

받음각이 큰 평판 채널 내의 역류 유동 가시화

최승* · 손창현† · 고다**

Reverse Flow Characteristics in a channel with fixed angle of attack following variable width and stagger

Seung Choi, Chang Hyun Sohn and B.H.L Gowda

Abstract

Reverse flow occurs in a channel when there is an obstruction at the entry. However it has been shown recently that reverse flow can be realized without an obstruction, by staggering the sides of the channel and placing it at an angle of attack to the oncoming flow. In this study the latter flow is computationally investigated. And the mechanism is investigated using PIV (Particle Image Velocimetry) method. The results have captured all the essential features of this complex phenomenon and show the time dependent pumping mechanism which leads to the occurrence of reverse flow.

Key Words : Reverse flow(역류 유동), Channel with staggered sides(평판 채널 유동), Unsteady Flow(비정상 유동), CFD, PIV

1. 서론

평판 채널의 입구 부에 장애물이 존재하는 경우, Fig. 1 에서 보는 바와 같이 주 유동 방향과 반대 방향의 역류유동이 발생하게 된다. 평판과 장애물사이의 거리가 큰 경우에는 역류유동이 관찰되지 않으나, 임의의 레이놀즈 수에 대해서 채널 폭과 장애물의 거리 비인 g/W 가 특정 길이이하로 값이 줄어들면 장애물과 두 평판 사이에서는 주 유동과 반대되는 역류유동이 관찰된다. Gowda and Tulapurkara 는 처음으로 채널 내부에 역류 유동이 발생하는 것을 발견하였다[1].

Gowda 는 사각, 원, 삼각, 반원 등 장애물 형상에 따른 영향을 보고하였으며[2], Tulapurkara 는 장애물을 채널의 앞부분과 뒷부분 모두 설치한 경우를 실험하였다[3]. Gowda 는 채널의 앞부분에만 설치한 경우와 채널의 앞부분과 뒷부분 모두

설치한 경우를 비교하였으며[4], Gowda 에 의해 역류유동의 메카니즘이 보고 되었다[5]. 그리고 Kabir 에 의해 레이놀즈 수 9000 까지 역류 유동이 가시화 하였으며[6, 7], Gowda and Tulapurkar 의 결과와 유사 하였다. Kabir 는 g/W 가 1.5 일때 역류 유동이 가장 강하게 나타난다는 Gowda and Tulapurkara 의 결과를 확인하였다. 독립적으로 Bhuian 은 비뉴톤 유체에서도 역류 유동을 관찰하였으며[8], Senthil Kumar 은 입구에 장애물이 있는 경우 수치 해석을 통하여 역방향으로 유체가 펌핑되는 방식을 자세하게 보여주었다[9].

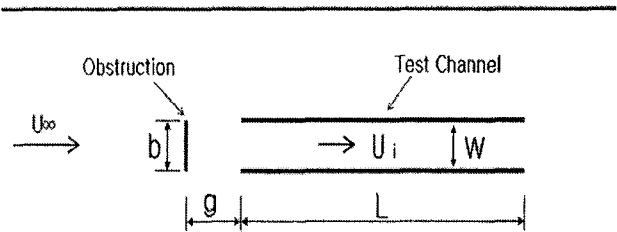


Fig. 1 Realization of reverse flow

* 경북대학교 기계공학부 대학원

† 경북대학교 기계공학부

E-mail : chsohn@knu.ac.kr

** 경북대학 기계공학부

Table 1 Detail of test section

	L_1 (mm)	L_2 (mm)	W (mm)
case1	200	200	10
case2	200	200	15
case3	200	200	30
case4	150	200	15
case5	200	150	15

