

## PIV기법을 이용한 편향흐름 발생영역 규명

나 정 현\* · 권 순 홍\*\*

(98년 9월 26일 접수)

### A Study on Biased Flow Region Using PIV Technique

Jeong-Heon Na\* · Sun-Hong Kwon\*\*

**Key Words** : Circulating Water Channel(회류수조), Biased Flow(편향 흐름), Image Processing(영상처리), PIV(입자 영상 속도계), Sheet Beam(평면광)

#### Abstract

This research is an experimental investigation of the region of the Biased Flow. This experiment was carried out in a circulating water channel, and the results are analyzed by using the PIV technique. The results are presented in velocity vector field, velocity contour and vorticity contour. The results were compared with those of Zdravkovich which were carried out in a wind tunnel. These results will be very useful to verify numerical codes.

#### 1. 서 론

인접한 두 원주 주위의 유동장 해석에 관한 연구가 많은 학자들에 의해 수행되어져 왔으며 기계공학, 항공 우주공학 등, 특히 해양공학 분야에서 많이 활용되어져 왔다. 대부분의 해양 구조물은 원주 형태의 다수 부재로 이루어져 있어 이들의 상호작용으로 인한 유동장의 해석은 대단히 중요한 연구 분야이다. 인접한 두 원주 주위의 상호 간섭에 대한 대표적인 논문은 Zdravkovich의 것들을 수가 있다. 이 논문에서는 두 원주가 흐름에 평

행한 경우와 수직으로 배열된 경우에 대해 원주 사이의 거리 변화에 따른 유동 현상의 특징을 풍동실험 결과에 따라 영역별로 나타내었다. 두 원주가 흐름에 수직인 경우 두 원주 사이의 거리의 변화에 따라 연성와열(Coupled vortex streets), 편향흐름(Biased flow), 단일와열(Single vortex street)<sup>2)</sup>과 같은 현상이 발생하는데 본 연구에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 두 원주 중심간의 거리와 원주의 지름의 비가 약 1.2~2.1인 경우에 발생하는 편향흐름(Biased Flow)의 발생 영역을 규명하여 보았다. 이를 위하여 본 연구에서는 실험을

\* 부산대학교 공대 조선해양공학과 대학원

\*\* 중신회원, 부산대학교 공대 조선해양공학과, 기계기술연구소

회류수조(CWC)에서 수행하였으며 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 도입하여 속도 벡터장, 속도 윤곽, 와도 윤곽을 구하였다.

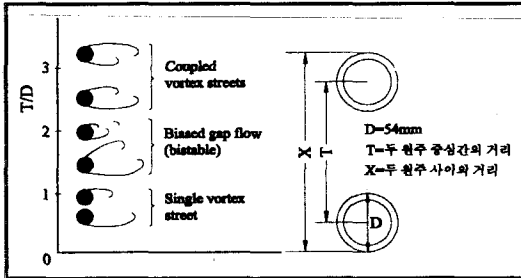


Fig. 1 Classification of flow regimes in side-by-side and schematic of cylinder

## 2. 실험장치 및 모델

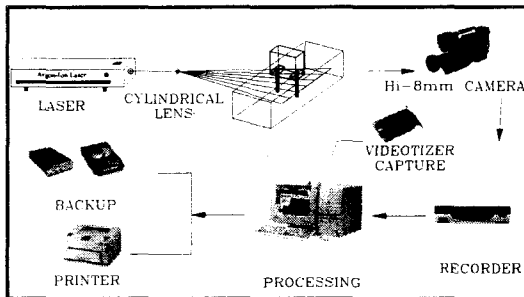


Fig. 2 PIV system

본 실험은 부산대학교에서 보유하고 있는 두 개의 임펠러(Impeller)에 의해 구동되는 수직형 재순환 회류수조(길이×폭×높이=12.5m×5.2m×2.2 m)에서 실시하였다.<sup>3)</sup> 사용된 원주는 가시화시 레이저 평면광의 반대쪽에 생기는 그림자를 줄이기 위해 유리로 가공된 직경이 54mm이고 수면 하 길이가 600mm인 2개의 원주를 사용하였으며 유속 0.5m/s 즉,  $Re=1.78 \times 10^4$  에서  $T/D=1.2 \sim 2.3$ 인 경우에 대해서 실험을 실시하였다. Fig. 2 에서의 그림과 같이 유동 가시화 장치로는 4W Ar-Ion Laser와 원통렌즈(Cylindrical lens)를 이용하여 두께 5mm정도의 레이저 시트를 생성하여 실린더

