

PIV기법을 이용한 정사각 실린더의 후류에 관한 실험적 연구

장 태 현* · 이 중 봉*

(원고접수일 : 2003년 7월 9일, 심사완료일 : 2003년 12월 9일)

An Experimental Study on the Wake of a Square Cylinder Using PIV Technique

Tae-Hyun Chang* · Jong-Boong Lee*

Abstract : An experimental study is performed turbulent flow behind a square cylinder by using 2-D PIV technique. The Reynolds number investigated are 10,000, 30,000 and 50,000. The mean velocity vector, time mean axial velocity, turbulence intensity, kinetic energy and Reynolds shear stress behind the cylinder are measured. The numerical method used this study is a CFD code, STAR-CD. The numerical results are compared with these of experimental.

Key words : Particle Image Velocimetry(입자영상유속계), bluff body(각진 물체), Bimodal(쌍봉), Recirculating region(재순환 영역)

Nomenclature

A : the cross section area
b : height of the square cylinder
D : diameter of the test section
d : diameter of the cylinder
U : axial velocity
 \bar{U} : time mean axial velocity
 u', v' : fluctuating velocity
Re : Reynolds number
St : Strouhal number
X : axial coordinate
y : radial distance

1. 서 론

원주나 사각실린더 같은 각진 물체(bluff body) 주위의 유동현상은 유체역학이나 산업 현장에서 매우 중요하고 고전적인 관심사였다. 이와 같은 유동장 내에서 장애물에 의한 후류의 영향은 유동의 박리와 와(渦)를 형성하여 항공 역학적인 항력, 구조물의 진동 그리고 난류 혼합과정에 직접적인 영향을 미치므로 지금까지 많은 연구가 진행되고 있다.

Coutanceau 등⁽¹⁾은 원형실린더 후류에서 Reynolds 수 5 ~ 40 범위에서 속도를 측정하여 이론적 계산 결과와 비교하였고, Owen 과

† 책임저자(경남대학교기계자동차공학부), E-mail : changtae@kyungnam.ac.kr, T : 055-249-2613

* 경남대학교 기계자동차공학부

Johnson 등^[2]은 위상평균법을 이용하여 난류구조를 해석하였다. Cantwell^[3] 과 Coles^[4]는 실린더의 근접후류에서 Flying Hot-Wire를 이용하여 난류운동방정식중 레이놀즈 평균 항을 측정하여 난류구조를 설명하였다.

국내의 연구로는 부정숙^[5]은 2차원 원주후류 유동을 통계학적인 방법을 이용하여 난류특성을 분석하였다. 조자희^[6]는 열선풍속계를 이용하여 정사각관 후류에서 평균속도, 난류강도 및 운동에너지 등을 구하였다. 김경천 등^[7]은 온도구배가있는 유동장내에서 원주의 가열량을 변화하면서 속도와 온도신호를 동시에 측정하여 유동특성을 분석하였고, 최상호 등^[8]은 외부음향기를 이용하여 후류의 유동특성과 와구조에 미치는 영향을 연구하였다. 열전달과 관련된 연구로는 윤순현 등^[9]은 사각주 후류가 가스터빈 익렬의 유동 및 열전달에 미치는 영향을 연구하였다.

이와 같은 연구결과에서 보면 2000년대 이전은 열선풍속계나 LDV기법 그리고 스모크 등의 가시화 기법을 이용하여 각종 실린더의 후류에 대하여 연구하였다. 이 경우 그 결과는 한 점에서 점 측정에 불과하였고 열선풍속계등을 사용할 경우 프롱(prong)의 간섭을 배제할 수 없다.

근래에 와서 이 현 등^[10]은 Multivision PIV(Particle Image Velocimetry) 기법을 이용하여 단순 물체 후류에서 유동의 특성을 연구하였고, Daichin 등^[11]은 타원형의 구조물의 후류에서 PIV 기법을 사용하여 주 유동속도와 난류강도를 구하였다. 사각형의 실린더 후류에 대한 연구로는 Jang 등^[12]은 직사각형 실린더에서 수치해석 및 PIV기법으로 평균속도를 구하였으며, 이만복 등^[13,14]은 정사각 실린더에서 PIV 기법을 이용하여 근접후류에 대하여 연구하였고, Doh^[15]는 3차원 PIV 기법을 이용하여 원형실린더 후류에 대하여 연구하였다.

2000년대에서부터 PIV기법을 사용하기 시작하였지만 국내에서는 이 분야에 대한 수치해석 결과와 비교한 연구 결과가 적고, 또한, 이 들 연구가 대부분이 직사각형 풍동이나, 수조를 사용하고

있고 원형관 내에서 연구는 없다.

본 연구에서는 2차원 PIV 기법을 이용하여 수평 원형 관내에서 정사각 실린더의 후류의 난류운동에서 평균속도, 난류강도 그리고 Reynolds 응력 및 난류운동에너지 등을 구하고, 수치해석 결과와 비교하여 간결하고 효율적인 열교환기의 설계에 기여하고자 한다.

2. 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험 장치의 개략도이다. 테스트튜브는 $\varnothing 90$ 로 전체 길이는 3,000mm이고 두께 5mm의 아크릴 관으로 제작하였다.

정사각 실린더의 크기는 15mm×15mm×100mm의 아크릴 봉으로 제작하였다. PIV시스템을 사용할 경우 원관의 테스트 튜브 외면에서 발생할 수 있는 유체의 밀도차로 인한 굴절에 의한 측정 오차를 줄이기 위하여 테스트튜브 외면에 300mm×600mm×200mm의 수조를 만들었다. 작동유체는 물을 사용하고, 와류실, 테스트튜브 그리고 순환수 펌프(220V×3.75kW)로 다시 물탱크로 돌아갈 수 있도록 제작하였다. 테스트튜브 내에서 Reynolds 수를 조절하기 위하여 물 펌프의 회전수 조절기를 사용하였다. 비선회전 경우는 균일 유속을 만들기 위하여 정류장치(honey-comb)를 테스트튜브 입구에 설치하였다.