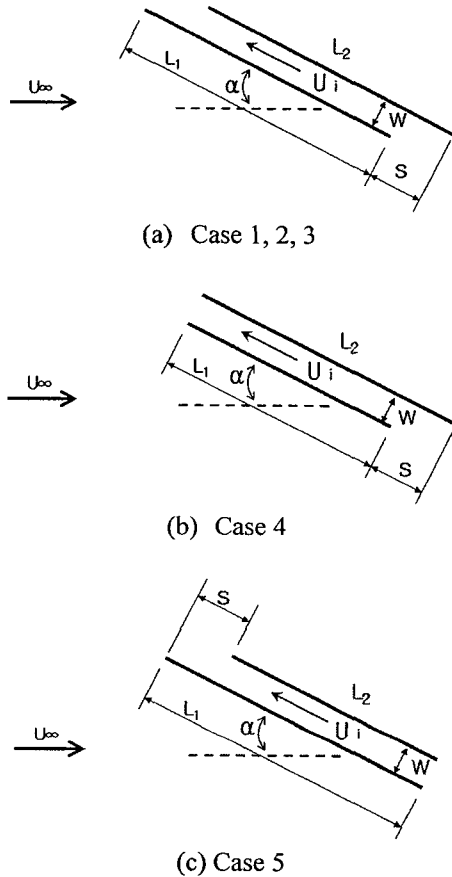


Fig. 2 Configurations considered

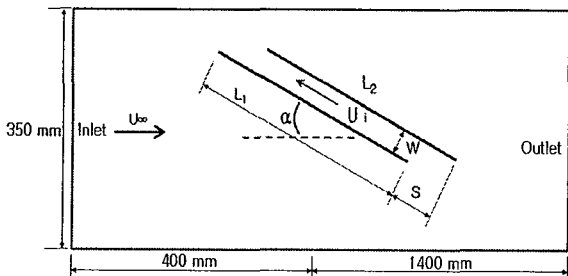


Fig. 3 Computational diagram for CFD analysis

최근 Tulapurkara 는 입구에 장애물이 없더라도 역류 유동이 발생하는 것을 보여주었다[10, 11]. 이는 채널의 벽을 엇갈리게 배열하고, 유입되는 방향을 기준으로 일정 받음각을 줌으로써 역류 유동을 발생 시킬 수 있음을 보여주었다. 그리고 역류

유동을 증가 시킬 수 있는 각도를 발견하였다. 그리고 엇갈리게 배열한 부분에서 앞부분의 영향과 뒷부분의 영향 또한 조사하였다. 본 연구에서 장애물이 없는 경우, 받음각이 큰 평판 채널에서의 역류 유동을 PIV 실험 및 CFD 해석을 수행하여 다양한 특징들을 확인하였으며, 그 결과들을 이전의 연구자들에 의한 실험 결과들과 비교 하였다.

2. 수치해석 및 PIV 실험 장치

Figure 2 와 Table 1 는 본 연구에서 PIV 실험 및 CFD 해석을 수행한 경우의 형상과 치수이다. 모든 경우에서 양 채널 벽면의 엇갈림(S) 정도는 50 mm 로 하였으며, 이는 이전의 실험 연구자의 동일한 실험 형상을 기본으로 하였다. Fig. 3 은 CFD 해석을 수행하기 위한 기본 형상을 나타낸 그림이다.

Figure 4 는 CFD 해석에 사용된 Case (4)의 그리드이다. 비정렬 구조를 사용하였으며, Cell 수는 95510~102264 개 이다. 비정상 Navier-Stokes 방정식은 유한 체적 기법을 사용하는 상용프로그램인 CFD-ACE(2004)를 사용하였다[12]. 경계조건은 입구에서는 0.1 m/s 의 균일한 분포의 속도 조건을 주었으며, 출구에서는 대기 조건의 고정 압력 조건을 적용하였다. 그리고 벽면에서는 no-slip 조건을 사용하였다. 계산은 모든 변수들의 오차가 10^{-6} 까지 감소 할 때까지 수행하였다. 그리고 격자의 변화에 따른 독립성을 확인 하였다.

