤적을 모든 프레임에서 찾아낼 수 없는 단점이 있다. 또한 흐름의 회전이 급한 곳에서는 등간격, 직선이동의 조건에 벗어나기 쉬움으로서 유효입자가 크게 감소한다.

이와 같은 단점을 극복하기 위하여 두프레임의 입자영상정보 만으로 동일입자를 추적하고자 하는 일련의 연구가 행해져 왔으며, Fig.3은 새롭게 제시하는 추적수법을 개념적으로 보여 주고 있다.



○ : Particle of 1st frame \$L_1 = L_1'\$
 △ : Particle of 2nd frame \$L_2 = L_2'\$
 □ : Particle of 3rd frame P : Particles
 ☆ : Particle of 4th frame R : Searching radius
 Evaluation function
 $C = \text{MIN}(2L_2 - (L_1 + L_3))$

Fig.2 Four Frame Identification

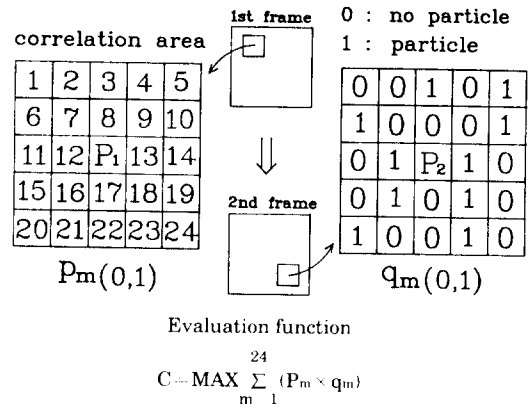


Fig.3 Two Frame Identification

즉 제1프레임의 한 입자위치 및 이 입자가 제2프레임상에서 최대로 이동할 수 있는 가상의 중심을 기준으로 하여 같은 크기의 상관계수영역을 설정한다. 다음으로 이 영역내에 분포된 입자의 중심위치를 픽셀단위의 상대좌표값으로 부여한다. 이때 입자가 위치하는 좌표값에 1의 값을, 존재하지 않는 위치에는 0의 값을 부여한다. 다음으로 대응되는 위치에서의 이들의 값을 곱하고 이 값들을 전 상관영역에 걸쳐 더한다. 제1프레임상의 한 입자에 대하여 여러가지의 평가함수가 동일한 요령으로 구해지며, 이 값이 최대가 되는 제2프레임상의 위치를 동일입자의 궤적으로 판별한다. 결국 한 입자를 중심으로 주위에 분포된 입자의 위치관계에 대한 상관을 이용한 수법으로 볼 수 있다.

2. 3. 실험장치의 구성

Fig.4는 이 연구에서 채택한 PIV시스템의 구성을 보여주고 있다. 크게 나누면, 유동장을 형성하여 조명 및 화상을 입력하는 부분, 그리고 입력된 화상을 처리하는 부분으로 나누어진다. 입력화상의 재생은 별도의 VTR을 이용하거나, 화상기록용의 캠코더 재생기능을 그대로 이용하였다. 이미 지그래머는 흑백용으로서 60Hz에서는 \$512 \times 480\$, 50Hz에서는 \$512 \times 480\$ 화소크기를 갖는다. 각 화소당 8 비트, 즉 256계조의 밝기정보를 처리할 수 있는 구조로 되어 있으며, 윈시데이터는 이진화일로 되어 있는 스캔주사순서의 일차원파일이다.

