

PIV를 이용한 다수원주 주위 유동장 해석

전완수* · 박준수** · 권순홍*** · 하동대*** · 최장운**** · 이만형*****
(96년 3월 26일 접수)

Flow Field Analysis around Multi-Cylinders Using Particle Image Velocimetry

Wan-Soo Jeon* · Jun-Soo Park** · Sun-Hong Kwon*** · Dong-Dai Ha*** ·
Jang-Woon Choi**** · Man-Hyung Lee*****

Key Words : Particle Image Velocimetry(입자 영상 속도계), Laser Doppler Velocimetry(레이저 속도계), Flow Visualization(유동 가시화), Cylinder Arrays(원주배열), Image Processing(영상처리)

Abstract

The flow field around four cylinders for various angles was investigated utilizing particle image velocimetry(PIV) technique. Flow field was recorded by video camera first. Then application of PIV technique was done to the flow field. The results turned out to be useful to analyze complex flow field around multiple cylinders.

1. 서 론

다수 원주 주위의 유동장 해석은 유체 역학에서 대단히 중요한 분야이다. 해양 공학에서도 실제 해양 구조물이 다수의 원주로 이루어져 있는 경우가 대부분이기 때문에 많은 연구가 행해져 왔다. 종래의 실험적 연구는 주로 가시화에 의존해 왔고 실제 유동장 전체에 대한 해석은 전산 유체 역학 분야에서 다루어왔다. 실험적 방법중 LDA(Laser Doppler Anemometry)에 의한 방법은 각각의 지점에서 일일이 제어해야 하는 엄청난 노력이 필요로

한다. 반면에 PIV(Particle Image Velocimetry)는 미소시간 동안의 연속적인 화면들로부터 획득한 화상의 정보로부터 전 유동장의 속도장을 한번에 구할 수 있는 대단히 편리한 방법이다. 그리고, PIV는 많은 공학분야에서 실제로 사용되고 있고 최근에는 해양공학 분야에서도 그 적용 사례에 관한 논문이 발표되고 있다.^{1),2)}

본 연구에서는 균일한 흐름속에 있는 일정 간격으로 배치된 4개의 원주 주위의 유동장을 가시화하여 video camera로 촬영하고, PIV계측기법으로 처리하여 속도장을 나타내었다.

* 국방과학연구소

** 부산대학교 조선·해양공학과 대학원

*** 부산대학교 조선·해양공학과, 부산대학교 기계기술연구소

**** 한국해양대학교 기계공학과

***** 부산대학교 제어기계공학과, 부산대학교 기계기술연구소

2. 가시화 실험

2.1 모형설명 및 실험조건

본 실험에 사용된 모형은 직경이 50mm이고 수면하 길이가 600mm인 4개의 원주를 사용하였다. 그리고, 4개의 원주들은 정사각형을 이루고 원주 사이의 간격은 각 원주의 중심에서 가로, 세로 각각 200mm 떨어져 있다. 두 종류의 유속 0.4m/s, 0.8m/s에서 흐름에 대한 모형의 양각은 0°, 22.5°, 45°에 대해서 실험을 실시하였다. 이 모형에 대한 개략도는 그림 1에 나타내었다.

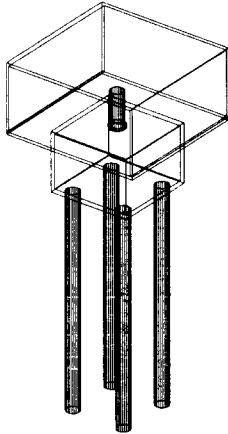


Fig. 1 Schematic Diagram of Test Model

2.2 가시화

가시화를 위한 유동장의 조명은 출력 4 Watt Argon-Ion 레이저를 이용하여 모형의 원주 끝단들로부터 75mm 떨어진 곳에 sheet beam을 주사하고 이 유동장의 정보를 획득하기 위하여 입자를 주입하여 이를 video camera로 촬영하였다. PIV에서는 유동장에 분포된 입자의 미소시간 간격의 화상을 컴퓨터로 분석하여 속도벡터에 대한 데이터를 얻는 방법이므로 입자의 추종특성은 결과의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. 본 실험에 사용된 입자는 Polyvinyl Chloride (직경 : 100~200 μm)를 채택하였다. 그리고, 가시화 실험 장치의 개략도는 그림 2에 나타내었다.