2.1 실험방법

PIV용 광원은 공냉식 500mW Ar-ion 레이저를 사용했다. 광원의 이동을 용이하게 하기 위해 광케이블로 빛을 이동시킬 수 있는 LLSP(Laser Light Sheet Probe)를 사용했다. 또한 이 LLSP는 레이저 층의 두께를 약 1mm 정도 조절을 할 수도 있다. 광케이블의 길이는 약 10m이다. 펄스화된 광원을 얻기 위해서 AOM(Acoustic Optical Modulator)를 사용했다. 유동장의 특성을 파악하기 위해서 1초에 30장의

이미지를 획득할 수 있는 Panasonic 사의 CCD (Charge Couple Device) 카메라 (WV3P310) 를 사용하였고, 영상의 기록을 위해 디지털 레코 드가 이용되었다. 그리고 획득된 이미지를 컴퓨터 로 0에서 255단계의 gray 레벨로 전송하는 DT3155(640×480 pixel) 보드를 사용했다. 실험에 사용된 입자(particle)는 나일론12(80 μ m) 이다. 작업유체는 증유수를 사용했고 실험시의 온 도는 20.8 $^{\circ}$ C이었다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 PIV 시스템을 나타낸다.

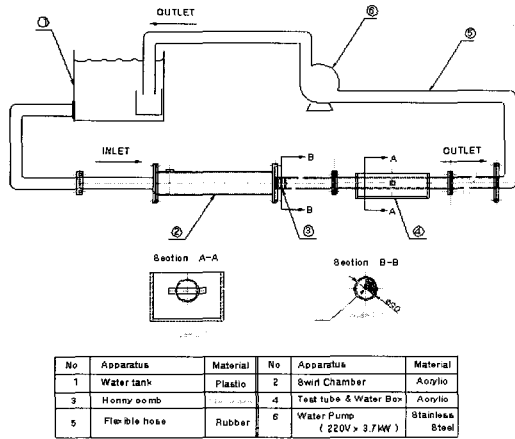


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

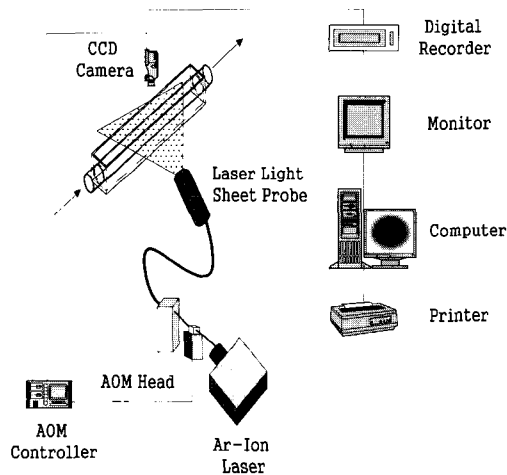


Fig. 2 Schematic arrangement of the PIV system.

3. 결과 및 고찰

3.1 속도 벡터

Fig. 3은 정사각 실린더 후류에서 $Re=10,000$ 일때의 순간속도벡터(Instantaneous Velocity Vector)를 나타낸다. 초기의 전단층은 실린더의 양쪽으로부터 교대로 박리되며, 원형형태의 와류를 형성하면서 하류로 큰 곡률을 이루면서 유동하는 특징을 나타내고있다. 유동의 박리점이 사각실린더의 뾰족한 모서리로부터 시작되므로 Reynolds 수가 증가할수록 복잡한 형태를 나타내고, 박리전단층이 커짐을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 지금까지 발표된 연구결과와 유사하다. Roshko 등 [16]에 의하면 이와 같은 와류는 원주인 경우 $X/D = 50$ 근처에서 소멸된다고 보고하였다.

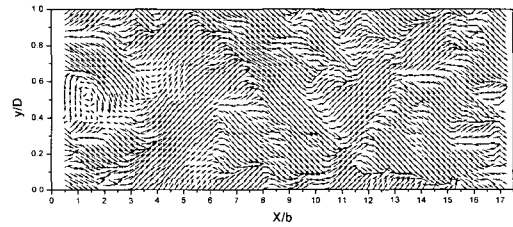


Fig. 3 Instantaneous velocity vector field behind the square cylinder for $Re = 10,000$.

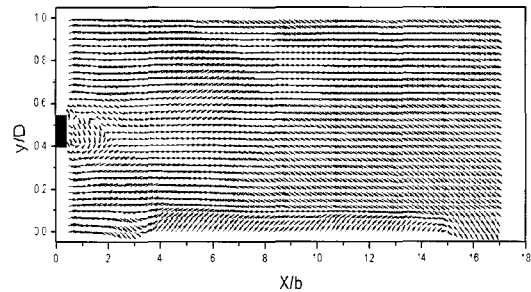


Fig. 4 Time mean velocity vector field behind the square cylinder for $Re = 10,000$.

Fig. 4는 정사각형 실린더 후류에서 $Re = 10,000$ 일 때 시간평균 속도벡터를 나타낸다. Fig. 4에서와 같이 실린더 후류의 $y/D=0.4\sim 0.55$, $X/b=1\sim 2$ 에서 명확한 재순환 영역을 나타내고 있고 이 현상은 X/b 가 증가하면서 점차

소멸되는 현상을 나타내고 있다.

3.2 평균속도

Mizota 등^[17] 과 Okajima 등^[18]은 열선 프로브를 일렬로 세움으로써 사각 실린더 뒤의 근접영역에서 유동이 역류하는 영역을 측정하였고 유동형태의 변화는 폭과 높이의 비, 경사각의 변화에서 항력과 양력 그리고 스트로울(Strouhal) 수와 밀접한 관련이 있음을 보였다. Cantwell^[3]은 원형 실린더 후류에서 Reynolds 수 1.4×10^5 일 때 유동의 재순환 영역(Recirculating Region)이 $1.1d$ 라고 하였고, Owen 등^[2]은 Reynolds 수 1.67×10^5 일 때 반구형태의 모델의 경우는 이 영역이 약 $1.3d$ 라고 하였다.

Fig. 5~Fig. 7은 $Re = 10,000, 30,000$ 그리고 $50,000$ 까지 축 방향속도 분포를 나타낸다.

Fig. 5는 $Re = 10,000$ 일때의 국소축방향 속도를 보이고 있다. 실린더로부터 $X/b = 1.5$ 근처까지 축 방향 속도는 음의 속도를 나타내고, 그 후 $X/b = 2.0$ 에서 부터는 양의 속도분포로 바뀌고 있다. 그러나 $Re = 30,000$ 과 $50,000$ 에서는 $X/b = 1.0$ 근처에서 음의 속도영역을 나타내는 "V" 형상의 분포를 보이고 있다. 또한, $X/b = 1.5$ 까지 후류는 $y/D = 0.4, y/D = 0.6$ 근처에서 속도구배가 급격하게 변하는 경향을 나타내고 있다. 이 결과는 Cantwell^[3]의 연구결과와 일치하고 있다. 또한, 양 관벽 근처로부터 $y/D = 0.23 \sim 0.3$ 에서 U/\bar{U} 가 1.5정도의 최고 속도를 가지나 관 중심에서는 최소값을 나타내었다. 이는 이 영역에서 아주 강한 난류유동으로 외부유체의 유입과 혼합이 이루어지기 때문에 축방향속도는 유동박리경계층의 크기와 후류감소 속도분포를 나타낸 것으로 생각된다.