후방의 30cm×30cm 정도의 영역을 조사하였다. 산란입자로 비중이 약 1.02 인 Polyvinyl Chloride (직경 : 100~200 $\mu$ m)를 사용하였다. 본 실험은 고 해상도의 화상 획득을 위해 Hi-8 Pro를 사용하여 셔터속도가 1/60, 1/100초의 두 가지 경우에 대하여 640×480 픽셀의 화상을 획득하였다. 촬영된 영상은 Videotizer Capture를 사용하여 1/30초 동안의 순간 이미지를 PC로 받아들인 후, 2개의 영상을 이용하여 속도 분포와 와도 분포를 구하였다. 해석 영역은 Fig. 3과 같다.



Fig. 3 Visualized flow field

## 3. PIV 기법을 이용한 화상처리

본 연구에서 사용한 운용 프로그램은 TSI사의 Insight를 사용하였으며 이 프로그램은 두 개의 화상에서 속도를 추출하는 화상 입자 영상 기법을 사용하며 이러한 화상 입자 영상을 분석하는 기법은 광학적 푸리에 변환 기법과 직접 상호 상관 기법으로 구분된다. 본 연구에서 사용한 직접 상호 상관 기법은 미소조사구간 내의 계조치 분포를 이용, 최대 상호 상관 계수를 탐색하여 속도를 추출하는 것이다. Fig. 4에 이러한 상관관계에 의해 속도가 분석되는 개념도가 나타나 있다. 우선 실험을 수행하는데 있어서 첫 번째 고려 사항은 미소 조사 구간의 크기이다. 미소 조사 구간은 하나의 벡터가 적절하게 유동을 표현할 수 있을 정도로 충분히 작아야 한다. 그러므로 미소조사구간의 크기는 나타내고자 하는 난류 특성을 나타낼 수 있

는 정도가 바람직하다. 신뢰성 있는 속도 벡터를 얻기 위해선 최소한 10쌍 이상의 입자가 미소 조사 구간 내에 있어야 한다. 그리고 미소 조사 구간 내의 최대 입자 변위는 미소 조사 구간의 25%보다 작아야 한다. 왜냐하면 각 미소 조사 구간에서 입자 쌍의 체결율을 높이기 위해서이다. 미소 조사 구간에서의 최소 입자 변위는 입자 직경의 1.5 배 보다 커야 한다. 만약 입자가 직경보다 작게 이동하는 경우는 하나의 입자로 취급한다. 그러므로 입자 영상 변위는 적어도 입자 직경의 두 배 이상이 되어야 한다. 그리고 EDITVEC 프로그램을 사용하여 쌍을 이루지 못한 입자로부터 계산된 속도 벡터와 오류 벡터를 제거한 후 TECPLOT을 이용하여 속도장과 와도 및 속도윤곽으로 나타내었다. Fig. 5는 본 연구에서 사용하는 PIV 시스템의 계통도를 나타낸다. 유동장을 카메라로 잡고 videotizer capture board를 이용하여 원하는 화상을 획득한 후 벡터의 수를 정하기 위해 grid의 값을 준 후 이를 영상처리 소프트웨어 상에서 밝기와 선명도를 조절하여 계조치 값을 적절히 추정한다.<sup>4)~7)</sup> 이렇게 구해진 두 개의 1/30초 간격의 이진화상은 상호상관 방식으로 격자점의 속도를 구하는데 사용된다. 속도벡터를 찾는데 중요한 인자는 조사영역(Interrogation region)이며 이것은 최소한 하나의 입자를 포함하는 크기이다. 상호상관값의 계조치 값을 적절히 입력하면 다수의 속도벡터가 구해지는데 이들 벡터 중에는 오류벡터도 많이 포함되게 된다. 이러한 오류 벡터는 비디오 녹화된 영상을 함께 관찰하며 삭제시키거나 수정하고 이러한 과정을 거치고 최종 보간 과정을 거쳐 속도 벡터, 속도 분포와 와도 분포로 표현하였다.

