

2차원 다양한 형상에서의 Vortex에 대한 수치해석

Numerical Analysis of Vortex in the various shapes of 2-dimension

기준우^{1*}, 구분찬¹, 정민영¹, 김상식¹, 이도형¹
 한양대학교¹

초 록

이차원 단면 Cylinder는 외부유동상태에서 후류에 Vortex를 생성한다. 또한 비정상 유동 상태에서는 후류에 카르만 Vortex열을 생성한다. 이런 이차원 Cylinder는 여러 분야에서 사용 된다. 이때 적절한 설계를 위해 수치적으로 유동을 해석할 필요가 있다. 이에 대한 수치적 해석 값을 얻기 위해 Edison CFD를 이용하여 여러 2차원 형상 Cylinder의 Reynolds number에 따른 Vortex shedding을 해석했다. Edison CFD를 통한 시물레이션 결과 값에 대한 검증을 얻기 위해 원형, 사각형의 Vortex shedding과 유동을 타 논문과 비교 검증했다. 형상마다 같은 조건의 Reynolds number라도 후류와 유동 등의 형상이 차이를 보인다. 상황마다 적절한 모형의 Cylinder를 Edison CFD를 통해 예측 할 수 있다.

Key Words : 이차원 실린더(2-dimensional Cylinder), 후류(Wake), 와류(Vortex), 에디슨 CFD(Edison CFD)

1. 서 론

유체의 흐름에 따른 Vortex, Eddy는 유체·기계공학 분야에서 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 여러 분야들 중 항공과 건축 등 여러 분야에서 다양한 이차원 형상의 Cylinder가 사용되고 있다. 원형실린더의 경우 낮은 Reynolds number에서는 위아래가 대칭인 정상상태의 유동이나 높은 Reynolds number에서는 대칭이 사라지고 커다란 두 개의 Eddy가 나타나게 된다. 이렇게 발생한 Vortex를 Karman Vortex 라고 한다. 이런 후류의 형상들은 공기 역학적 제어 및 설계에 있어서 절대적으로 중요하다. 이러한 형상에 대한 연구를 위해 Edison CFD를 통해 시물레이션을 수행, 수치적 해석을 하였다. 현재까지 비압축성이며 점성, 층류, 난류의 경우 원형 단면, 익형 Cylinder는 여러 Reynolds number범위에서 실험, 이론 연구가 실행되었으나 다른 형상들의 경우 여러 Reynolds number 에 대한 이론 연구가 미비하다. M. M. Rahman²⁾은 Reynolds number 100, 1000, 3900에서의 비압축성 원형단면 Cylinder의 후류를 유체역학적으로 연구하였다²⁾. 임영택⁵⁾은 타원형 단면의 형상을 연구 하였다⁵⁾. K. Lam³⁾은 사각, 직사각형의 이차원 Cylinder의 Reynolds number 100, 500, 5000에서의 후류 패턴에 대한 연구를 하였다³⁾.

이 연구들에 대한 Edison CFD의 결과 값을 검증하기 위해 같은 조건의 Reynolds number 에서 시물레이션을 수행하였다. 검증 후 다른 조건의 상황에서 모델로 하기위해 Reynolds number를 여러 조건으로 바꾸어가며 시물레이션을 수행 하였다. 형상은 원형 Cylinder, 사각 Cylinder 로 하고 이 조건들에 대한 유동 분석을 하기 위해 Edison CFD를 이용해서 수치적 값을 얻었다. 검증을 다각화 하기위해 원형은 압력분포를 비교하였고 사각형 단면은 와도분포를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 수치적 해석 방법

2.1.1 지배 방정식

나비에-스토크스 방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j}$$

모멘텀 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = f - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta u$$

2.1.2 Edison CFD

웹 베이스 기반의 교육용 프로그램인 Edison CFD를 통해 이차원 형상의 Vortex shedding과 유동을 관찰할 수 있다.

2.1.3 계산영역과 경계 조건

경계 조건이 2차원 Cylinder는 viscous and adiabatic wall의 조건, 외부 유동장은 inlet/outlet의 조건으로 수행하였다. 계산 영역은 보고자하는 후류를 모두 볼 수 있는 만큼의 원형 실린더 반경의 20배의 영역으로 설정하였다.

2.2 수치해석 검증

2.2.1 검증 및 비교

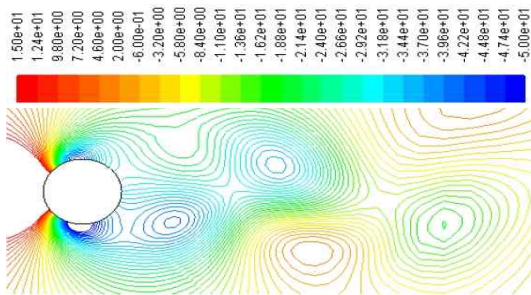


Fig. 1 Re = 100에서의 압력 분포²⁾

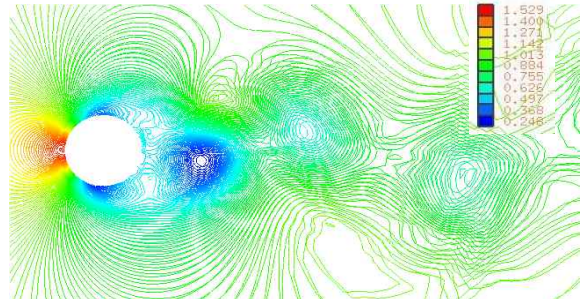


Fig. 2 Re = 100에서의 압력분포(실험결과)