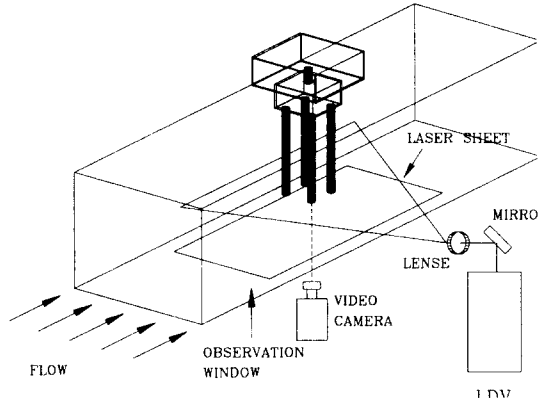


Fig. 2 Schematic Diagram of Test Setup

3. PIV계측 기법을 이용한 화상처리

3.1 Particle Image Velocimetry (PIV)

1. 흐름에 충분히 잘 따르는 부력을 가진 적당히 작은 물질 즉, 입자를 흐름에 주입한다.
2. 레이저 sheet beam을 흐름에 주사한다.
3. 주입한 입자에 대해 연속적인 두개 이상의 화상을 획득하기 위해 충분히 긴 촬영 노출 시간을 취하며, 화상들을 잘 얻기 위해 고해상도의 video camera를 사용한다.
4. 화상(image)구별을 결정하기 위하여 화면을 분석하게 되면 유동장의 속도 벡터를 구할 수 있다.

3.2 화상처리 알고리즘³⁾

연속하는 4사각의 순간적인 트레이서입자화상을 사용하여 동일입자를 추적하는 4프레임 입자추적법은 동일입자의 확인방법으로 가장 먼저 소개된 기법으로 화상입력의 시간간격은 충분히 짧고 동시에 일정하다는 것, 유동의 속도가 공간적, 시간적으로 급격히 변하지 않는 것을 가정한 알고리즘이다. 그러나, 본 논문에 사용된 입자의 분포특성에 대한 상관계수를 구하여 동일입자를 판별하는 알고리즘인 2프레임 동일입자추적법은 4프레임의 경우보다 최종유효 입자수가 20~30%정도 증가하며, 속도구배가 큰 영역에서 얻어진 속도벡터는 보다 짧은 시간간격에 동일입자추적이 가능한 원리적인 장점을 보여주고 있다. 따라서 고속의 흐름에

서 입자획득을 면에서 우수함을 알 수 있었다.