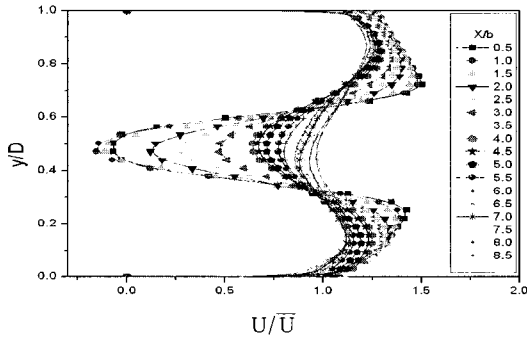


Fig. 5 Time mean axial velocity profiles behind the square cylinder for $Re = 10,000$.

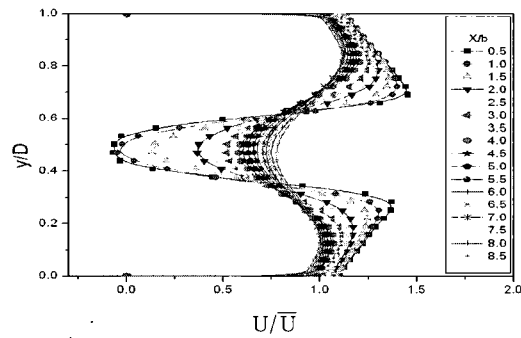


Fig. 7 Time mean axial velocity profiles behind the square cylinder for $Re = 50,000$.

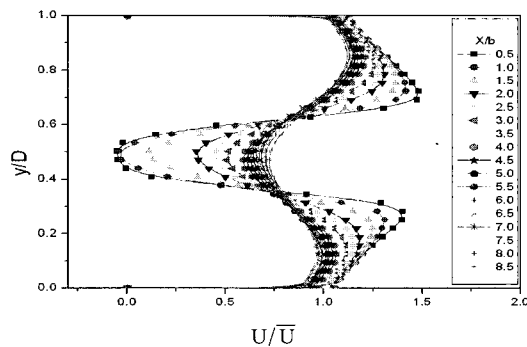


Fig. 6 Time mean axial velocity profiles behind the square cylinder for $Re = 30,000$.

Fig. 8은 $Re = 10,000, 30,000$ 그리고 $50,000$ 일때의 유동방향의 중심선상에서 축방향 속도를 정사각 실린더와 원형실린더의 결과를 비교한 것이다. 원형실린더의 경우는 $Re = 30,000$ 의 결과를 첨부하였다. 양실린더 모두 $X/b = 1.0 \sim 1.5$ 사이에서 음의 속도를 보이고 있고, 평균속도(\bar{U}) 까지 회복은 사각실린더보다 원형실린더가 매우 빠른 것으로 나타났다. 정사각실린더의 경우는 뾰족한 모서리에서 발생한 유동박리로 인한 영향이 크게 나타나고, Reynolds 수가 높을수록 회복이 늦은 것을 알 수 있다.

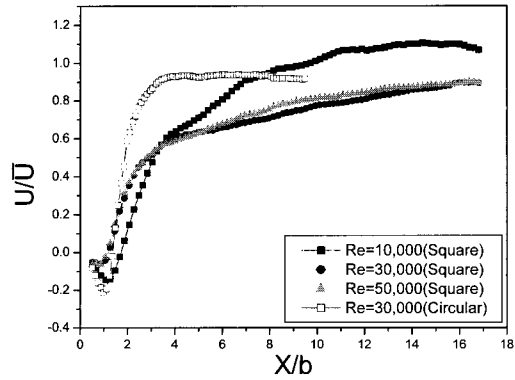


Fig. 8 Comparisons of axial velocity at the center line for the square and the circular cylinder.

3.3 난류강도

Fig. 9 ~ Fig. 11은 $Re = 10,000, 30,000$ 그리고 $50,000$ 에서 실린더 후류의 축방향 난류강도 ($\sqrt{u'^2}/\bar{U}$)의 등분포도를 나타낸 것이다. 축방향 난류강도는 $Re = 10,000$ 에서는 $X/b = 2.5 \sim 4.0, y/D = 0.35 \sim 0.55$ 에서 최대값을 나타내었고, $Re = 30,000$ 인 경우는 $X/b = 1.0 \sim 3.0, y/D = 0.3 \sim 0.6, Re = 50,000$ 인 경우는 $X/b = 1.0 \sim 3.5, y/D = 0.4 \sim 0.55$ 에서 최대값을 나타내었다. Reynolds 수에 관계없이 $X/b = 1 \sim 14$ 까지는 하나의 봉형태를 나타내었고, $Re = 50,000$ 에서 실린더 후류의 끝 부분인 $X/b = 14 \sim 16$ 사이에서 약한 쌍봉(Bimodal) 형태를 나타내었다. Fig. 12, 13, 14는 $Re = 10,000, 30,000, 50,000$ 일때의 등분포 난류강도로부터 국소 축방향 난류강도를 추출한 결과이다. Fig. 12는 국소축방향 난류강도를 $Re = 10,000$ 에서 나타내고 있다. 난류강도는 $X/b = 0.5$ 에서 0.07 의 최고치를 나타낸다. X/b 가 증가하면서 최고치는 감소하여 $X/b = 10$ 에서는 0.02 정도를 나타냈다. 그러나 Reynolds 수가 증가하면서 난류강도는 증가하여, Fig. 13에서 보면 $Re = 30,000$ 인 경우 $X/b = 1.0$ 에서 쌍봉 현상을 나타내고 $X/b = 2.5$ 에서 최대값을 나타낸다. 이와 같은 현상은 $Re = 50,000$ 에서도 유사한 결과를 나타내고 있다.