유동장은 3차원의 정방형 캐비티를 이용하여 형

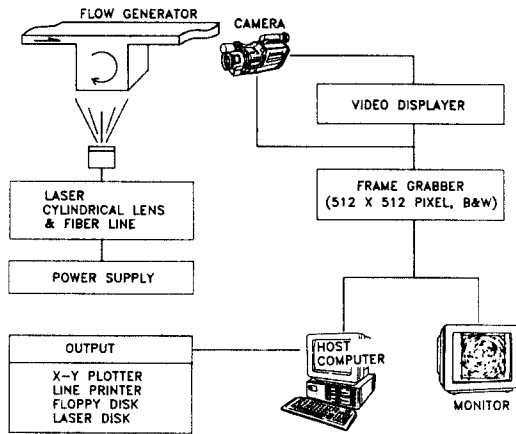


Fig.4 Schematic Diagram of PIV System

성한다. 제1의 방법은 캐비티상부를 접촉하면서 연속으로 밀착이동하는 방법으로 캐비티내에 운동에너지를 공급한다. 또 한가지의 방법은 2차원의 평면 Poiseuille흐름을 형성하는 방법이다. 전자의 벨트구동의 경우에는 100×100×100mm의 정방형 캐비티를 아크릴로 제작하였으며, 폭 200mm의 스테인레스 무한벨트 및 SCR직류모터를 이용하였다. 겉보기 레이놀즈수는 구동벨트의 경우에는 벨트의 회전속도 및 캐비티의 높이를 이용하여 계산한다. 이 연구에서는 레이놀즈수 5.0×10^3 를 대상으로 한다. 실험장치구성 및 실험조건 등에 관한 자세한 내용은 기 발표된 논문을 인용하고자 한다(ref. 7).

2차원 평면 Poiseuille흐름의 경우에는 Fig. 5와 같은 크기를 갖는다. 즉 입구폭 7.5×150 mm의 평면 2차원 Poiseuille흐름을 형성하여, 유동부에

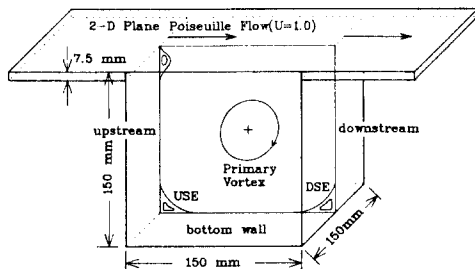


Fig.5 Cavity Dimension of 2-D Plane Poiseuille Flow

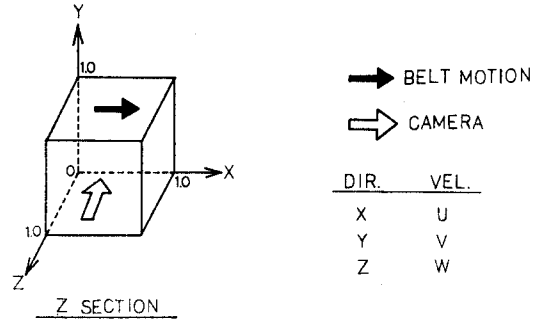


Fig. 6 Schematic Definition of Cavity Flow

회전에너지를 공급한다. 캐비티본체의 크기는 150×150×150mm의 정방형으로 아크릴로 제작하였다. 순환펌프에 의해 작동수가 공급되며, 유량은 보정된 삼각위어(weir)에 의해 구해진다. 겉보기 레이놀즈수는 이와 같이 구해진 유량을 입구단면적으로 나눈 단면평균속도를 대표속도로, 캐비티의 높이를 대표길이로 하여 계산한다. 이 연구에서 대상으로 하는 레이놀즈수는 7.5×10^3 , 10^4 및 1.25×10^4 의 세종류이다.

Fig. 6은 캐비티유동에서 일반적으로 채택되는 좌표계설정을 보여준다. z방향은 주류방향이며 주와(primary vortex) 및 하부양측구석에서 작은 규모의 2차와가 보이는 단면이다. x축은 구동벨트 또는 평면 Poiseuille흐름과 직각방향이며 TGL와가 $x=0.8 - 0.9$ 부근에서 관찰되는 단면이다. y단면은 구동벨트 이동방향과 평행한 단면이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 구동벨트의 경우

구동벨트의 밀착이동에 의해서 캐비티내부에 전단응력을 연속적으로 공급하는 방법은 지금까지의 캐비티유동에 관한 많은 연구에서 나타난다. 이 연구에서는 3차원 정방형 캐비티유동중 레이놀즈수가 비교적 높은 5×10^3 의 경우에 한하여 논의하기로 한다. 이 레이놀즈수에서는 특히, TGL와의 존재에 의한 스펜방향으로의 운동에너지분배 구조가 두드러지며, 이는 캐비티유동중 대표적인 현상으로서 연구되어 왔다. 특히, 전산유체역학적

