

엇갈림 원주열 주위의 속도 특성에 관한 연구

배봉갑⁺·박찬수⁺⁺·조대환⁺⁺⁺

A Study on velocity Characteristics in a staggered tube array

Bong-gap Bae⁺, Chan-su Park⁺⁺ and Dae-hwan Cho⁺⁺⁺

Abstract : This experimental study investigates the wake flow behind the flow characteristics around staggered tube arrays. In this experiment, the principal aim is to investigate the transition mechanism of the large vortex generating process in the wake having unique vortex shedding pattern. The detailed visualization is carried out using the PIV measurement. The transition mechanism of the large generating vortex is clarified by showing the streak lines, the vorticity and the statistical fluctuating velocity distributions.

Key words : Staggered tube arrays(엇갈림 원주열), PIV(입자영상유속계), Velocity fluctuations(속도변동성분), Heat exchanger(열교환기)

1. 서론

엇갈림 관군 주위의 유동장은 기하학적형상에 따른 복잡한 유동의 특징 즉, 높은 난류강도, 역압력구배, 박리와 재부착점, 유동형태의 주기성 또한 곡률 효과에 따른 추가적인 변형을 등으로 인하여 실험이나 수치해석을 수행하는데 많은 문제점을 가지고 있다.

Scholten 등^[1]은 3열의 엇갈림 관군에 대하여 두 종류의 레이놀즈수에 대해 속도의 변동성분을 측정하고 와류의 형성과 와흐림 현상이 국부적으로 발생하는 결과를 제시하였다. 그리고 각 열의 후류의 속도 변동은 3열까지 점차적으로 증가하여 발생하고 이것은 전열의 영향으로 분석하였다. Williamson^[2]은 균일한 흐름 속의 놓여있는 원형실린더 후류에 대한 기존연구를 체계적으로 정리하여 친이구역(후류친이 영역($Re=190\sim 10^3$: Karman와류의 불안정성으로 2차 와류가 형성), 전단층 친이 영역($Re=10^3\sim 2\times 10^5$: 박리점 근처에서 전단층의 불안정성이 형성) 그리고 2×10^5 이상의 영역을 경계층친이구역으로 분류하였다. Lee 등^[3]은 보텍스셰딩으로 인해 발생하는 경계층내 요동성분 위상차를 이용하는 방법으로 레이놀즈수와 난류강도가 변화할 때 원주실린더 주위의 흐름특성과 박리점 이후의 유동구조를 분석하여 난류강도의 증가에 따라 박리점 이후 재순환류들이 상류로 이동함을 보고하였다. 이 연구에서는 엇갈림 원주열을 대상으로 고속카메라를 이용한 PIV 기법으로 원주 후류 영역과 원주 사이 영역의 속도를 측정하여 내부유동 특성을 고찰하였다.

2. 실험

실험에 사용한 소형회류수조의 전체길이는 3,000 mm이고 시험부의 유입단면은 가로(W), 세로(h) 300 mm이다. 0.3-0.5m/sec의 자유류 속도를 가지며 난류강도는 1.5% 이내로 유지하였다. 원형실린더는 표면이 매끄러운 아크릴재질이며 직경(D) 10.5mm, 축 방향의 길이(l) 300mm, 실린더의 형상비(aspect ratio, l/d) 28.6, 차폐비(blockage ratio, D/W)는 3.5%이다.

그림 1은 실험에 적용된 원주열의 설치 및 좌표축으로 계속

영역은 원점을 기준 하여 y축 방향 $\pm 2D$, x축 방향으로 8D이다. 실험에서 채택한 레이놀즈수는 원주직경을 기준으로 $Re=1.5\times 10^3$ 에서 $Re=2.5\times 10^3$ 까지 11가지이다. 상관영역은 50×40 픽셀이며 탐색반경은 8픽셀이다. 에러치리는 모든 격자에 대하여 발산값을 계산하여 허용치를 초과했을 경우에 오류백터로 판별하였다. 튜브뱅크의 유동에서는 3열 및 4열을 지나면서 완전 발달한 유동을 갖게 된다. 따라서 이 연구에서는 엇갈림 튜브뱅크 내부열의 실제형상과 같게 아크릴로 제작하고 3열과 4열을 중심으로 가시화 하였다. 유동가시화의 결과는 고속카메라를 이용하여 기록하였으며 CACTUS 2000으로 PIV 계측을 수행하였다.

