파형 표면을 갖는 원형실린더의 공력특성

Aerodynamics Characteristics of Circular Cylinders with Riffled Surface

김용주[1]*, 원창희[1], 이승수[1]
충북대학교 토목공학부[1]

초 록

임의의 물체가 유체 내에서 운동하거나 정지해 있을 때 유체에 의해서 운동에 방해가 되는 힘을 형상저항이라고 한다. 형상저항은 레이놀즈수에 의한 경계층의 흐름형태에 따라 변화하며, 경계층의 흐름형태는 레이놀즈수가 10^5보다 작은 경우 층류로, 그 이상의 경우 난류로 나타난다. 본 연구에서는 유체 내에 물체가 정지해 있을 경우 조도에 따른 형상저항의 변화를 알아보기 위해 각기 다른 조도를 가진 실린더를 모델링해 EDISON_CFD을 이용하여 전산 해석을 하였다. 실린더의 표면에 파장의 주기와 진폭, 층류와 난류 영역에서의 항력계수의 변화에 대해 검토하였다.

Key Words : 원형실린더 (Circular Cylinder), 파형표면 (Riffled Surface), 공력특성 (Aerodynamics Characteristics), 레이놀즈수 (Re, Reynold's Number), 항력계수 (C_d, Drag Coefficient)

1. 서 론

뭉툭한 물체 주위의 유동은 유체역학적인 관점과 더불어 산업현장의 응용성에 기인하여 다양한 연구들이 진행되어왔으며 열교환기, 해양 구조물 및 선박 등의 여러 가지 공학 문제와 관련되어 있다. 이러한 뭉툭한 물체 주위에서 형성되는 항력과 양력을 제어하고 열전달 성능을 향상시키기 위한 다양한 방법들이 연구되었다. 이러한 연구 중 한 가지 방법은 2차원 형상의 뭉툭한 물체를 3차원 형상화 하는 것이다. 원형실린더의 경우, 최근 들어 실린더 직경이 축 방향으로 주기적으로 변하는 파형실린더에 대한 연구가 실시되고 있다. Ahmed and Bays-Muchmor(1992)는 레이놀즈수 2,000에서 파형실린더의 파장에 따른 실린더 표면의 압력분포를 실험적으로 연구하였다. 그들은 Node에서 항력이 saddle에서의 항력보다 크며, 축 방향의 압력구배가 3차원 유동박리를 유발시킴을 발견했다. 여기서, saddle과 Node는 파형실린더에서 최소 지름과 최대 지름을 갖는 축 방향의 위치를 각각 의미한다. Lam et al.(2004a)은 실린더의 파형이 항력과 양력의 감소에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. Re=2,000~50,000에서 파형실린더의 항력 및 양력계수가 원형실린더보다 작으며, 최대 20%의 항력이 감소하는 것을 발견하였다. Lam et al.(2004b)은 Re=3,000~9,000에서 파형실린더의 평균 형성 영역길이는 원형실린더보다 길며 이것이 항력과 양력을 감소하게 하고 파형실린더 주위 saddle에서 Node로의 축 방향 유동이 형성되는 것을 발견하였다. Lee and Nguyen(2007)은 Re=5,000~20,000에서 항력, 파형실린더 후류의 평균속도와 난류강도분포에 대하여 실험적으로 연구하였으며, 그 결과 원형실린더에 비하여 항력이 감소하고 축 방향을 따라 주기적인 후류 구조가 생성되는 것을 확인하였다.(1) 본 연구에서는 EDISON_CFD을 사용하여 $Re=10^2$, 10^5에서 파형 실린더 주위의 항력분포에 대하여 해석하였다. 축 방향을 따라 형성된 3차원 파형이 항력분포에 미치는 영향을 알아보기 위하여 파형실린더와 원형실린더의 항력계수 값을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 해석방법

본 논문에서는 전산 유체 해석 프로그램인 EDISON_CFD를 이용하여 원형 실린더의 표면에 파장을 주어 형상저항을 해석하였다. 전체 유동장은 레이놀즈수에 따라 층류와 난류 영역에서 비압축성 정상유동으로 가정하였다.

2.2 실린더 모델링 및 경계조건

Table 1 진폭이 0.02일 때 실린더

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
지름	1	1	1	1	1	1	1	1
진폭	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
주기	-	16	20	24	28	32	36	40

Table 2 진폭이 0.01일 때 실린더

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
지름	1	1	1	1	1	1	1	1
진폭	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
주기	-	16	20	24	28	32	36	40

Table 1과 Table 2의 조건을 이용하여 지름이 1인 원형 실린더를 생성하고 각 조건에 맞게 나머지 실린더들을 모델링하였다. Fig. 1과 같이 각 실린더에 원형과 24주기, 28주기, 32주기, 36주기. 40주기의 Cos파가 반복적으로 나타나는 형상을 볼 수 있다. 파형을 가진 실린더는 지름 1인 원을 기준으로 진폭 0.01, 0.02의 Cos파가 반복적으로 나타나는 형상이며 Fig. 2에서 확인할 수 있다. Case1을 제외한 나머지 실린더들의 경우 다음의 식 (1),(2)를 통해 각 실린더의 x좌표와 y좌표를 구하여 Fig. 3과 같이 격자 모델링을 하였다.

$$x = (0.5 + A\cos 2Tn\pi)\cos 2n\pi \quad (1)$$

$$y = (0.5 + A\cos 2Tn\pi)\sin 2n\pi \quad (2)$$

여기서 A는 진폭, n은 독립변수, T는 주기이다.