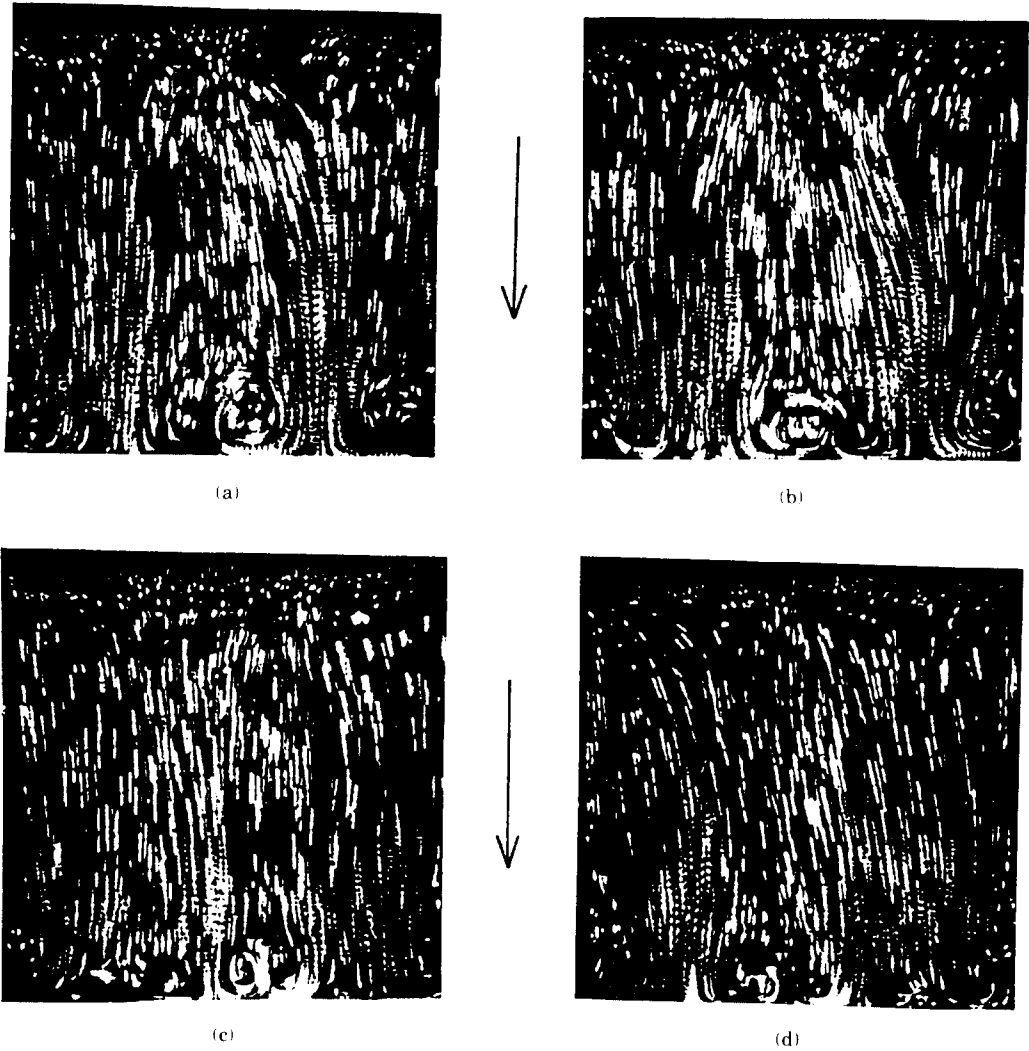


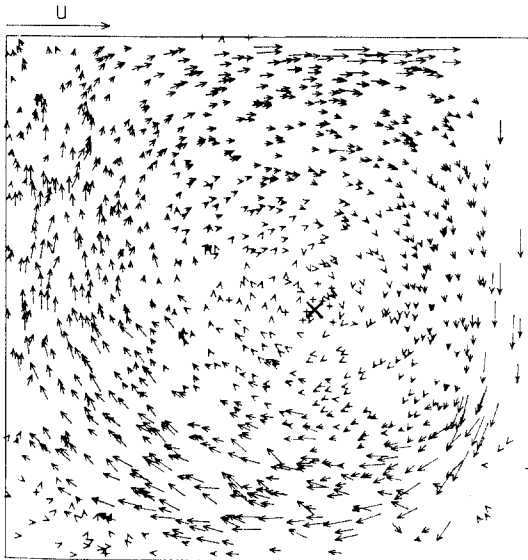
Fig.7 Streakline of TGL Vortex

인 관점에서는 고레이놀즈수의 계산스킴의 검정 용으로서 많은 적용예를 볼 수 있다. 그러나 실험 적으로는 소수의 부분적인 내용만이 보고되어 있으며, 본격적인 연구가 부족하다고 보여진다.