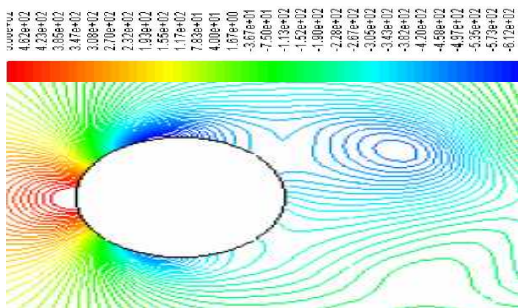


Fig. 3 Re = 1000에서의 압력 분포²⁾

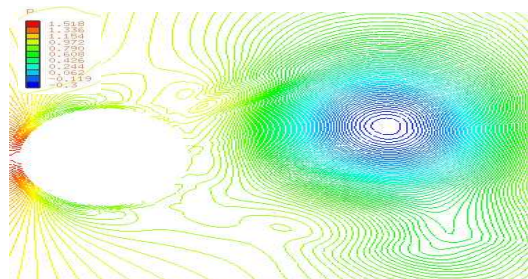


Fig. 4 Re = 1000에서의 압력 분포(실험결과)

Fig.1과 Fig.2은 같은 $Re = 100$ 에서의 층류 유동장이다. 두 그림 모두 압력분포에 대한 그림이다. 그림에서 보듯이 두 형상이 일정부분 일치함을 확인 할 수 있었다. 그러나 표 값에서는 10배 오차가 나타났다.

Fig.3과 Fig.4 은 같은 $Re=1000$ 에서의 층류 유동장이다. 두 그림 모두 압력분포에 대한 그림이다. 두 형상을 비교하면 Vortex shedding의 형태가 일치함을 볼 수 있다. 그러나 $Re=100$ 에서와 마찬가지로 표 값에서는 최대/ 최저값이 300배의 오차가 나타났다.

Fig. 5과 Fig. 6은 $Re=100$ 에서의 사각 단면 주위의 층류 유동장이다. 두 값 모두 와도에 대한 분포이다. 두 형상이 일정부분 일치함을 확인 할 수 있었다. 표 값에서는 최대/최저값의 25%의 오차가 나타났다. 그러나 이 오차는 원형 단면의 오차보다는 적었다.

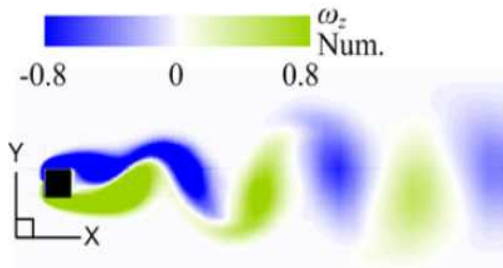


Fig. 5. $Re = 100$ 에서의 와도 분포³⁾

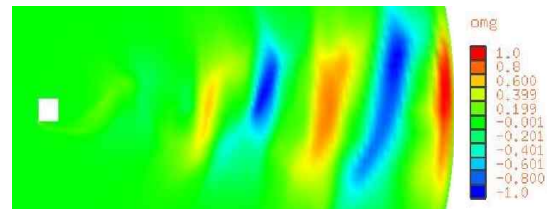


Fig. 6. $Re = 100$ 에서의 와도분포(실험결과)

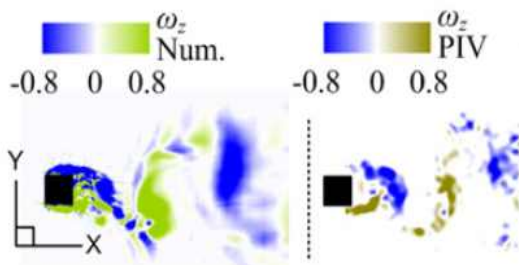


Fig. 7.. $Re = 500$ 에서의 와도 분포³⁾

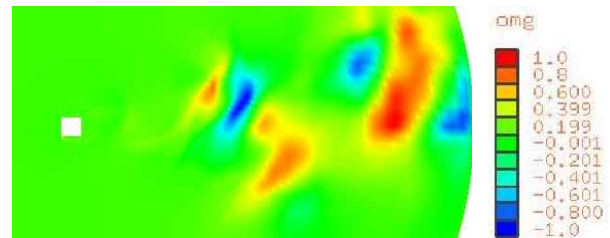


Fig. 8. $Re = 500$ 에서의 와도분포(실험결과)