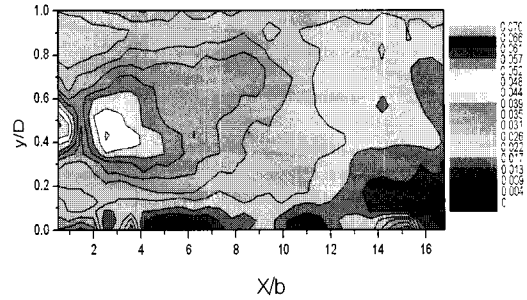


Fig. 9 Contour of axial turbulence intensity distributions behind the square cylinder for $Re = 10,000$.

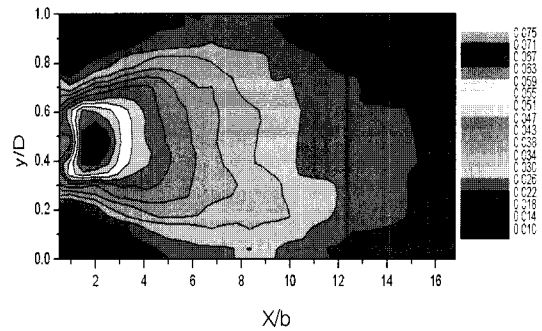


Fig. 10 Contour of axial turbulence intensity distributions behind the square cylinder for $Re = 30,000$.

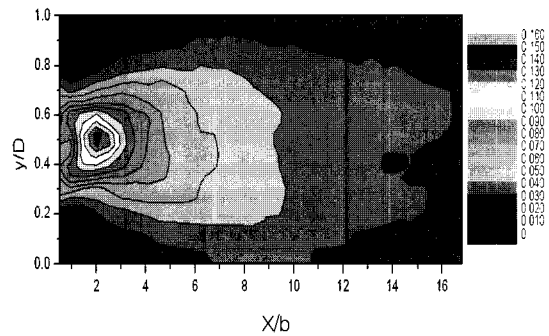


Fig. 11 Contour of axial turbulence intensity distributions behind the square cylinder for $Re = 50,000$.

Fig. 15 ~ Fig. 17은 반경방향 난류강도의 등분포도를 나타낸 것이다. 축방향 난류강도와 달리 $X/b = 2.5 \sim 4.0, y/D = 0.35 \sim 0.6$ 부근에서 최대값을 나타내는 쌍봉 모양의 형상을 보

여주고 있다. 이 와 같은 현상은 $Re = 30,000$, $50,000$ 에서 유사한 현상을 나타내고 있다. 그러나 쌍봉의 강도는 Reynolds 수가 증가할수록 $X/b = 0.4$ 에서 $X/b = 0.2$ 로 이동하고, $X/b = 5.0$ 이후에서는 후류의 중심에서 최대값을 나타내고, 후류로 갈수록 점차 감소하고 있다. 등분포 난류강도로부터 Fig. 18 ~ Fig. 20은 국소 반경방향 난류강도를 구한 것이다. 난류강도의 등분포에서와 같이 관벽으로부터 $y/D = 0.3 \sim 0.6$ 에서 쌍봉 현상을 나타내고, $\sqrt{v'^2}/\bar{U} = 0.4 \sim 0.47$ 정도의 높은 값을 나타내고 있다. 그리고 후류의 중심부인 $y/D = 0.5$ 에서는 0.05 정도의 최소값을 나타내고 있다. 이와 같이 반경방향의 난류강도가 축방향의 난류강도보다 큰 값을 나타내는 결과는 조자희^[6]와 이만복^[14] 등의 결과와도 일치하고 있다.

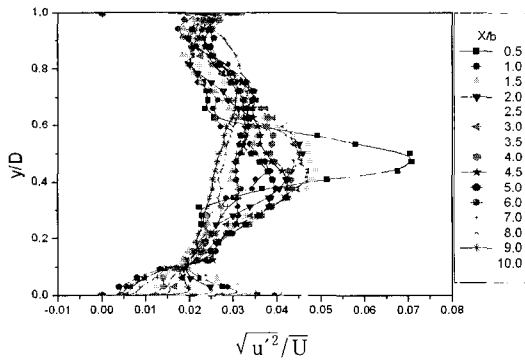


Fig. 12 Time mean local axial turbulence intensity profiles for $Re = 10,000$.