4. 계측결과 및 고찰

그림 3에는 해석하려고 하는 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 여기서, 4V는 0.4 m/s이고 나머지 000A는 양각을 나타내며, -A는 해석 위치를 나타낸다. 예를 들면, 유속 0.8 m/s, 양각 22.5°, 해석 위치 -C일 경우 8V225A-C로 나타내었다. 그림 4는 대체로 균일 흐름을 보여주고 있으며 우측 상단의 교란은 상류에 위치해 있는 원주의 영향으로 생각된다. 그림 5는 두 개의 보텍스 핵이 보이지만 위쪽의 것은 보텍스 핵으로 보기에 약한 것 같으며 하단에 보텍스 핵이 보이고 반대 방향으로 움직이는 제 2의 보텍스의 존재를 보여주는 유동장을 확인할 수 있다. 그림 6은 원주의 영향으로 생긴 보텍스 핵이 좌측 중앙에 보인다. 상류에 있는 원주의 존재로 교란된 흐름이 유입되어 넓은 영역에서 교란을 보여준다. 그림 7은 양각 22.5° 경우의 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 그림 8은 상류와 하류에 각각 보텍스 핵이 존재함을 보여주는 전형적인 유동장이다. 그림 9는 좌측 중앙에 보텍스 핵이 보이며 제 2의 보텍스 핵의 존재를 보여주는 유동장을 확인할 수 있다. 그림 10은 원주의 영향으로 생긴 보텍스 핵이 좌측 상단에 보인다. 상류에 있는 원주의 존재로 교란된 흐름이 유입되어 넓은 영역에서 교란을 보여준다. 그림 11은 양각 45° 경우의 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 그림 12는 상류와 하류에 각각 보텍스 핵이 존재함을 보여주는 유동장이다. 그림 14는 상류 중앙부와 하류 하단부에 각각 보텍스 핵의 존재함을 예측할 수 있는 전형적인 유동장을 보여주고 있다. 그림 15는 유속 0.8m/s, 양각 0° 경우의 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 그림 16은 대체로 균일 흐름을 보여주고 있으며 좌측 상단의 교란은 상류에 위치해 있는 원주의 영향으로 생각된다. 그림 17은 상류 하단부에 보텍스 핵이 존재하는 유동장을 보여주고 있다. 그림 18은 원주의 존재로 유입 흐름이 교란되었으므로 넓은 영역이 교란되었음을 보여준다. 그림 19는 양각 22.5° 경우의 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 그림 20은 상단부에 균일 흐름이 있고 우측 상단의 흐름은 원주의 존재로 유입 흐름

이 교란되는 것으로 보여진다. 그리고 좌측 하단부의 상류와 우측 하단부의 하류에 보텍스 핵이 존재하는 유동장으로 보여진다. 그림 21은 보텍스 핵이 존재하는 전형적인 유동장으로 보여진다. 그림 22는 보텍스 핵이 상류와 하류에 존재하는 유동장으로 보여진다. 그림 23은 양각 45° 경우의 유동장과 원주들의 위치를 나타내었다. 그림 24는 중앙부에 보텍스 핵이 보여진다. 그림 25는 상류에 보텍스 핵의 존재를 확인할 수 있는 유동장을 보여주고 있다. 그림 26은 상류에 원주의 존재로 인한 보텍스 핵의 존재와 넓은 영역에서 교란이 있음을 보여주는 유동장이다.

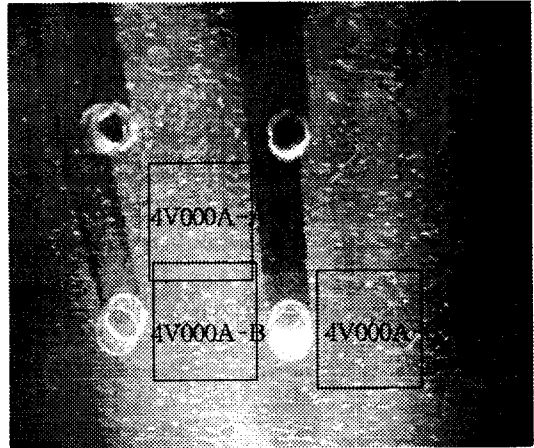


Fig. 3 Region of Flow Fields
(Velocity : 0.4 m/s, Angle of Attack : 0°)