Fig. 7은 $x=0.9$, 즉, 하류측에 근접한 단면에서의, TGL와의 유동특성을 대표적으로 보이고 있다. 하부의 중앙 및 양옆으로 발달된 TGL와의 형태를 관찰할 수 있으며, 이 때문에 주와가 시계방향으로 회전하면서 유동의 운동에너지를 주기적으로 스펜방향으로 분배하는 역할을 한다. 그 결과 2차원 유동과는 전혀 다른 속도분포가 나타난

다.

Fig. 8은 이 경우에 있어서 실제로 계측된 속도 벡터를 일정시간간격을 두고 중첩한 결과이다. 대상단면은 $z=0.5$ 의 경우이다. 특히, 하부에서 속도 벡터의 방향 및 크기의 변화가 두드러짐을 알 수가 있고 이것은 TGL와의 영향때문으로 추측된다. 오른쪽 벽면, 즉 하류측에서 계측된 속도벡터의 수가 적은 것은 이 부분에서의 유동속도가 비교적 빠름으로서 화상처리가 제대로 되지 않은 점이 우선 지적될 수 있다. 그러나, 보다 큰 이유는 150미터 크론 전후의 나이론12 추적입자가 우측상부에서



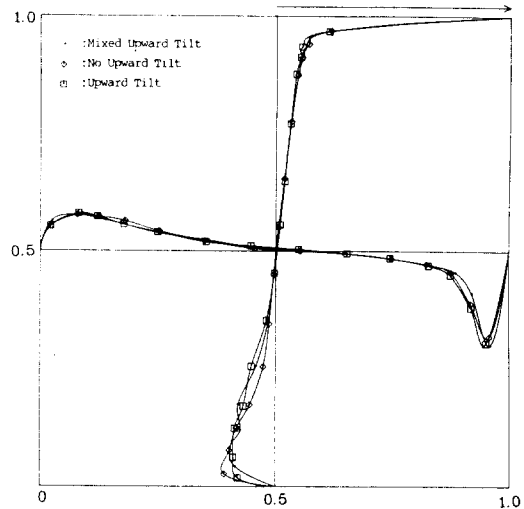
Re=5000, SAR=1:1, Nylon12, section: 0.5
Upward tilt mixed

Fig. 8 Distribution of Velocity Vectors(Re = 5 × 10³)

발생하는 커다란 부의 압력구배에 의해 우측벽면 가까이 접근할 수 없었기 때문에 추정된다.

Fig. 9는 같은 단면에서의 TGL와의 유동특성을 보여주는 또 다른 결과이다. 즉, 해석유동장을 VTR로 반복재생하여 보면 TGL와가 주기적으로 발생하고 있으며, 이 때마다 유동장의 형태가 반복적으로 바뀌고 있음을 알 수 있었다. 즉, 회전 운동 에너지의 분배구조에 주기성이 있음을 나타내고 있다. 이 경우에 TGL와가 특히 강하게 나타나는 유동장만을 선택하여 시간평균의 속도분포를 보인 것이 사각형의 기호로 연결된 속도분포이며, 마름모꼴의 경우는 TGL와가 발생하지 않은 경우의 결과이다. 점은 이 두가지가 혼합된 경우이다.