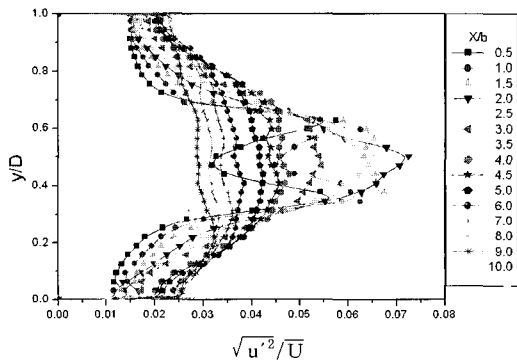


Fig. 13 Time mean local axial turbulence intensity profiles for $Re = 30,000$

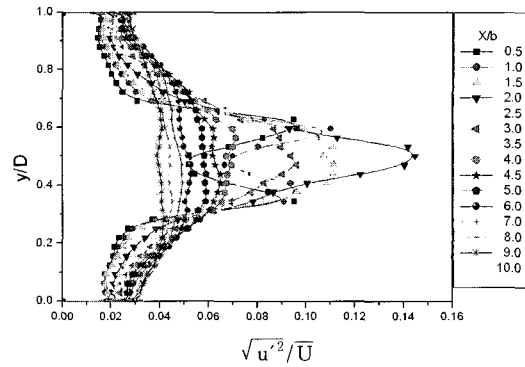


Fig. 14 Time mean local axial turbulence intensity profiles for $Re = 50,000$

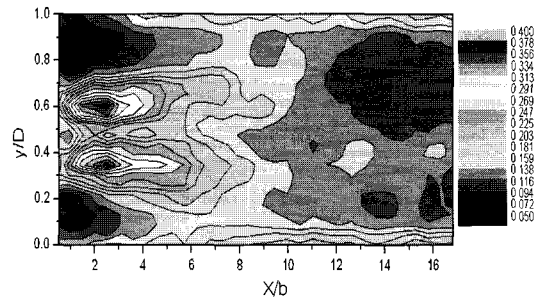


Fig. 15 Contour of radial turbulence intensity profiles for $Re = 10,000$

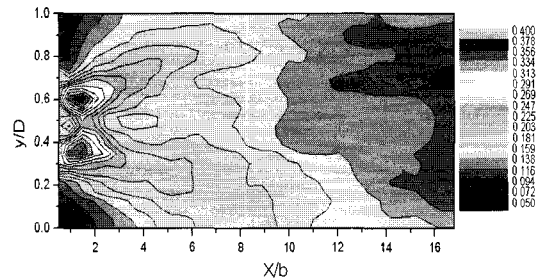


Fig. 16 Contour of radial turbulence intensity profiles for $Re = 30,000$

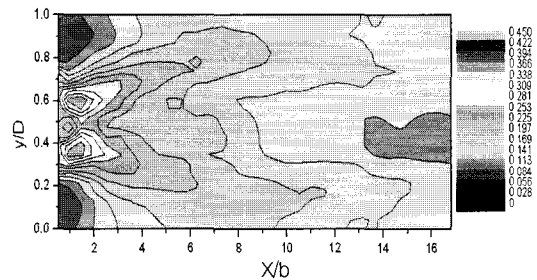


Fig. 17 Contour of radial turbulence intensity profiles for $Re = 50,000$

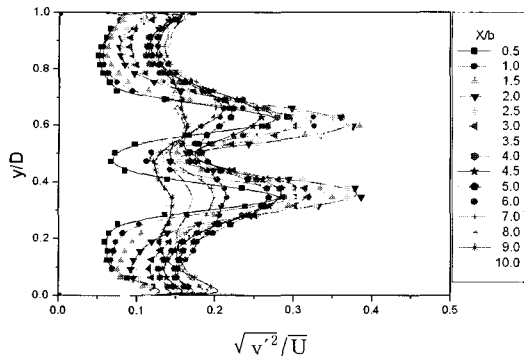


Fig. 18 Time mean local radial turbulence intensity Profiles for Re = 10,000

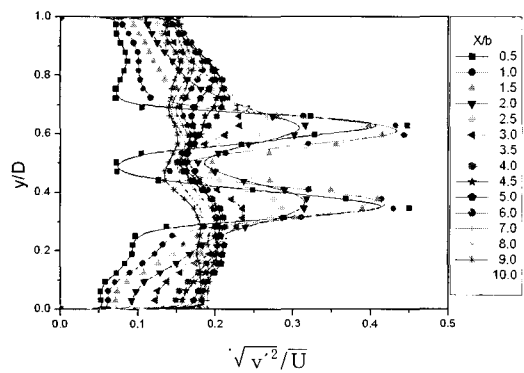


Fig. 19 Time mean local radial turbulence intensity profiles for Re = 30,000

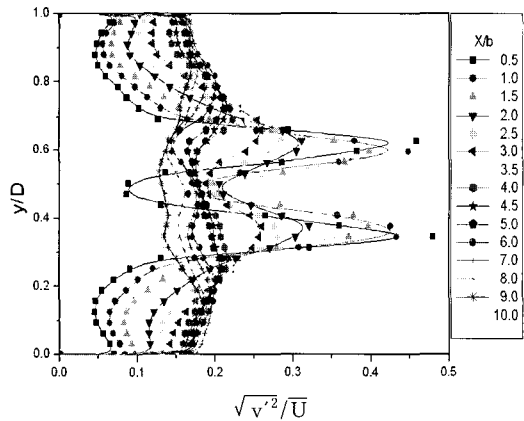


Fig. 20 Time mean local radial turbulence intensity profiles for Re = 50,000

3.4 운동에너지 분포

Fig. 21~Fig. 23은 Re = 10,000, 30,000 그리고 50,000 일때의 난류운동에너지의 등분포를 나타내고 있다. 난류운동에너지는 X/b = 4.0~5.0, y/D = 0.35~0.6에서 최대값을 나타내고, 전체적으로 주유동에 대한 축방향 난류강도 성분과 유사함을 알 수 있다.

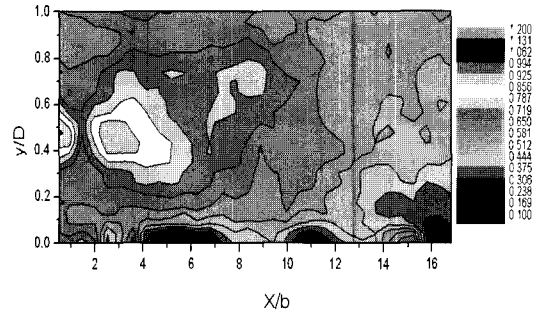


Fig. 21 Contour of kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 10,000

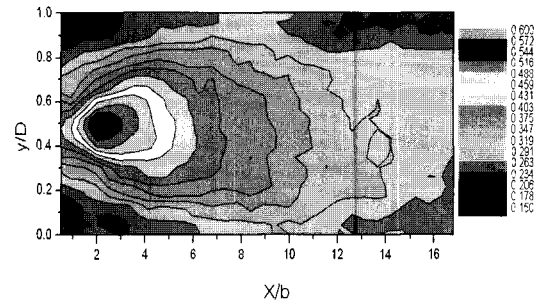


Fig. 22 Contour of kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 30,000

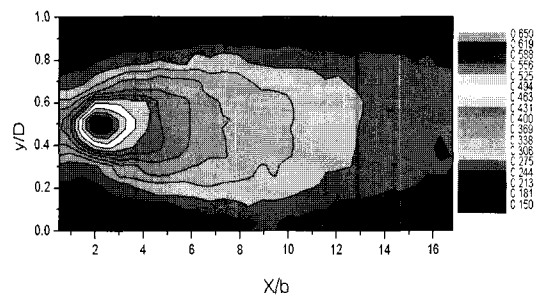


Fig. 23 Contour of kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 50,000

Fig. 24 ~ Fig. 26은 운동에너지의 등분포로부터 추출한 국소 난류운동 에너지분포이다. 이 에너지는 후류의 중심부에서 0.6 ~ 1.1 정도의 최대 값을 나타내었으나 후류로 가면서 감소하여 0.2~0.3정도의 최소값을 나타내고, y/D 를 따라 넓게 분포됨을 볼 수 있다.