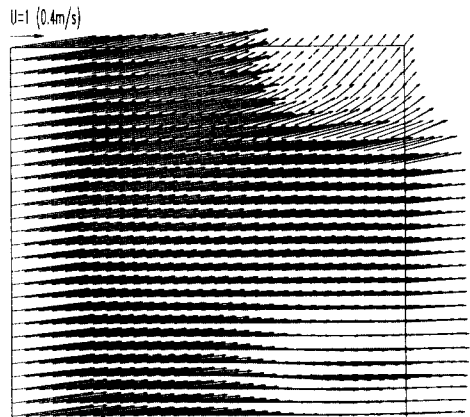


Fig. 4 Vector Field for 4V000A-A

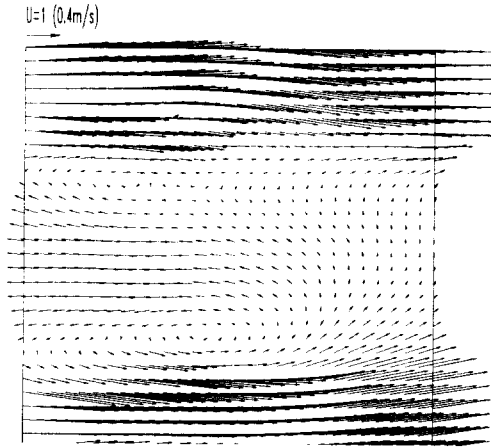


Fig. 5 Vector Field for 4V000A-B

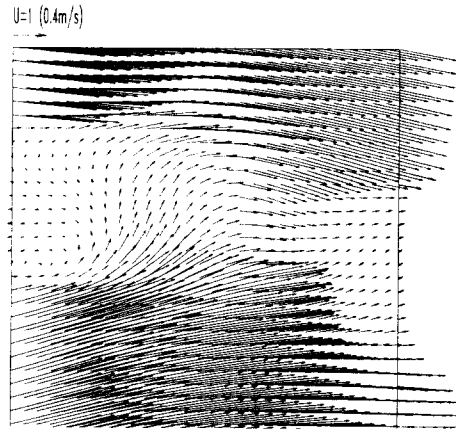


Fig. 6 Vector Field for 4V000A-C

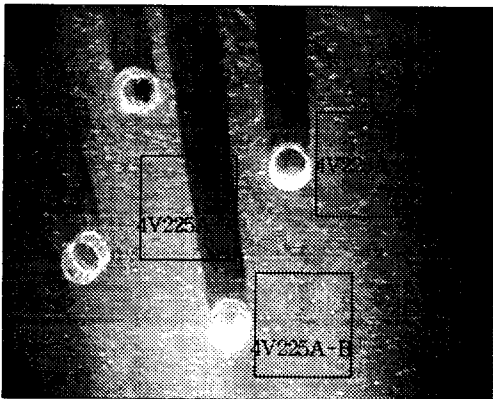


Fig. 7 Region of Flow Fields
(Velocity : 0.4 m/s, Angle of Attack : 22.5°)