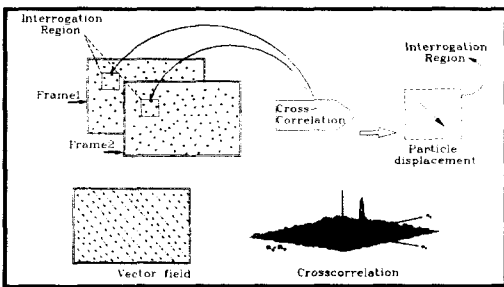


Fig. 4 Crosscorrelation processing

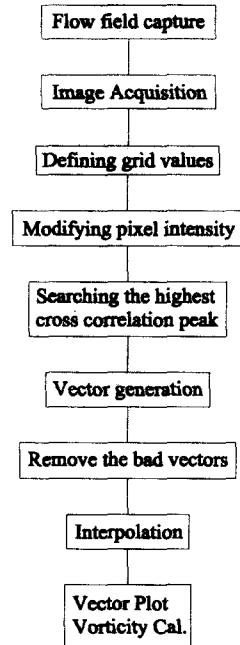


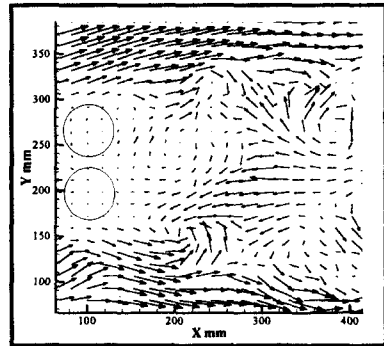
Fig. 5 Flow chart of the PIV

#### 4. 결과 해석 및 고찰

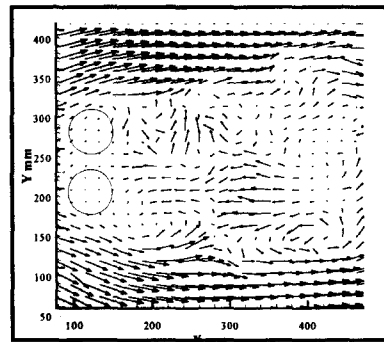
본 논문에서는 T/D가 변화함에 따른 두 원주의 간섭 현상을 관찰하기 위해 T/D가 1.2~2.1사이에서 실험을 수행하였다. 여기서 T와 D는 유동장의 특성을 결정하는 중요한 인자가 되는데 T는 두 원주 중심간의 거리를 나타내며 D는 각 원주의 지름을 나타낸다. T/D가 변화함에 따른 PIV 해석 결과 중 하나인 속도 벡터장을 나타낸 Fig. 6은 편향흐름(Biased flow)이 생성되고 소멸되기까지의 벡터장을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 상부 원주 뒤에서 적은 와류 영역이 보이고 하부에 위치한 원주 뒤에서는 큰 와류 영역이 나타난다. 이를 편향흐름(Biased flow)라고 부른다. 우선 T/D가 1.2인 Fig. (6-a)의 그림을 보면 두 원주를 통과한 흐름이 원주와 근접한 바로 뒷부분에서 편향흐름이 보이며 T/D가 1.3인 Fig. (6-b)에서 보여 주듯이 두 원주 사이의 거리가 멀어짐에 따라 와류 발생 영역들이 좀더 뒤로 밀려 발생하는

것이 보이며 편향흐름에 의해 균일류 부분이 교란되어지는 것이 뚜렷하게 보인다. T/D가 1.4에서 1.8사이의 유동장은 Fig. (6-b)와 비교 해볼 때 뚜렷한 큰 변화는 없었다. 그러나 T/D가 1.9인 그림 (6-c)에서 보면 두 원주 사이를 통과한 속도 벡터의 크기가 커짐을 확인 할 수가 있었다. 또한 반류 영역이 좀더 확대되며 더욱 강한 편향흐름(Biased flow)이 발생됨을 볼 수 있다. T/D가 2.0인 (6-d)의 그림은 두 원주 사이를 통과한 후의 흐름이 좀더 뒤로 밀린 후에 상하 반류 영역이 비슷하게 형성되어 지는 것을 볼 수가 있다. 본 논문에서는 편향흐름(Biased gap flow)이 T/D가 2.06인 영역까지 발생된다고 보며 (6-e)의 그림에서와 같이 상하 반류 영역이 비슷해짐을 확인 할 수가 있었다. (6-f)의 그림은 편향 흐름의 영향이 소멸되어 연성와열(Coupled vortex streets)의 전형적인 형태를 보이고 있다. 더 확실한 해석 결과는 Fig. 7, Fig. 8을 통해 확인 할 수 있는데 Fig. 7은 두 원주 뒤의 유동장을 속도윤곽(velocity contour)으로 나타낸 것이며 이 해석 결과를 통하여 원주 뒤 교란되는 영역을 판단 할 수 있었으며 균일류의 속도가 약 0.51m/s 정도가 되어 유속 0.5m/s로 실험을 실시한 사실을 고려해 볼 때 해석의 정확성을 보여준다. (7-a), (7-b)의 그림을 통해서 상단 하류 부분의 속도가 점점 빨라지고 교란되는 영역이 점차 넓어짐을 확인 할 수 있었다. (7-c)에서 상단 원주 뒤의 속도가 빠르게 증가됨을 알 수 있다. 이 결과를 통하여 편향흐름(biased flow)이 발생한다는 것을 판단 할 수 있다. (7-d)와 (7-e)의 경우 두 원주 사이의 속도가 증가하여 두 원주 사이의 거리, 즉 T/D가 증가함에 따라 그 사이를 흐르는 흐름의 속도가 두 원주의 교란을 비교적 적게 받아 반류 영역이 넓게 분포하고 좀더 밀려나서 편향흐름이 발생하는 것을 판단 할 수가 있다. (7-f)에서는 편향흐름(biased flow)이 사라지고 연성와열(coupled vortex streets)의 전형적인 형태를 보여준다. Fig. 8은 와도분포(vorticity contour)를 나타내며 와도의 크기와 분포로 해석하기 곤란한 부분의 유동장을 명확하게 판단할 수 있다. (8-a)를