그림에서 보면 캐비티 하부에서 두드러진 특색이 나타나고 있으며 TGL와가 발생 할 때에는 속도 분포의 최대값이 작아지며 대신 u 방향의 운동 에너지가 보다 상부까지 전달되어 전반적으로 강제 와에 근접한 경향을 보인다. 한편, TGL와가 발생하지 않는 경우에는 하부벽면에서의 경계층의 속도구배가 커지나 상부의 속도분포는 미약해짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 TGL와의 주기



Dia=0.12 ~ 0.18mm of Nylon 12, Re=5000, SAR=1:1

Fig. 9 Effect of Upward Tilt by TGL Vortex (Re = 5 × 10³)

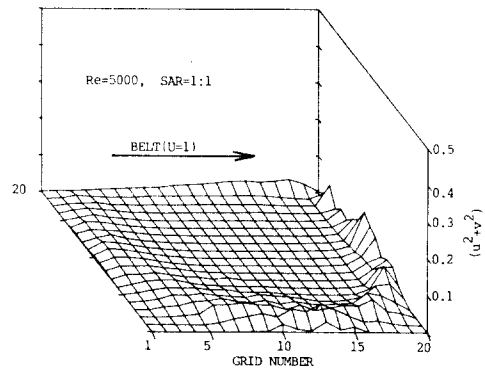


Fig.10 Distribution of Apparent Kinetic Energy (Re = 5 × 10³)

적인 출현에 의해 스펀방향으로 운동에너지를 분배하는 영역은 주로 하부벽면근처로 국한됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 같은 경우에 있어서 2차원의 무차원 운동에너지의 분포도이다. 우측에서 하부로 회전 하면서 불규칙한 분포를 보이고 있으며, 하부벽면 근처에서도 변동이 심함을 알 수 있다. 한가지 특기할 만한 것은 우측벽면근처에서의 변동이다. 즉, 상부의 회전벨트에 의해 공급되는 운동에너지가 회전방향으로 불규칙하게 나타나고 있다. 지금까지

지의 연구결과는 TGL와의 영향은 하부벽면근처에 국한하며, 우측벽면에서는 2차원성이 강한 회전흐름이 지배적인 것으로 보고되어 있으나, 이 결과에서는 새로운 특성을 보여주고 있다. 이 점은 앞으로 보다 면밀하게 검토되어야 할 내용으로서 TGL와의 또 다른 영향으로 보여진다.

3. 2. 평면Poiseuille흐름의 경우

종래에는 캐비티유동장에 전단응력을 연속적으로 공급하기 위하여 상면에 무한벨트를 설치하는 수법이 이용되어 왔으나, 이 연구에서는 2차원 평면Poiseuille구동류에 의한 방법을 동시에 택하였다. 대상유동장은 스펠방향의 중앙단면($z=0.5$)에 국한하였다. 캐비티의 높이를 대표길이, 캐비티 입구에서의 평균유입속도를 대표속도로 하여 길보기 레이놀즈수를 계산하였으며 채택된 레이놀즈수는 7.5×10^3 , 10^4 및 1.25×10^4 의 세 경우이다. 시간평균의 유동특성을 알아보기 위하여 일정한 시간간격으로 샘플링된 순시속도벡터를 한 단면당 2,000개 전후가 될 때까지 중첩하였다.

Fig. 11은 $Re=7.5 \times 10^3$ 의 결과이다. 등간격의 격자(34×34)상에 보간된 속도벡터를 보면 유동장 전체에 걸쳐 일그러진 형태의 강제류가 존재하며 우측하단구석에는 작은규모의 2차류가 발생하고 있다. 이는 지금까지의 캐비티유동연구에서와 마찬가지로 벽면존재로 인한 점성담뿔효과에 의해 압력과 원심력의 균형이 무너짐으로서 상류측의 강한 전단속도가 약화되어 압력고개(pressure hill)를 넘어서지 못하는 결과때문으로 추정된다.

중앙단면($x=0.5, y=0.5$)에서의 실선중 수평선은 u 속도분포를, 수직선은 v 속도분포의 기준선을 보이고 있으며, 또 다른 선은 주류에 의해 형성된 주와(primary vortex)의 중심을 원점으로 한 u 및 v 의 속도분포를 보이고 있다. 특히, 와의 중심을 기준으로 한 속도분포는 유동장의 운동에너지가 회전에 의해 변화하는 특성을 잘 보여주고 있다. 주와의 중심위치는 좌측하단을 원점으로 하는 무차원좌표로서 $x=0.564, y=0.529$ 의 값을 보이고 있다. 즉, 유동장은 우측 상방향으로 약간 치우쳐서 회전하고 있으며, 이는 캐비티 상면에서 공급되는 주류회전방향의 전단응력이 충분하지 못하