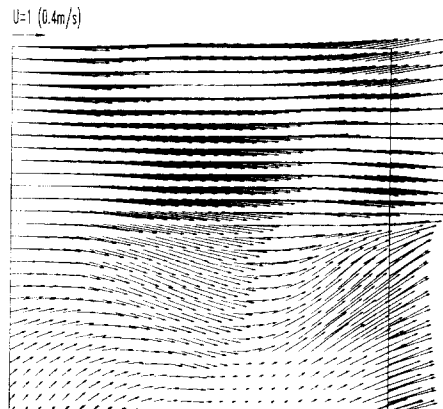


Fig. 8 Vector Field for 4V225A-A

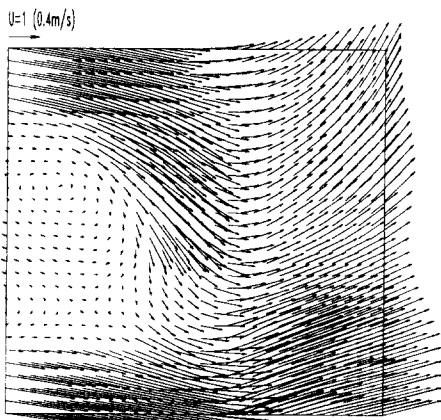


Fig. 9 Vector Field for 4V225A-B

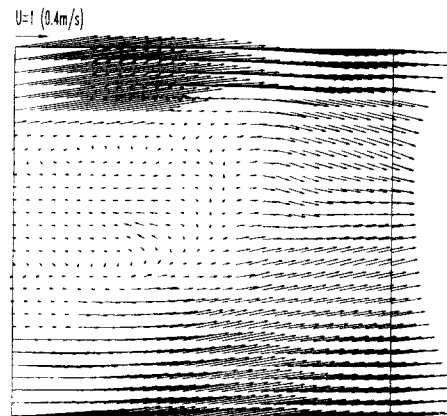


Fig. 10 Vector Field for 4V225A-C

PIV를 이용한 다수원주 주위 유동장 해석

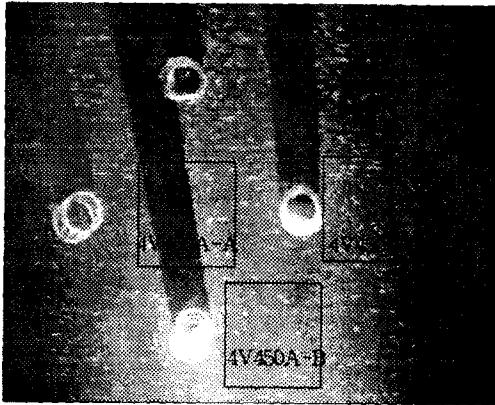


Fig. 11 Region of Flow Fields
(Velocity : 0.4 m/s, Angle of Attack : 45°)

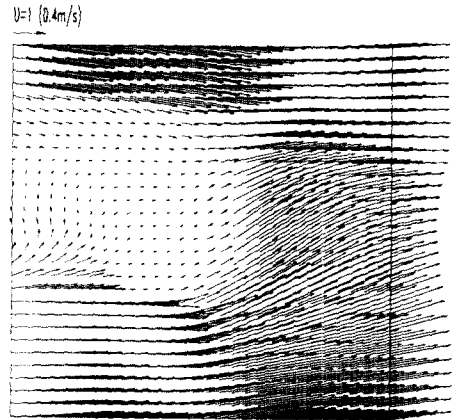


Fig. 12 Vector Field for 4V450A-A

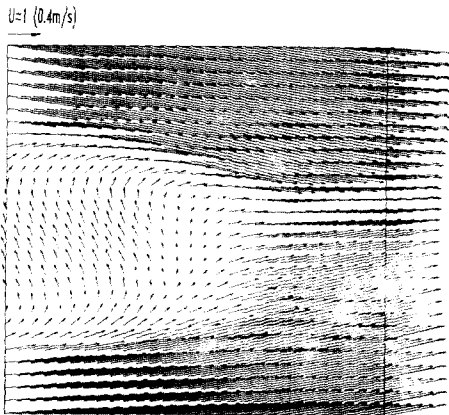


Fig. 13 Vector Field for 4V450A-B

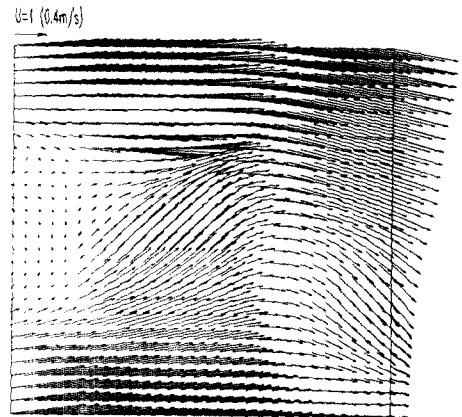


Fig. 14 Vector Field for 4V450A-C

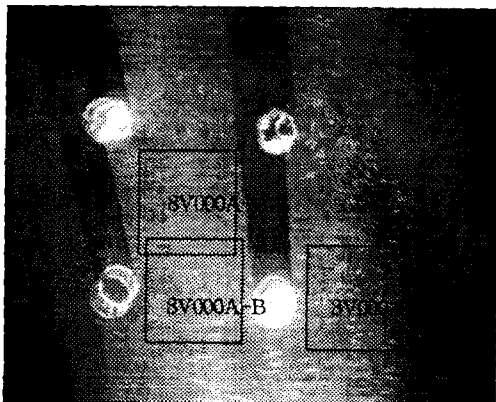


Fig. 15 Region of Flow Fields
(Velocity : 0.8 m/s, Angle of Attack : 0°)