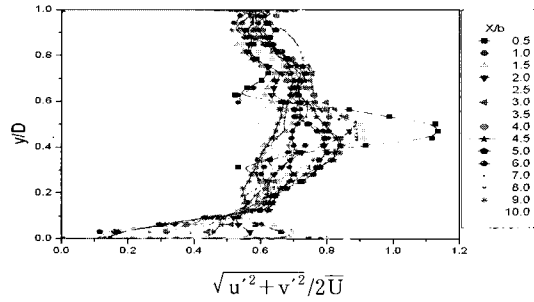


Fig. 24 Time mean local kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 10,000

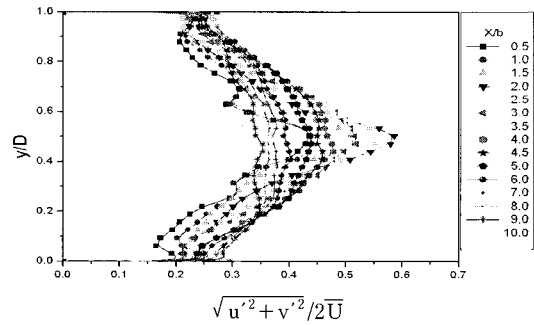


Fig. 25 Time mean local kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 30,000

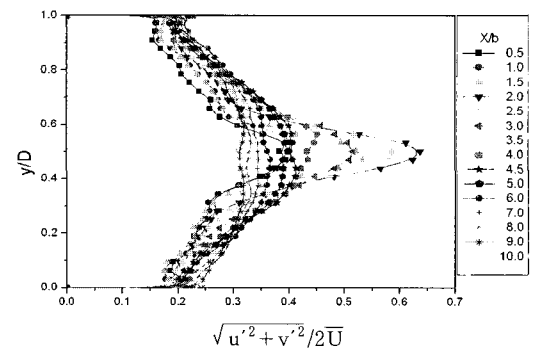


Fig. 26 Time mean local kinetic energy distributions behind the square cylinder for Re = 50,000

3.5 난류전단 응력

Fig. 27~Fig. 29는 Re = 10,000, 30,000 그리고 50,000 일 때 난류전단응력의 등분포도를 나타낸 것이다. 난류 전단응력 분포는 실린더후면의 벽근처에서 양성분간의 상호작용이 강하게 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 X/b = 4 ~ 10의 영역에서 양성분간의 운동량의 교환이 활발하게 일어나기 때문인 것으로 생각된다. X/b = 0.4 ~ 0.8 까지 최대값을 나타내고, 또한 쌍봉 현상을 보여주고 있다.

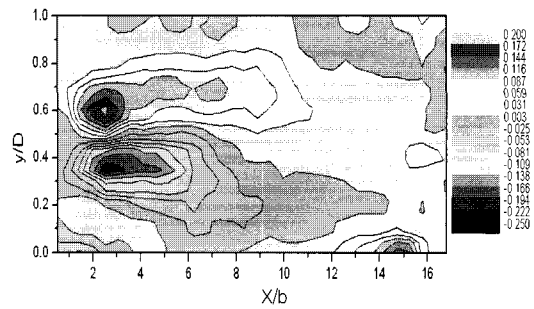


Fig. 27 Contour of Reynolds stress distributions behind the square cylinder for Re = 10,000

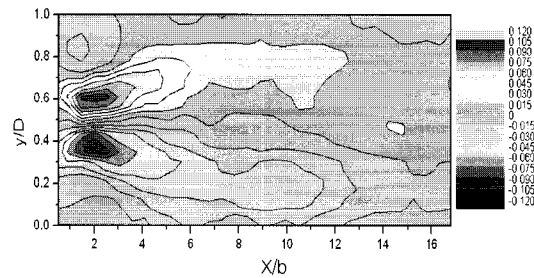


Fig. 28 Contour of Reynolds stress distributions behind the square cylinder for Re = 30,000

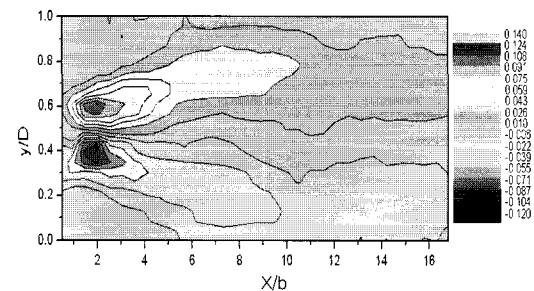


Fig. 29 Contour of Reynolds stress distributions behind the square cylinder for Re= 50,000

Fig. 30~Fig. 32는 $Re = 10,000, 30,000$ 그리고 $50,000$ 국소 난류전단응력을 나타내고 있다. 등분포도에서와 같이 이 쌍봉 현상은 $y/D = 0.4, y/D = 0.6$ 부근에서 $0.1 \sim 0.15$ 정도의 상반되는 최대값을 나타내나 $y/D = 0.5$ 에서 최소값을 나타내었다. 이 현상은 난류성분중 2방향 성분간의 상관관계에 의하여 발생하고, 와류축방향이 중심선을 기준으로 반대되기 때문인 것으로 생각되며, 이와 같은 현상은 Kiya 등^[20]에 의해서도 발표된 바 있다.

위의 난류강도, 운동에너지, 그리고 전단응력 등을 볼 때 재순환 영역까지는 그 구배가 심하고, 재순환 영역을 벗어나면 완만한 경향을 볼 수 있으며, 최대값도 재순환 영역 경계근처에 있음을 알 수 있다.

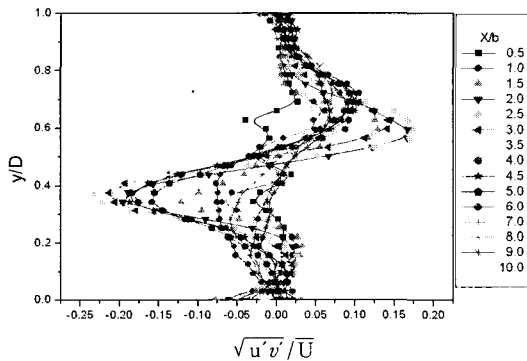


Fig. 30 Time mean local Reynolds stress distributins behind the square cylinder for $Re = 10,000$

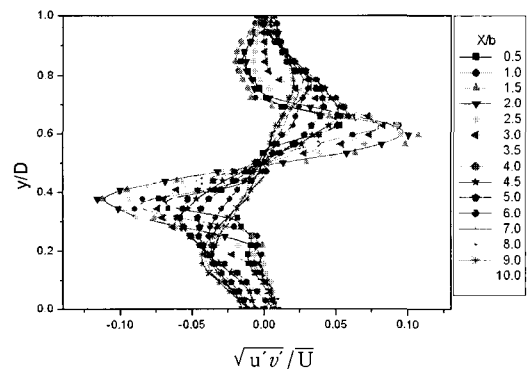


Fig. 31 Time mean local Reynolds stress distributins behind the square cylinder for $Re = 30,000$