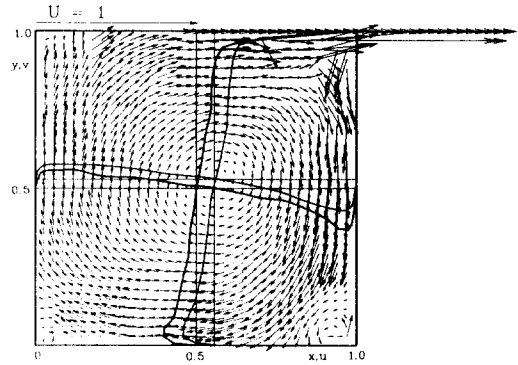


Fig.11 Velocity Distribution($Re=7.5 \times 10^3$)

여 우측의 벽면 경계층에서 스펠방향으로의 운동에너지분배가 상대적으로 크다는 것을 나타내 주고 있다. 그 결과, 하부 및 좌측 그리고 상부측에서의 속도분포도 평탄한 모양을 나타내고 있다.

한가지 특징적인 것은 상부의 속도분포가 굴곡이 심한 모습을 보이는 점이다. 단, 그림에서는 곡선근사에 의해 부드러운 분포를 보이고 있다. 이것은 상부에서 공급되는 2차원의 평면 Poiseuille 흐름과 보다 저속으로 회전하는 주와와의 접촉에 의해서 발생된 전단혼합층(sheared mixing layer)의 영향으로 보여지나 구체적인 고찰은 다음의 과제로 남기기로 한다.

한편, 캐비티상부 출구측에서의 속도분포가 부적절하게 표현되고 있으나, 이는 계측시의 유효입자수의 부족에 따른 보간오차가 그 원인으로 생각된다. 차후에 이에 관하여 보다 면밀한 검토를 필요로 한다.

Fig. 12는 $Re=10^4$ 의 결과이다. 앞의 경우보다 레이놀즈수가 2,500이 높은 경우이며 캐비티의 평균유입속도는 4.7cm/sec에서 6.27cm/sec로 증가하였다. 주와의 중심위치는 가상중심점($x=0.5, y=0.5$)에 접근하고 있으며 중앙단면에서의 속도분포를 보면 전반적으로 $Re=7.5 \times 10^3$ 의 경우와 비교해서 보다 큰 속도분포를 보이고 있다. 이것은 상부에서 공급되는 전단응력이 충분하여 강제와의 형성을 보다 용이하게 함을 보이고 있다.

Fig. 13은 $Re=1.25 \times 10^4$ 의 결과이다. 제1와의 중심위치는 가상중심점에 거의 근접하고 있으며

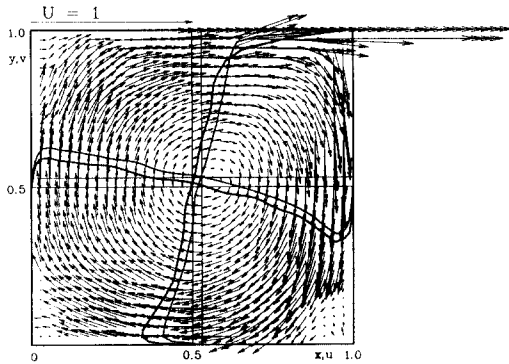


Fig.12 Velocity Distribution($Re = 10^4$)

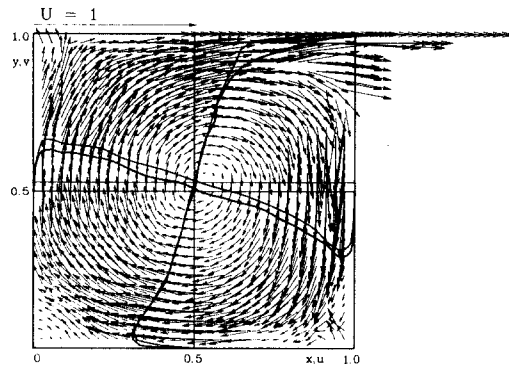


Fig.13 Velocity Distribution($Re = 1.25 \times 10^4$)

우측하단에서는 제2와가 거의 발생하지 않고 있다. 또한, 중앙단면에서의 속도분포도 대부분 강제와의 형태를 유지하고 있다. 즉 스펀방향으로의 운동에너지의 분배가 상대적으로 미약하며, 상부에서 공급된 전단응력은 순수하게 회전 운동에너지로 바뀌고 있음을 나타내고 있다. 그러나 상부에서는 여전히 전단혼합층의 영향이 남아 있으며 이는 본 연구에서 채택한 2차원 평면 Poiseuille류 구동의 한 특징으로 볼 수 있다.