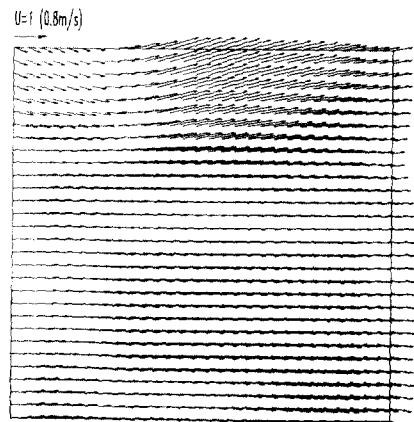


Fig. 16 Vector Field for 8V000A-A

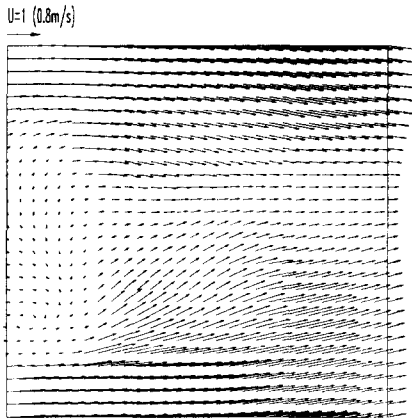


Fig. 17 Vector Field for 8V000A-B

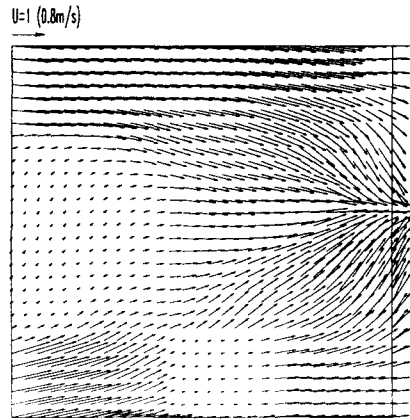


Fig. 18 Vector Field for 8V000A-C

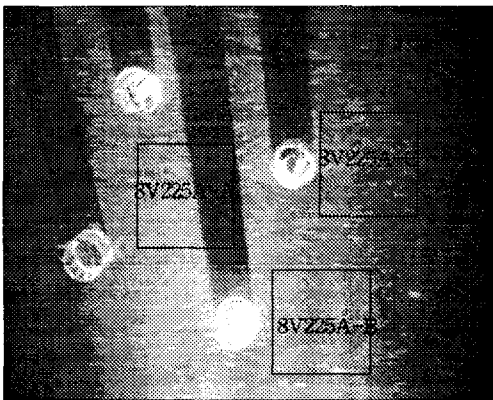


Fig. 19 Region of Flow Fields

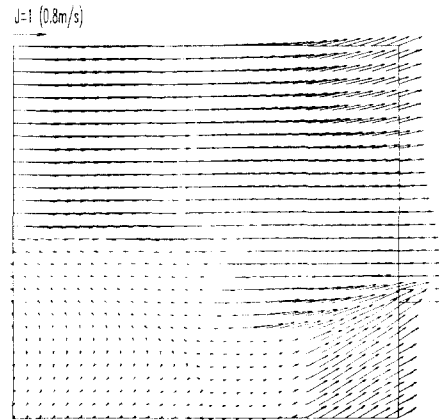


Fig. 20 Vector Field for 8V225A-A

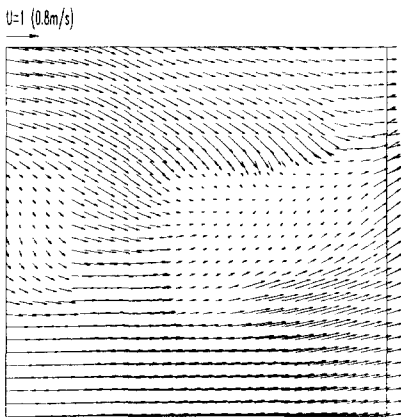


Fig. 21 Vector Field for 8V225A-B

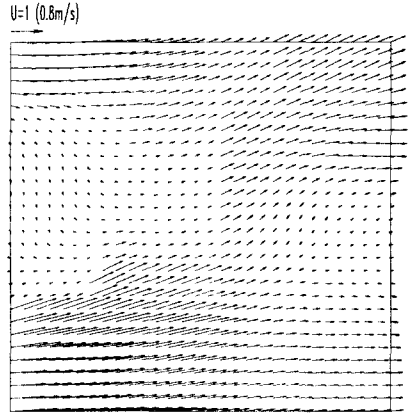


Fig. 22 Vector Field for 8V225A-C

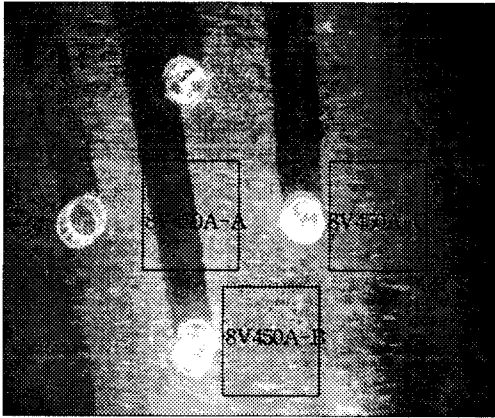


Fig. 23 Region of Flow Fields

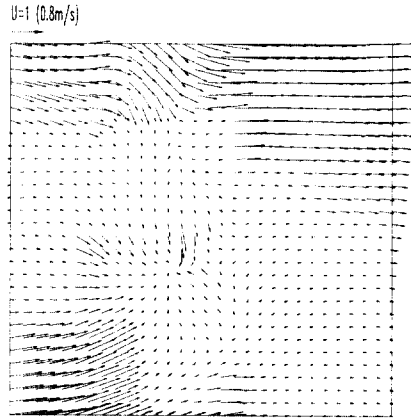


Fig. 24 Vector Field for 8V450A-A

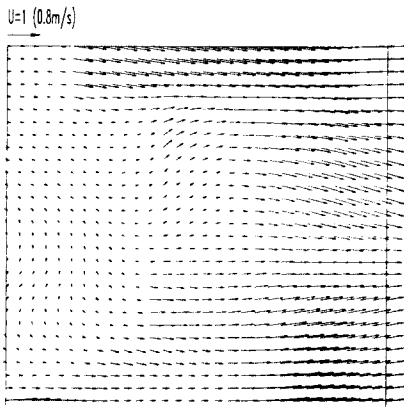