Figure 5 는 본 연구에서 사용된 PIV 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 200mW 의 출력을 가진 아르곤 이온 레이저에서 나온 연속 광원은 AOM(acusto optic modulator) 에 의해 펄스광원으로 제어되고, 이 제어 된 펄스 광원은 실린더 형의 렌즈를 통해서 평면 광원으로 된다. 평면 광원은 실험 측정 부위에 조사하게 되고, 이때의 영상을 CCD 카메라를 통해서 이미지의 형태로 PC 에 저장하게 된다. PC 에 저장된 이미지는 PIV 프로그램을 통해서 속도 벡터를 추출하게 된다.

3. 수치해석 및 PIV 결과

유입되는 속도가 모든 경우 0.1m/s 이며, 간격에 따라 레이놀즈수는 1000~3000 의 값을 가진다. 채널 벽면 사이의 간격이 각각 10, 15, 30 mm 이고, 각도는 30 도(Fig. 2 의 Case (1), Case (2), Case (3))에 해당하는 CFD 해석 결과를 Fig. 6 와 Fig. 7 에서 보여주고 있다. Fig. 6 은 속도 벡터이며, Fig. 7 은

압력 분포이다. Fig. 6 에서 모든 경우 역류 유동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 간격이 10mm 인 경우 가 30mm 인 경우보다 역류 유동이 강하게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그러한 경향은 Tulapurkara 의 실험 결과에서도 확인할 수 있다. Fig. 9 는 센터에서 시간에 따른 속도 값을 나타낸 것 이다. 간격이 15mm 인 경우 평균 속도가 0.022 m/s 인 것을 확인할 수 있으며, 이는 실험결과 0.02 m/s 와 잘 일치하였다. 그리고 간격이 15mm 의 CFD 해석결과(Fig.5b)와 실험의 유동패턴(Fig.8a) 비교하여 확인할 수 있으며, 해석 결과에서는 채널의 앞부분과 뒷부분에 생기는 복잡한 유동을 상세하게 확인할 수 있다. 그리고 시간의 변화에 따른 유동패턴을 애니메이션을 통하여 확인할 수 있으며, Fig. 11a, b 는 간격이 15mm 인 경우 Fig.6 b 에서 각각 1 초 후의 속도 벡터이다. Fig. 7 의 압력분포는 Fig. 6 의 속도 벡터에서의 재순환 영역과 잘 일치하고 있다.