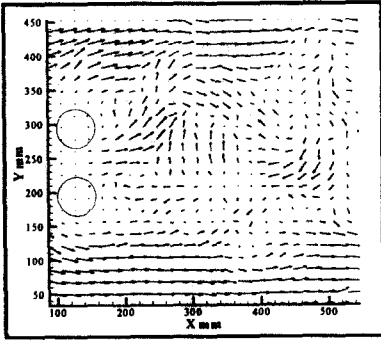
보게 되면 상단 원주 뒤에 약 3.39정도의 값을 가지는 와도가 발생하며 상하부 부분에서 큰 값을 가지는 와도가 보인다. (8-b)에서는 음의 값을 가지는와도가 좀 더 뒤에서 발생하는 것이 확인된다. (8-c)의 그림은 T/D가 1.9인 경우인데 상단 원주 뒤에 큰 와도가 보이는데 이것은 두 원주 사이의 편향흐름(biased flow)의 영향으로 보이며 하단 원주 뒤의 와도가 (8-b)의 그림과는 틀리게 강하게 나타남을 볼 수가 있다. 이 결과로 보아 편향흐름(biased flow) 현상이 뚜렷하게 보인다고 이해 할 수 있다. (8-d)는 와도의 값이 거의 비슷하게 나타나는 것을 볼 수가 있으며 (8-e)에서는 와도의 형태가 점점 길어져 나타나 보인다. (8-f)의 그림은 두 원주 뒤의 와도가 거의 동일함을 보여 연성와열(coupled vortex streets)의 전형적인 형태로 발전함을 알 수 있다.