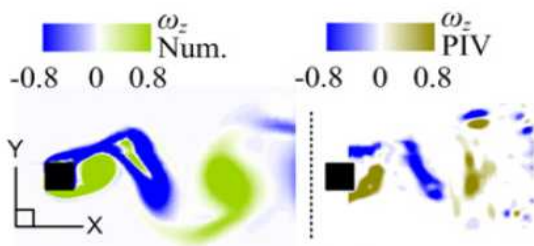


Fig. 9. Re number 5000에서의 와도 분포³⁾

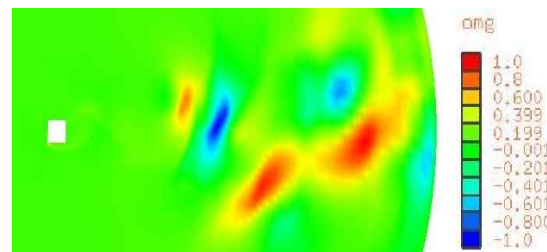


Fig. 10. Re number 5000에서의 와도 분포(실험결과)

Fig. 7 과 Fig. 8 은 $Re = 500$ 에서의 사각 단면 주위의 층류 유동장이다. 둘 다 와도에 대한 그림이다. 두 형상에서 Vortex shedding이 일정부분 일치함을 확인 할 수 있었다. 표 값에서는 최대/최저값의 25%

의 오차가 나타났다. 그러나 이 오차는 원형 단면의 오차보다는 적었다.

Fig. 9 과 Fig. 10 은 $Re = 5000$ 에서의 사각 단면 주위의 층류 유동장이다. 두 그림 모두 와도분포에 대한 그림이다. 두 형상에서 Vortex shedding이 일정부분 일치함을 확인 할 수 있었다. 표 값에서는 최대/최저값의 25%의 오차가 나타났다. 그러나 이 오차는 원형 단면의 오차보다는 적었다.

3. 결론

Edison CFD를 통해 이차원 단면형상의 Cylinder 주위의 유동에 대한 수치적 해석을 형상적으로 검증할 수 있었다. 형상에서는 각 형상에서 후류 Vortex shedding의 형태가 일정 부분 일치했다. 원형 단면에서는 후류에서의 Vortex shedding을 비정상 상태에 따라 확인 할 수 있었다. 사각형 단면에서도 Re number마다 형상의 정확도가 차이를 보였지만 일정 부분 일치하였다. 그러나 표 값에서는 오차를 보였다. 원형에서는 상당히 큰 오차가 발생 하였다. 이는 형상의 일치함과는 상이한 결과였고 사각형의 경우에서도 오차가 발생 하였으나, 원형의 오차보다는 적은 것을 확인 할 수 있었다. 원형 Cylinder의 경우 10~300배의 오차가 발생 하였지만 사각형 단면의 경우 20%내의 오차가 발생 했다. 각 형상의 오차의 이유로는 Edison CFD에서의 여러 값들을 무차원으로 계산함에 있어 그로 인한 오차가 발생할 수 있으며 비교 논문과의 시간 값이 달라서 오차가 발생한 것 같다. 본 결과에서 각 형상들의 경우 비정상 상태에서 시간의 경과에 따라 Vortex가 발산하는 것을 형상적으로 확인 할 수 있었다.

후 기

처음 전산유체역학 프로그램을 사용하기에 어려움이 따랐고 주제에 맞는 비교할 논문을 찾는 데에 많은 시간이 걸렸다. 논문을 찾으면서 이 주제에 대해서 뿐만이 아니라 유체역학에 대한 전반적인 것들을 알아보고 경험해 볼 수 있는 계기가 되었다. 주제를 선정함에 있어서도 쉽지 않았다. 경진대회이고 남들이 하지 않으면서 의미 있는 것을 쓰려고 했고, 그 결과 본 논문을 작성 하게 되었다. 처음 쓰는 것이기에 결과 값을 얻기 위해서는 여러 번 같은 결과에 대해 고찰해야했다. 그럼에도 목표한 결과와는 오차가 큰 결과 값이 나와서 오차에 대한 연구가 더 필요하다. 아직 상용화되지 않은 본 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과를 타 논문과의 비교검증을 통해 본 프로그램과 유체역학에 대한 더 깊은 이해를 할 수 있는 기회였다.

참고문헌

- 1) Xing Zhang and Blair Perot, 2000, "Turbulent Vortex shedding from triangle Cylinder using the turbulent body force potential model"
- 2) Md. Mahbubar Rahman, Md. Mashud Karim and Md. Abdul Alim, 2007 "NUMERICAL INVESTIGATION OF UNSTEADY FLOW PAST A Cylinder USING 2-D FINITE VOLUME METHOD"
- 3) K. Lam, Y.F.Lin, L.Zou, Y.Liu, 2011, "Numerical study of flow patterns and force characteristics for square and Cylinders with wavy surfaces"
- 4) 정영중, 조상현, 강신형, 최해천, 1997, "층류유동에서의 사각실린더 주위의 Vortex shedding과 공진현상에 관한 수치적 연구"
- 5) 임영택, 박영빈, 김문상, 2005, "타원형 실린더 주위의 비정상 유동 해석"