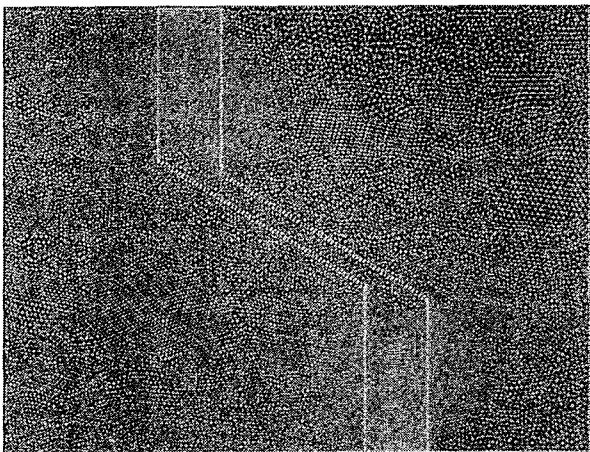


Fig. 4 Typical unstructured grid used

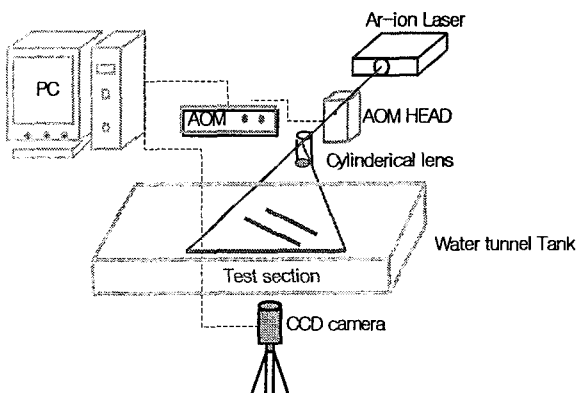
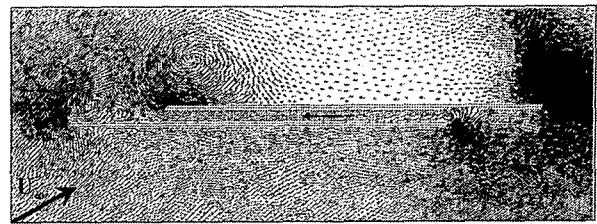
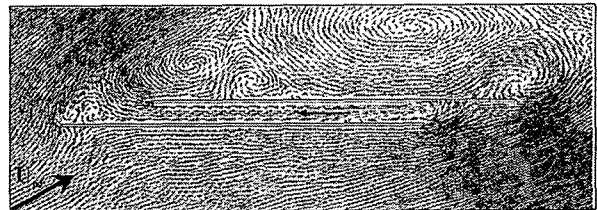


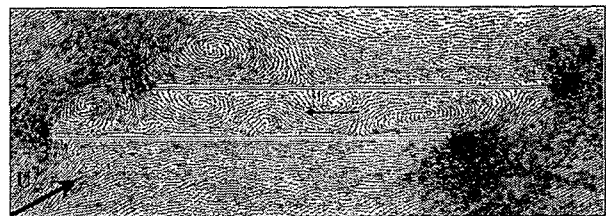
Fig. 5 Schematic arrangement of PIV system



(a) Case 1

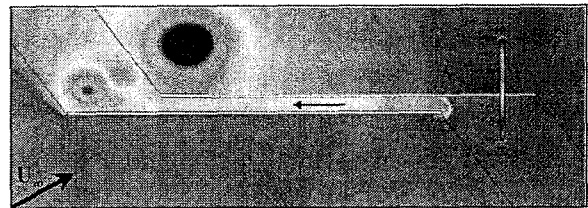


(b) Case 2

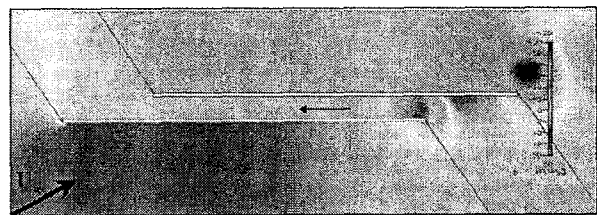


(c) Case 3

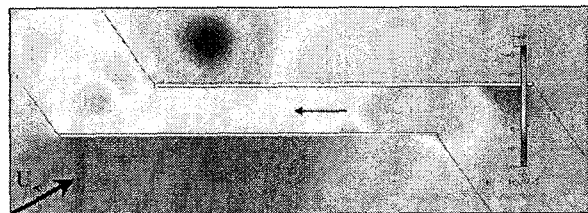
Fig. 6 Stagger at both center ; velocity vectors