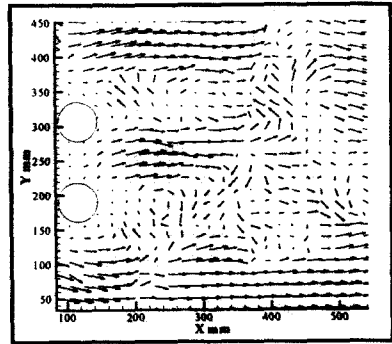
((6-a) T/D=1.2



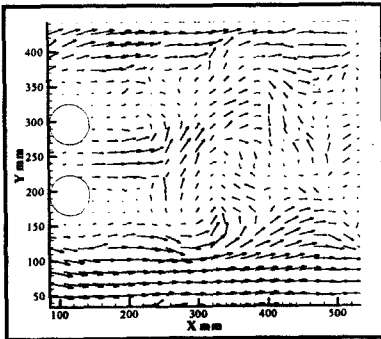
(6-b) T/D=1.3



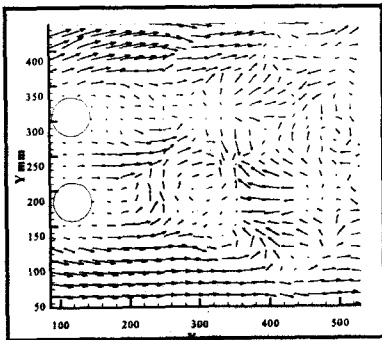
(6-c)  $T/D=1.9$



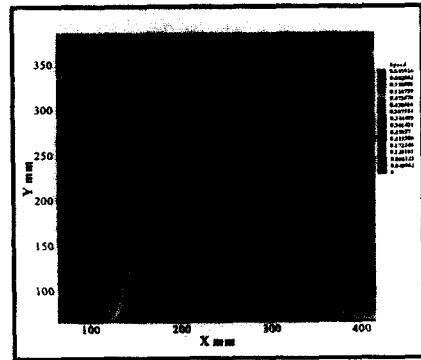
(6-f)  $T/D=2.1$



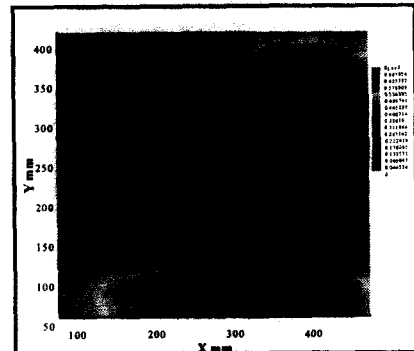
(6-d)  $T/D=2.0$



(6-e)  $T/D=2.06$

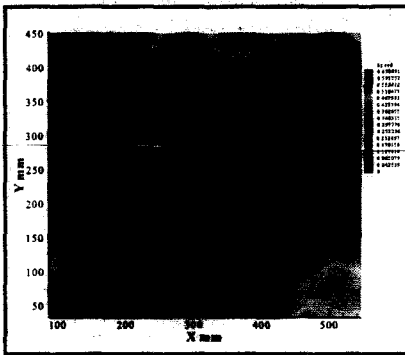


(7-a)  $T/D=1.2$

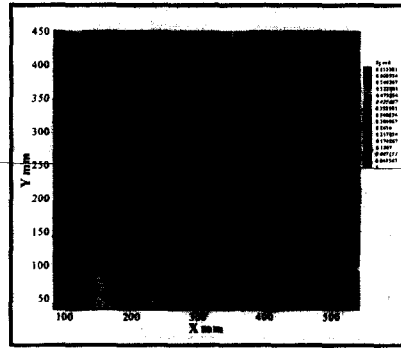


(7-b)  $T/D=1.3$

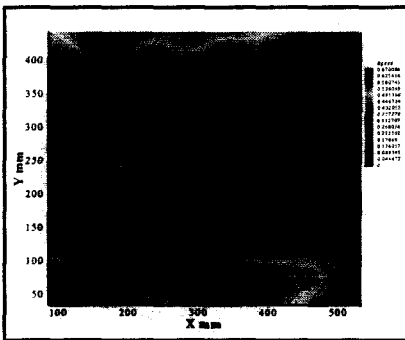
Fig. 6 Velocity vector field



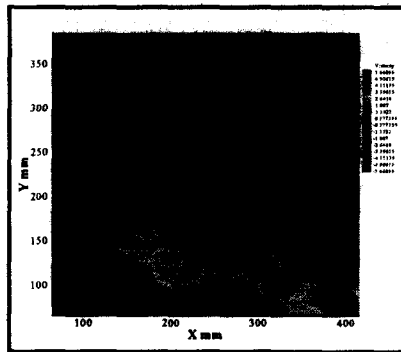
(7-c) T/D=1.9



(7-f) T/D=2.1

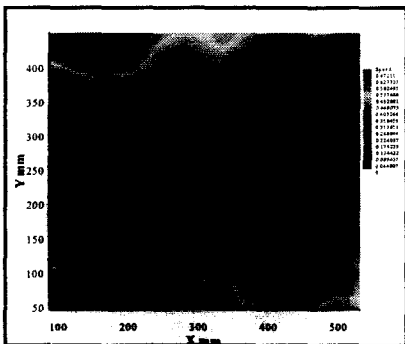


(7-d) T/D=2.0

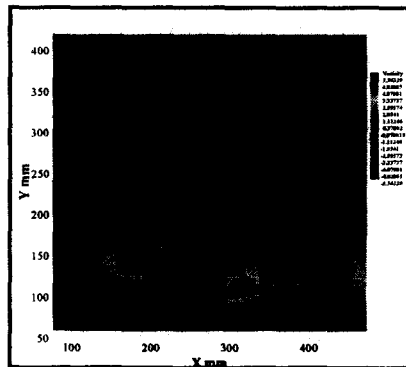


(8-a) T/D=1.2

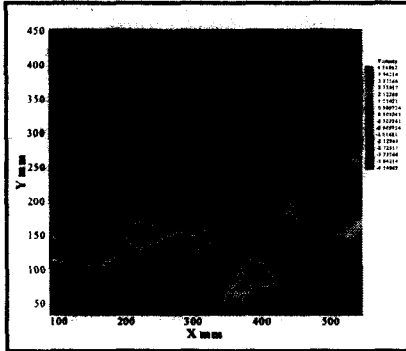
Fig. 7 Velocity contour



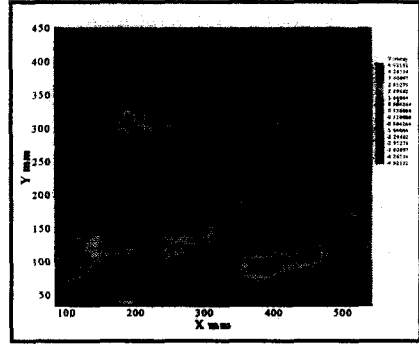
(7-e) T/D=2.06



(8-b) T/D=1.3

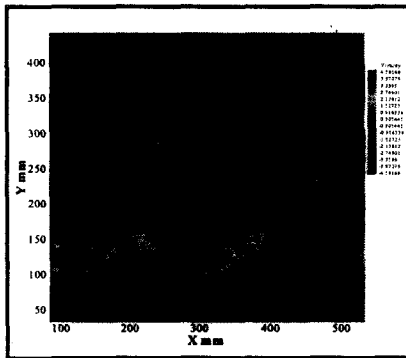


(8-c) T/D=1.9

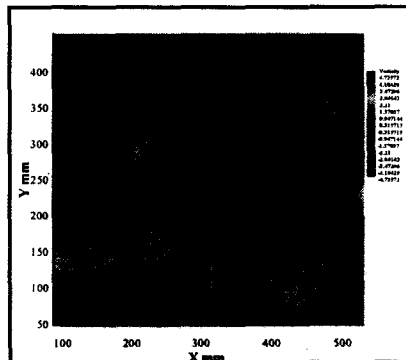


(8-f) T/D=2.1

Fig. 8 Vorticity contour



(8-d) T/D=2.0



(8-e) T/D=2.06

## 5. 결론

Zdravkovich의 풍동 실험결과를 회류수조에서 확인하였다. Zdravkovich는 유체 흐름의 특징을 sketch로 나타내었지만 본 연구에서는 PIV 기법을 이용하여 해석결과로 속도장(velocity vector field), 와도윤곽(vorticity contour), 속도윤곽(velocity contour)으로 