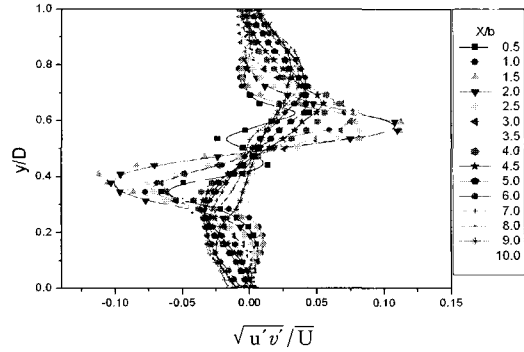


Fig. 32 Time mean local Reynolds stress distributins behind the square cylinder for $Re = 50,000$

4. 수치해석

4.1 격자 생성

해석을 위한 격자 생성은 STAR-CD의 전처리 프로그램(Pre-processor)인 PROSTAR를 이용하여 직접 생성하였다.

본 수치해석에 사용된 모델은 실험과 동일한 조건인 $\phi 90$ 인 관의 중심에 단면이 가로, 세로 15mm인 정사각관이 원형 관에 직각으로 존재하는 경우를 2차원적인 단면으로 묘사하였고, 관의 길이는 전체를 다 나타내지 않고, 사각관에 의한 후류의 영향이 나타나는 길이(사각관 폭의 15~20배)를 고려하여 300mm로 하였다.

격자 수는 가로×세로 각각 80×40 개이고, 후류의 영향이 나타나는 관의 중심부는 좀더 조밀하게 격자를 생성하였다.

4.2 경계조건 및 계산조건

내부 유체는 온도 21°C 의 물이며, 실험과 같이 $Re = 10000, 30000, 50000$ 에 해당하는 입구속도를 주었다. 해석을 위한 알고리즘은 SIMPLE 알고리즘을 사용하였고, 난류 모델은 $k-\epsilon$ 모델인 고 Reynolds 수를 사용하였다.

계산의 수렴을 위한 반복계산 횟수는 각 경우에 대하여 1000회로 하였으며, 유동함수 값의 최대오차가 10^{-2} 이하인 경우를 수렴한 것으로 하였다.

4.3 계산결과

Fig. 33~35는 Reynolds 수가 10,000, 30,000, 50,000인 경우 속도벡터로서 수치해석한 결과이다. 사각실린더의 위, 아래에서 빠른 유동이 발생하고, 정사각실린더 후면에서는 실린더의 상하면에서의 흐름방향으로 느린 유동이 발생한다.

Fig. 33은 $Re = 10,000$ 에서 속도벡터이고, 정사각실린더의 전면 양 모서리에서 강한 박리현상이 일어나고 있고, 후면으로부터는 재순환영역이 나타나고 있다. 이 박리현상과 재순환영역의 길이는 Reynolds 수가 증가할수록 강하고, 길게 나타났다. 이 재순환현상은 Fig. 5~Fig.7의 실험결과와 일치하였고, 사각실린더의 후면에서는 와류를 형성하면서 하류로 유동하고 있음을 나타내고 있다. 수치결과는 실험과 일치하고 있다. 관 끝($X/b = 20$)에서는 유동이 균일하게 유동하는 것을 볼 수 있다. Fig. 36~Fig. 38은 등속도분포를 나타낸 것으로 Reynolds 수가 증가할수록 역류영역이 길어지는 것을 볼 수 있다. Fig. 39~Fig. 41은 Fig. 36~Fig. 38의 속도벡터로부터 추출한 등속도를 나타낸 결과이다. 정사각실린더의 전면 모서리에서 박리가 발생하는 영역을 잘 보여 주고 있다.



Fig. 33 Velocity vector distributions for $Re = 10,000$.

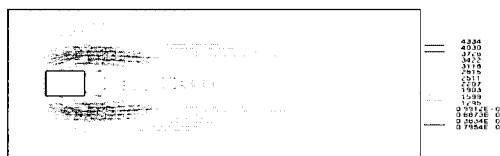


Fig. 34 Velocity vector distributions for $Re = 30,000$.

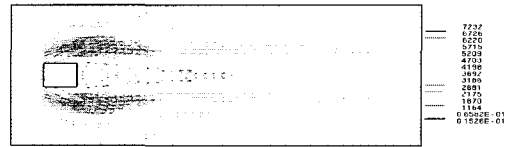


Fig. 35 Velocity vector distributions for $Re = 50,000$.

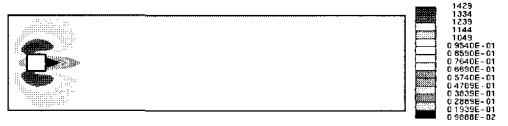


Fig. 36 Contour of Velocity Magnitude for $Re = 10,000$.

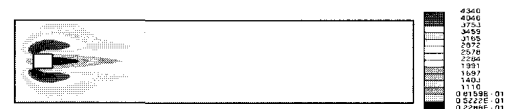


Fig. 37 Contour of Velocity Magnitude for $Re = 30,000$.

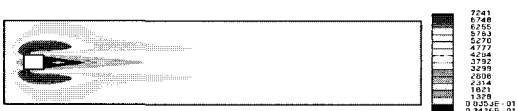


Fig. 38 Contour of Velocity Magnitude for $Re = 50,000$.

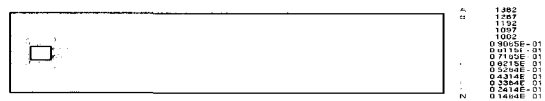


Fig. 39 Contour of Velocity Line for $Re = 10,000$.

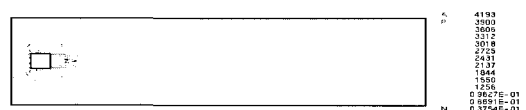


Fig. 40 Contour of Velocity Line for $Re = 30,000$.

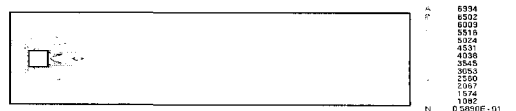


Fig. 41 Contour of Velocity Line for $Re = 50,000$.