(a) Case 1

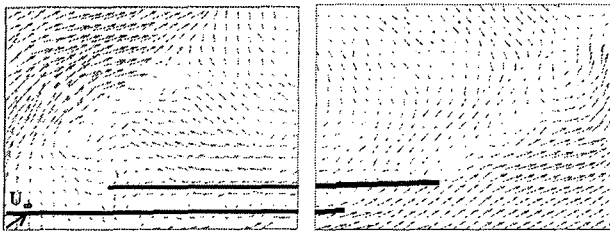


(b) Case 2

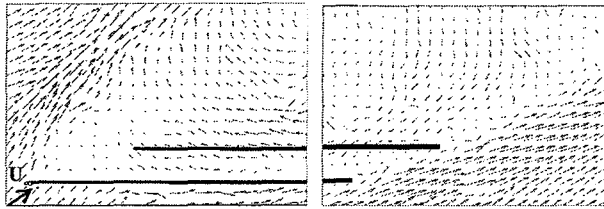


(c) Case 3

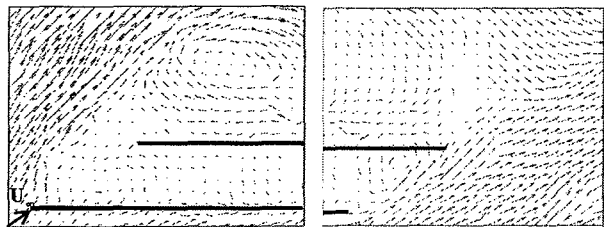
Fig. 7 Stagger at both center; pressure contours.



(a) Case 1



(b) Case 2



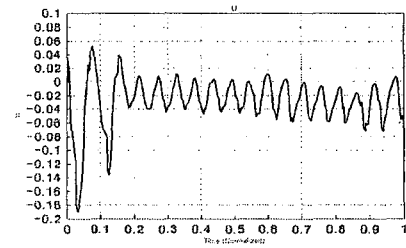
(c) Case 3

Fig. 8 Velocity vector by PIV

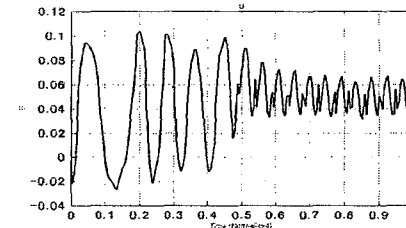
Figure 8 은 PIV 실험을 통하여 획득한 유입부, 유출부의 속도분포속도 벡터이다. 평판 주위의 유동에 대해 반대 방향으로 흘러 들어가는 것을 볼 수 있다. PIV 실험 결과에서도 역시 간격이 10mm 인 경우가 30mm 인 경우보다 역류 유동이 강하게 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 10 은 Tulapurkara 의 실험 결과로 입자의 궤적을 순간 촬영한 사진이다. Fig. 10a 의 결과는 Fig. 6 (b)의 Case (2)와 같은 조건의 사진이다. Figure 11 은 Case (5)의 속도 벡터이며, Fig. 10 의 실험결과와 같이 30° 회전하여 본 벡터이다. 채널 내부의 유동과 외부의 후류 유동이 이전 연구자의 실험 결과 (Fig. 10 c)와 유사한 유동패턴을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 이 결과는 Fig. 14 b 의 PIV 결과와 함께 비교될 수 있으며, PIV 결과에서 윗면 평판에서 강한 볼텍스 생성을 관찰할 수 있다.

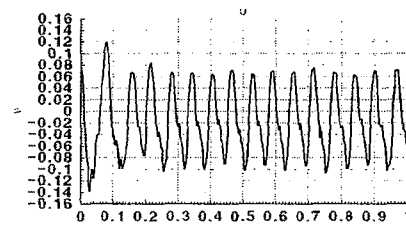
Figure 13 은 Cases (4)와 Cases (5)의 속도 벡터이다. Cases (4) (Fig. 13a) 에서는 이전 연구자의 실험 결과(Fig. 10b)와 같이 역류 유동이 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 Cases (5) (Fig. 13b)에서는 이전 연구자의 실험 결과(Fig. 10c)와 같이 역류 유동이 발생하는 것을 볼 수 있다.



(a) Case 2

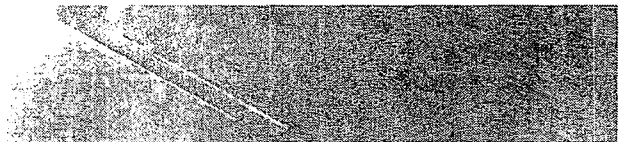


(b) Case 4



(c) Case 5

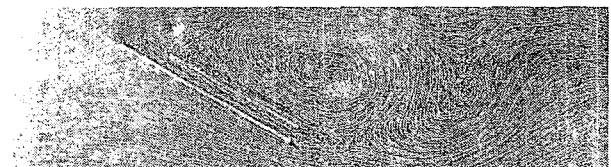
Fig. 9 Magnitude of velocity center of channel