Fig. 14는 중앙단면의 속도분포를 세 레이놀즈수에 대하여 함께 표시한 결과이다. 레이놀즈수가 높을수록 무차원속도가 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 강제와에서의 거시적인 와도 또는 각속도가 크게 나타나며 이는 구동류의 운동에너지의 크기에 거의 비례함을 알 수 있다.

Fig. 15는 주와의 중심위치를 기준으로 한 경우의 속도분포를 함께 보인 것이다. v속도분포의 경

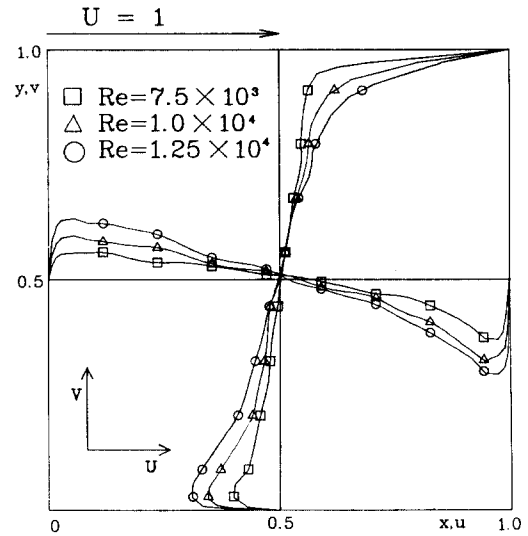


Fig.14 Comparison of Velocity Profiles

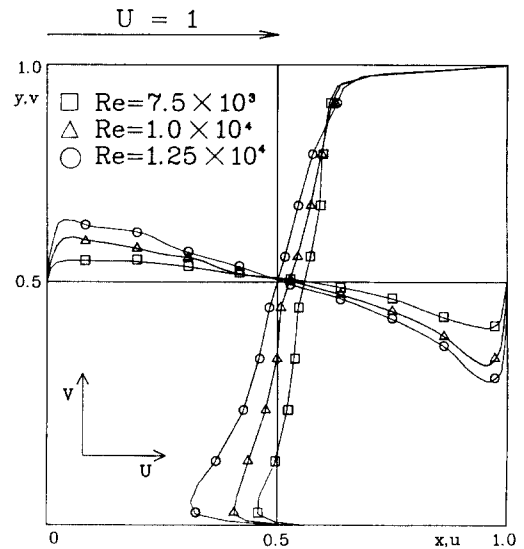


Fig. 15 Comparison of Velocity Profiles at Vortex Center

우에는 캐비티의 기하학적 중심단면($y=0.5$)을 중심으로 거의 대칭적인 분포특성을 보이고 있다. 반면, u속도분포의 경우에는 하부로 갈수록 속도차가 크게 나타나며, 레이놀즈수가 클수록 $x=0.5$ 의 단면을 기준으로 한 대칭적인 특징이 크게 나타난다.

이상의 결과는 z단면만을 대상으로 한 것이며, Poiseuille류 구동에 의한 경우에는 TGL와의 특징

인 스캔방향으로의 운동에너지 분배구조가 레이놀즈수가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 지금까지의 벨트구동흐름의 경우와는 다른 결과로 보여지나, 레이놀즈수의 계산에 있어서 단면평균속도를 이용한 점, 또는 벨트구동의 경우에는 보이지 않았던 전단혼합영역(**sheared mixing region**)이 새롭게 나타난 점 등으로 인하여 동일한 레이놀즈수에서의 비교검토를 어렵게 하고 있다. 그러나 레이놀즈수의 증감에 따른 TGL와의 영향이 서로 다른 경향을 보임으로서, 이와 같은 결과는 밀폐흐름에 있어서 층류구동류에 의해 발생하는 내부흐름의 한 특징으로 구분될 수 있으며, 차후에 보다 더 큰 레이놀즈수에 대하여, 또는 작은 레이놀즈수에 대한 일관성 있는 실험을 행하여, 검토를 행할 필요성이 있다. 이와 같은 결과는 밀폐내부류에 있어서의 흐름의 안정성 문제의 해결에 중요한 단서를 제공할 것으로 기대된다.