나타냄으로써 정확한 결과 해석이 가능하였으며 T/D가 1.2에서 2.06인 영역 구간에서의 유동장의 변화를 거리의 변화에 따라 순차적으로 나타내어 보았다. Zdravkovich는  $Re=1.0 \times 10^4 \sim 8.0 \times 10^4$ 의 범위에서 수행되었으나 본 실험은  $Re=1.78 \times 10^4$ 의 경우에 실시되었다는 점이다. 이러한 초기조건의 차이는 결과를 나타내는데 약간의 차이는 있었지만 같은 난류 영역에 속해 있다는 점에서 레이놀즈 수의 차이에 의한 문제는 나타나지 않았다. 원주 간격이 커질수록 적은 와류영역이 점점 확대되어 마침내 연성와열(coupled vortex)의 전형적인 형태로 발전됨을 알 수 있었으며 본 연구를 통하여 제시된 연구 결과는 수치해석 코드검증에 유용한 자료가 될 것이다.

## 참고문헌

- 1) M.M. Zdravkovich, " Flow Induced Oscillations of Two Interfering Circular Cylinders ",

- Journal of Sound and Vibration, Vol. 101(4), pp.511-521, 1985
- 2) Flow-Induced Vibration, Robert D Blevins  
Van Nostrand Reinhold Co. 1990
  - 3) 박준수, "PIV를 이용한 다수 원주 주위 유동장 해석", 석사학위논문, 조선공학과, 부산대학교, 1996
  - 4) R.J. Adrian " Particle-Image Techniques for Experimental Fluid Mechanics ", Annu. Rev. Fluid Mech., pp.261-304, 1991
  - 5) L. Hesselink, " Digital Image Processing in Flow Visualization ", Annu. Rev. Fluid Mech., pp.421-485, 1988
  - 6) C. Gray and T. Bruce, " The Application of Particle Image Velocimetry(PIV) to offshore Engineering ", ISOPE, 1995
  - 7) A.J. Martin and W.J. Easson, " Experimental Study of Internal Waves Using Particle Image Velocimetry ", ISOPE, 1995