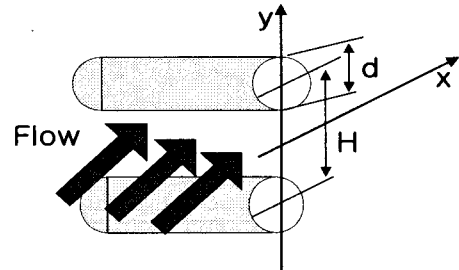


Fig. 1 Coordinate system

3. 결과 및 고찰

그림 2는 레이놀즈수가 증가함에 따른 시간 평균의 유동 특성을 알아보기 위하여 $Re=1.5\times 10^3$ 에서 $Re=2.5\times 10^3$ 까지 11가지 PIV계측 결과를 산술 평균하고 등속도선을 15단계로 구분하여 등고선으로 표시하였다. 상류로부터 유입된 흐름은 전방에 있는 원주 후미에 박리에 따른 와류영역이 형성되는 형태를 나타내었으며 그 크기는 레이놀즈수에 따라 큰 변동은 나타나지 않았으나 주기성은 빨라지는 경향을 보였다. 이것은 후방에 있는 원주의 영향으로 판단되며 주기성은 원주 후류의 비정상 유동특성에 기인하는 것으로 추정된다.

⁺ 배봉갑(목포해양대학교 대학원), E-mail: bgbae@mmu.ac.kr, Tel: 061)240-7104

⁺⁺ 박찬수, 목포해양대학교 기관시스템공학부

⁺⁺⁺ 조대환, 목포해양대학교 기관시스템공학부

그림2(a)의 경우 $Re=1.5 \times 10^3$ 의 속도분포이다. 원주후류의 형태를 보면 칼만볼텍스의 형태가 일부 나타나 있다. 이러한 와류의 형태는 $Re=2.1 \times 10^3$ 까지 나타나며 그이후의 경우 4열이후의 경우 대체로 대칭형의 후류형태를 보인다. 일반적으로 저레이놀즈영역에서 원주열의 흐름이 단독원주주위의 흐름과 같거나 유사하다. 그림에서는 나타내지 않았으나 $Re=1.5 \times 10^3$ 이하에서는 이러한 경향을 보였다. $Re=2.1 \times 10^3$ 이상의 경우에는 원주열의 상하영역의 등속도분포가 유사하게 나타나고 있으며 흐름의 세기만 증가하고 있다. 그림 3은 계측 유동장의 속도분포에서 최고속도와 산술평균한 속도를 비교하여 나타내고 있다. 속도벡터장을 관찰해보면 원주사이영역의 유속이 다른영역보다 매우 빠르고 유속의 방향도 각 원주의 중심선을 잇는 선에 거의 수직인 방향이다. 따라서 유속이 빨라지면 그 영역에서의 압력이 저하하므로 2원주에는 서로 끄는 인력이 작용한다. 그리고 이 인력은 그 작용방향으로부터 상류측 원주에는 양력감소, 항력증가, 또는 하류측의 원주에는 양력증가, 항력감소를 초래할 것으로 예상된다. 유동장에서 최고속도를 나타내는 곳도 원주사이 영역의 중앙부근이다.