(a) Case 2 ($\alpha = 30^\circ$)



(b) Case 4 ($\alpha = 20^\circ$)

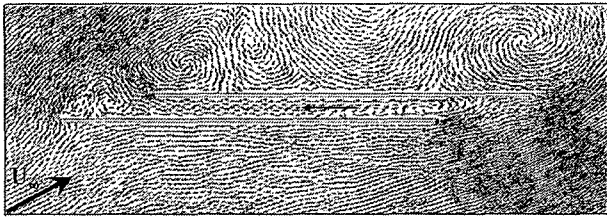


(c) Case 5 ($\alpha = 30^\circ$)

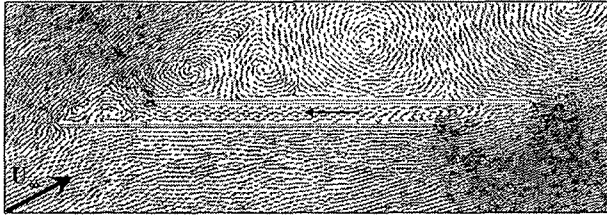
Fig. 10 Experimental results [10, 11]



Fig.11 velocity vectors ; Case 5

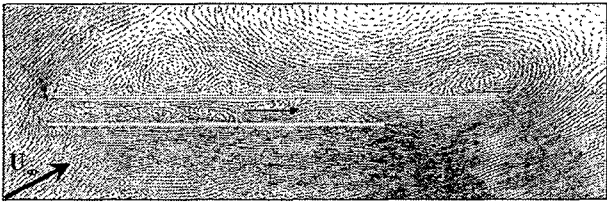


(a) $t_1 = t + 1$

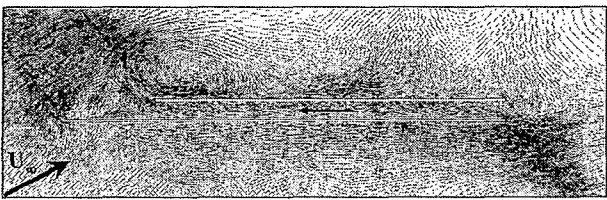


(b) $t_2 = t_1 + 1$

Fig. 12 Unsteady nature of flow : Case 2

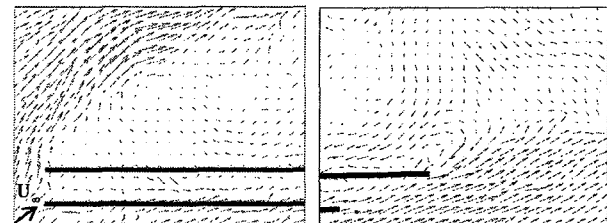


(a) Case 4

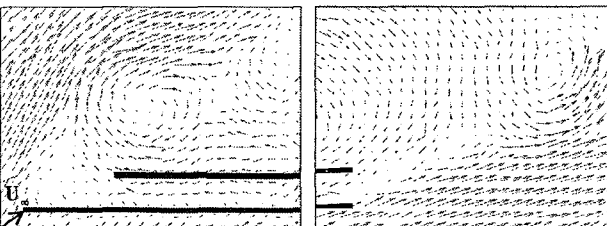


(b) Case 5

Fig. 13 Staggered sides ; Case 4 and Case 5



(a) Case 4



(b) Case 5

Fig. 14 Velocity profile by PIV ; Case 4 and Case 5

그리고 Cases (4)는 Fig. 9b 에서 보는 바와 같이 평균 속도가 실험의 경우와 유사하게 양의 값을 가지며, Cases (5)는 평균속도가 -0.015 값을 가지며 이는 이전 연구자의 실험값과 유사하다.