Fig. 25 Vector Field for 8V450A-B

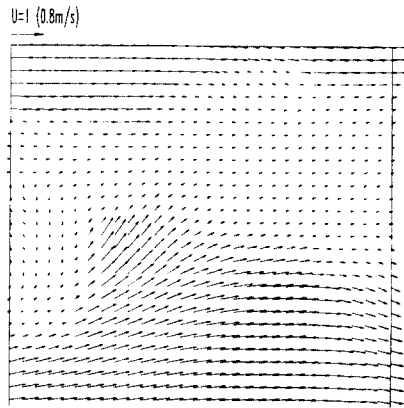


Fig. 26 Vector Field for 8V450A-C

여기서, 한가지 언급해 둘 것은 PIV는 미소 시간 동안에 입자의 이동거리를 측정하는 기법으로 경계 부분에서 입자가 사라지는 경우가 생기므로 경계에서의 속도정보는 부정확할 수도 있다는 점이다.

5. 결 론

본 연구에서는 PIV를 이용하여 4개의 원주 주위 유동장 특성을 구하였다. LDA를 이용한 방법에 비하여 적은 노력으로 특정 유동장의 속도 분포를 쉽게 구할 수 있었다. 따라서 가시화, 화상처리기법을 좀 더 발달시키면 PIV는 유동장 해석에 매우 유용한 도구임을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- 1) A. J. Martin and W. J. Easson, "Experimental Study of Internal Waves Using Particle Image Velocimetry ", ISOPE, 1995
- 2) C. Gray and T. Bruce, " The Application of Particle Image Velocimetry(PIV) to Offshore Engineering ", ISOPE, 1995
- 3) 조 대환, " 2차원 평면 Poiseuille 흐름 구동입방형 캐비티의 PIV 측정 ", 석사학위논문, 기계공학과, 한국해양대학교, 1995