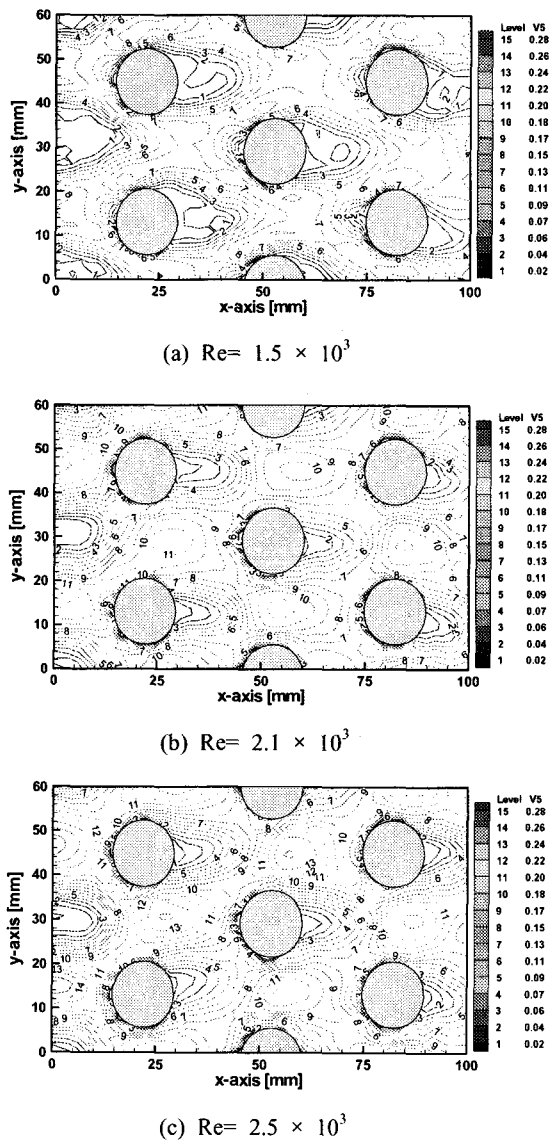


Fig. 2 Velocity Distribution

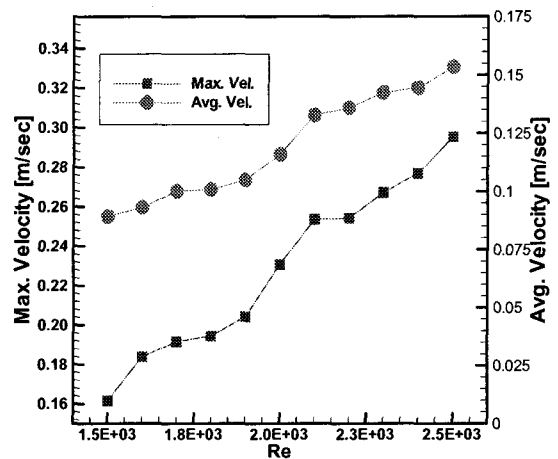


Fig. 4.6 Comparison of Velocity Profile on Flow Field

4. 결 론

엇갈림 원주열의 내부 유동형태는 원주 후류 영역과 원주 사이 영역으로 크게 구분되며 유동특성의 변화는 피치비와 레이놀즈수에 따라 변화를 보였다. 원주사이영역의 유속은 다른 영역보다 매우 빠르고 유속의 방향도 각 원주의 중심선을 잇는 선에 거의 수직인 방향이며, 유속증가, 압력 저하의 특성을 보였으며 유동장에서 최고속도는 원주사이 영역의 중앙부근에서 나타났다. 상류로부터 유입된 흐름은 진방에 있는 원주 후미에 박리에 따른 와류영역이 형성되는 형태를 나타내었으며 그 크기는 레이놀즈수에 따라 큰 변동은 나타나지 않았으나 주기성은 빨라지는 경향을 보였다. 이것은 후방에 있는 원주의 영향으로 판단되며 주기성은 원주 후류의 비정상 유동특성에 기인하는 것으로 추정된다.

참고문헌

- [1] J. W. Scholten and D. B. Murray, "Heat transfer and velocity fluctuations in a staggered tube array", International Journal of Heat and Fluid Flow, Volume 19, Issue 3, Pages 233-244, June 1998
- [2] C.H.K.Williamson, "Vortex Dynamics in the Cylinder Wake," Annu. Rev. Fluid Mech., Vol. 28, pp.477-539, 1996
- [3] 임용섭, 손동기, 이준식, 양경수, "Reynolds수와 난류강도의 변화에 따른 실린더주위 유동 박리점의 거동에 관한 실험적 연구," 대한기계학회 논문집, Vol. 22, No. 7, pp. 889-898, 1998
- [4] G. S. West and C. J. Apelt, "The Effects of Tunnel Blockage and Aspect Ratio on the Mean Flow Past a Cylinder with Reynolds Numbers Between 10^4 and 10^5 ", J. Fluid Mech., Vol. 114, pp. 361-377, 1982
- [5] H.Obara and Y.Matsudaira, "Vortex Generating Process behind a Pair of Circular Cylinder" Proc. of 4th KSME-JSME Fluids Eng. Conf., pp.141-144, Tokyo, 1998