Figure 12 는 시간의 변화에 따른 벡터들 이며, 유동이 안정화 된 시간에서의 유동의 패턴을 확인하였다. 애니메이션을 통하여 채널 내부와 주위에서 생기는 와류의 패턴과 역방향으로의 펌핑 메카니즘 확인 할 수 있다.

Figure 14 는 Cases (4)와 Cases (5)의 PIV 실험 결과이다. PIV 실험결과에서도 CFD 해석 결과와 유사하게 Cases (4) (Fig. 14a) 에서는 역류 유동이 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있으며, Cases (5) (Fig. 14b)에서는 역류 유동이 발생 하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 벽면을 엇갈리게 배열한 채널 내부에서 발생하는 역류유동의 복잡한 유동을 PIV 실험 및 CFD 해석을 수행하였다, 비정상 유동의 특징들을 명확히 확인 할 수 있었으며, 그 결과들은 이전의 연구자들에 의해 실험적인 결과와 잘 일치 하였다. 그리고 애니메이션(논문 발표 자료에 첨부됨)은 채널 뒷면 끝 단에서 역류 유동에 의해 생기는 펌핑 현상을 보여 주고 있으며, 시간에 종속된 특성을 확인 할 수 있다.

참고문헌

- 1) Gowda, B.H.L., Tulapurkara, E.G. , 1989, "Reverse Flow in a Channel with an Obstruction at the Entry", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 204, pp. 229-244.
- 2) Gowda, B.H.L., Tulapurkara, E.G., Swain, S. K., 1993, "Reverse Flow in a Channel-Influence of Obstruction Geometry", *Experiments in Fluids*", vol.16, pp. 137-145.
- 3) Tulapurkara, E.G., Gowda, B.H.L. , 1994, Swain, S. K., 1994, "Reverse Flow in a Channel-Effect of Front and Rear Obstructions", *Phys. Fluids*, vol. 6, pp. 3847-3853.
- 4) Gowda, B.H.L., Tulapurkara, E.G., Swain, S. K., 1997, "Influence of Splitter Plate on the Reverse Flow in a Channel", *Fluid Dynamics Research*, vol.21, pp. 319-330.
- 5) Gowda, B.H.L., Tulapurkara, E.G., Swain, S. K., 1998, "On the Mechanism of Reverse Flow in a Channel with an Obstruction at the Entry", *Fluid Dynamics Research*", vol.23, pp. 177-187.
- 6) Kabir, M.A., Kabir, M.M.K., Bhuiyan, M.A., 2003, "A study of the flow phenomenon of water in a channel with flat plate obstruction geometry at the entry",

- KSME Int. J, vol.17, pp.879-887.
- 7) Kabir, M.A., Kabir, M.M.K., Bhuiyan, M.A., 2004, "Flow phenomenon in a channel with different shaped obstructions at the entrance", Fluid Dynamic Research, vol.35, pp.395-408.
 - 8) Kabir, M.A., Kabir, M.M.K., 2000, "Reverse flow of a non Newtonian fluid in a channel, Rheology Congress", Cambridge UK, vol.3, pp.417-418
 - 9) K.Senthil Kumar, E.G.Tulapurkara, G.Biswas and B.H.L.Gowda, 2005, "Reverse flow in a channel with obstruction at entry, Fluid Dynamic Research", vol.37, pp.387-398.
 - 10) Tulapurkara, E.G., Gowda, B.H.L., Nijith N., 2004, "Manath, Experimental Study of Reverse Flow in a Channel without Obstruction at the Entry, Proceedings", 31st National Conference on FMFP, December 16-18, pp. 1-8.
 - 11) Tulapurkara, E.G., Gowda, B.H.L., Manath, Nijith N., Sohn, C.H., "Experimental Study of Reverse Flow in a Channel without Obstruction at the Entry", J. of Flow Visualization and Image Processing (Accepted for publication).
 - 12) Huntsville, Alabama, 2004, "Modules Manual", ESI US R&D Inc, CFD-ACE(+) V2004.