5. 결 론

정사각 실린더 후류에서 PIV기법 및 수치해석 방법을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실린더 후류에서는 재순환 영역이 존재하였고, $Re = 30,000, 50,000$ 에서는 $X/d = 1.0$ 까지 축 방향 속도 (U/\bar{U})는 음(-)의 속도를 나타내었고, $Re = 10,000$ 인 경우는 $X/b = 1.3$ 으로 나타났다. 즉, $Re = 30,000, 50,000$ 에서는 Cantwell의 연구결과와 일치하나 $Re = 10,000$ 에서는 차이가 있었다.

2) 축방향 난류강도는 Reynolds 수에 관계없이 $X/b = 1 \sim 14$ 까지는 하나의 봉형태를 나타내었고, $Re = 50,000$ 에서 실린더 후류의 끝 부분인 $X/b = 14 \sim 16$ 사이에서 약한 쌍봉 형태를 나타내었다.

3) 반경방향 난류강도는 $X/b = 2.5 \sim 4.0$, $y/D = 0.35 \sim 0.6$ 근처에서 최대값을 보이고, 쌍봉형태를 나타내고, $X/b = 5.0$ 이후에는 중심선상에서 단일봉형태의 최대값을 나타내었다.

4) 난류운동에너지는 $X/b = 4.0 \sim 5.0$, $y/D = 0.35 \sim 0.6$ 에서 최대값을 보이나, X/b 가 증가하면서, 후류의 중심선상에서 $0.6 \sim 1.1$ 정도의 최대 값을 나타내었다.

5) 난류전단응력은 후류의 중심선상에서 최소 값을 나타내고, $y/D = 0.4$, $y/D = 0.6$ 부근에서 $0.1 \sim 0.15$ 정도의 서로 상반되는 최대값을 나타내었다.

6) 수치해석 결과는 정사각형 실린더의 앞 모서리에서 유동의 박리가 강하게 일어나고, 실린더의 뒷면에는 유동의 역류현상이 발생하고, Reynolds 수가 증가할수록 역류 영역이 길어짐을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 경남대학교 2003 학년도 학술논문
게재 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] M. Coutanceau and R. Bouard, "Experimental Determination of the Main Features of the Viscous Flow in the Wake of a Circular Cylinder in Uniform Translation", Fluid mechanics, Vol. 79, No.2, pp. 231~259, 1969.
- [2] F. K. Owen, D. A. Johnson, "Measurements of Unsteady Vortex Flow Fields", AIAA, Vol. 18, pp. 1173~1179, 1980.
- [3] B. J. Cantwell, "A Flying Hot Wire Study of the Turbulent Near Wall of Circular Cylinder at a Reynolds Number of 140,000", California Institute of Technology, 1975.
- [4] Coles, D., "Prospects of useful research on coherent structure in turbulent shear flow", Proc. Indian Acad. Sci. (Engineering Sci.) 4: pp. 111~127, 1983.
- [5] 부정숙, 원주후류의 2차원 난류구조, 경북대학교 박사학위논문, 1985.
- [6] 조자희, 정사각 실린더 후류의 난류유동 특성 연구, 10월 충남대학교 석사학위 논문, 1990.
- [7] 김경천, 정양범, "열성층유동장에 놓인 원주 후류의 특성에 대한 연구(4)", 대한기계학회 논문집 제19권 제5호, pp. 1340~1350, 1995.
- [8] 최재호, 이상준, "외부 음향기가 원주 후류 유동에 미치는 효과에 관한 연구", 대한기계학회논문집 B권, 제23권 제5호, pp. 603~609, 1999.
- [9] 윤순현, 심재경, 우창수, 이대희, "사각주 후류가 선형터빈익렬의 유동 및 열전달에 미치는 영향에 관한 연구", 대한기계학회논문집 B권 제23권 제7호, pp. 864~870, 1999.

- [10] 이 현, Multivision PIV에 의한 단순물체 후류에서의 유동특성에 관한 연구, 2월, 한국해양대학교 석사학위논문, 2001.
- [11] Daichin, Sang Joon Lee, "Flow Field Analysis of Wake behind an Elliptic Cylinder Close to a Free Surface", Proceeding of the 6th Asian Symposium on Visualization, pp.216 ~ 218, 2001.
- [12] D. S. Jang, Y. W. Lee, D. H. Doh, C. S. Kang, and T. Kobayashi, "Large Eddy of Flow around a Bluff Body of Vehicle shape", Proceeding of the 6th Asian Symposium on Visualization, pp. 335~340, 2001.
- [13] 이만복, PIV 기법을 이용한 정사각 실린더의 근접 후류에 관한 연구, 2001, 부산대학교 석사학위논문, 2001.
- [14] 이만복, 김경천, "PIV기법을 이용한 정사각 실린더의 근접후류에 관한 연구 (I, II, III)", 대한기계학회 논문집 B권, 제25권 제10호, pp. 1408~1416, 2001.
- [15] D. H. Doh, "Probind 3-D Structures of the Wake Near a Circular Cylinder", Proceeding of the 6th Asian Symposium on Visualization, pp.335~340, 2001.
- [16] Rosko, A., "Experimentals on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number", J. of Fluid Mech. 10, pp. 345~356, 1961.
- [17] T. Mizota, A. Okajima, "A Experimental Studies of Mean Flow around Rectangular Prisms", Japan, Soc. Civ. Engrs 312, pp. 39~47, 1981.
- [18] A. Okajima, "Strouhal Numbers of Rectangular Cylinders", Kyushu Univ. pp. 379~398, 1982.
- [19] Y. T. Chew, "Numerical Flow Visualization of Flow Over A Square Cylinder at Incidence", Proceeding of the 6th Asian Symposium on Visualization, pp. 70~72, 2001.
- [20] M. Kiya, M. Matsumura, "Turbulent Structure in Intermediate Wake of a Circular Cylinder", JSME, pp. 51~463, 1985.

저 자 소 개



장태현 (張泰鉉)

1942년 2월생. 1969년 동아대학교 기계공학과 졸업. 1971년 동대학대학원 기계과 졸업(공학석사). 1991년 12월 University of Wales(Swansea, U.K.) 대학원 기계공학과 졸업(Ph.D), 2001년 5월 제6차 ASV(Asian Symposium on Visualization) 조직위원장 역임, 공조·냉동기계 기술사, 현재 경남대학교 기계자동화공학부 교수



이증봉 (李鍾鵬)

1952년 3월생. 1977년 영남대학교 기계공학과졸업. 1979년 경북대학교 대학원 기계공학과졸업(공학석사). 1992년 九州大學(日本) 大學院 總合理工學研究科(工學博士). 현재 경남대학교 기계자동화공학부 교수.