4. 맺음말

3차원 캐비내의 유동장을 지배하는 TGL와의 거동특성을 고찰하기 위하여, 종래의 벨트구동흐름 및 2차원평면Poiseuille흐름에 의한 회전 운동에너지를 공급하는 수법을 택하였다. 실험수법으로는 유동장의 화상처리에 의한 속도계측수법인 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하였으며, 특히, 동일입자의 추적수법으로서 종래의 4프레임수법을 개선한 2프레임에 의한 방법을 새롭게 개발, 적용하였다.

벨트구동의 경우에는 레이놀즈수 5×10^4 에 대하여, TGL와의 영향이 주기적으로 나타나며, 이로 인한 운동에너지의 스캔방향으로의 분배작용이 강하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나, 2차원 Poiseuille흐름의 경우에는 레이놀즈수가 증가할수록 강제와의 형태를 유지하며, 상부에서는 전단혼합영역이 존재함을 관찰할 수 있었다. 따라서, 전단유력공급방법에 따른 내부유동양식은 크게 다르며, 이는 주로 TGL와의 영향때문으로 추정된다.

5. 후 기

이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었으므로 관계자 여러분께 사의를 표합니다.

참고문헌

- 1) H.J.Lugt, *Vortex Flow in Nature and Technology*, John Wiley & Sons, 1983.
- 2) H.S.Rhee, J.R.Koseff, R.L.Street, *Flow Visualization of a Recirculating Flow by Rheoscopic Liquid and Liquid Crystal Techniques*, *Experiments in Fluids*, Vol. 2, 1984, p. 57.
- 3) J.R.Koseff, R.L.Street, *Visualization Studies of a Shear Driven Three Dimensional Recirculating Flow*, *Trans. ASME, J. of Fluids Eng.* Vol. 106, p. 21.
- 4) J.R.Koseff, R.L.Street, *The Lid Driven Cavity Flow : A Synthesis of Qualitative and Quantitative Observations*, *Trans. ASME, J. of Fluids Eng.* Vol. 106, 1984, p. 390.
- 5) A.K. Prasad, C.Y. Perng, J.R. Koseff, *Some Observations on the Influence of Longitudinal Vortices in a Lid Driven Cavity Flow*, *AIAA CP 3654*, 1988, p.2 88.
- 6) A.K.Prasad, J.R.Koseff, *Reynolds Number and End wall Effects on a Lid Driven Cavity Flow*, *Phy. Fluids A* 1(2), Feb. 1989, p. 208.
- 7) Young Ho LEE, Y.Matsumoto, T. Kobayashi, T. Saga, *Velocity Measurements in a Cavity Flows by PIV*, *Proc. 2nd KSME JSME Fluids Eng. Conf.* Vol. 1, 1990, p. 293.
- 8) T.Kobayashi, T.Saga, Y.H.LEE, H.Kanamori, *Flow Visualization and Analysis of 3-D Square Cavity and Mechanically Agitated Vessels by PIV*, *Proc. FLUCOME*, Vol. 1 1991, p. 401.
- 9) C.K.Aidun, N.G. Triantafillopoulos, J.D. Benson, *Global Stability of a Lid Driven Cavity with Throughflow : Flow Visualization Studies*, *Phy. Fluids A* 3(9), Sep. 1991, p. 2081.

- 10) 최장운, 조대환, 이영호, PIV에 있어서의 입자추적
수법 개선, 대한기계학회, 추계학술대회논문집 제2
권, 1993, p. 360.
- 11) C.Gray, The Evolution of Particle Image
Velocimetry, Workshop : Optical Method & Data
Processing in Heat and Fluid Flow, IMechE,
1992, p. 19.
- 12) Y.Tanida, Proceedings of the 6th International
Symposium on Flow Visualization, 1992.
- 13) L.Hesselink, Digital Image Processing in Flow
Visualization, Annu. Rev. Fluid Mech. 1988, p.
421.