실린더 표면의 경계조건으로 Fig. 3과 같이 점착조건(EDISON_CFD의 Viscous Adiabatic Wall 조건)으로 설정하였고, 해석 영역 원을 원방경계조건 Far-Field BC로 설정하고, 원과 실린더 사이에 O-Type의 격자를 생성하기 위한 원과 실린더를 연결하는 branch cut에 주기경계조건(Periodic BC)로 설정하였다.

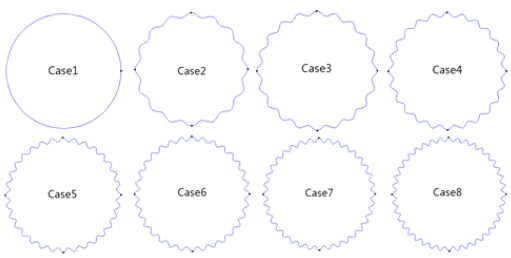

Fig. 1 주기별 실린더 모양

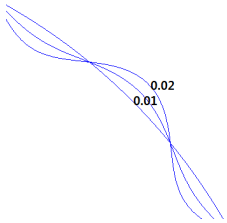

Fig. 2 진폭

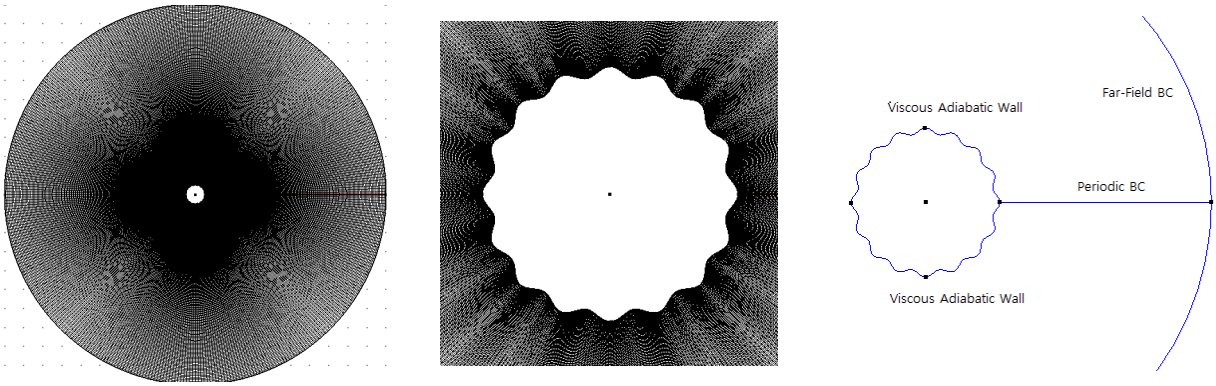

Fig. 3 2차원 격자 및 경계조건

2.3 결과 및 분석

Table 3, 4는 진폭과 주기의 변화에 따른 층류와 난류 영역에서의 항력계수를 나타낸 것이다. 각각의 case별로 진폭의 변화에 관계없이 층류영역에서의 항력계수보다 난류영역에서의 항력계수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4의 층류영역에서는 원형실린더보다 표면 주기가 증가할수록 항력계수가 점점 증가하였고, Fig. 5의 난류영역에서는 원형실린더보다 파형 실린더가 전체적으로 작은 항력계수를 가지지만 표면 주기가 증가할수록 일부구간에서만 감소하는 경향을 보이고 대부분의 항력계수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 레이놀즈수=10^5에서의 Streamline을 나타낸 것이다. 매끈한 표면의 원형실린더의 경우 실린더의 전면부에서 유동 박리 현상이 발생하여 후면에 큰 와류가 형성되지만, 조도를 준 실린더의 경우 난류 경계층이 형성되어 실린더 후면에서 유동 박리 현상이 발생하여 상대적으로 작은 와류가 형성된다. 하지만 EDISON_CFD를 이용하여 파형 실린더를 모델링하는 과정에서 점과 점을 직선으로 연결하게 되어 매끈한 곡선으로 모델링 된 것이 아니라 약간 각이 진 형상으로 인해 난류 경계층이 제대로 형성되지 않아 해석결과와 이론과의 약간의 오차가 생긴 것으로 판단된다.

Table 3 진폭 0.01일 때 실린더의 항력계수

Re	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
10^2	1.07	1.11	1.11	1.14	1.15	1.17	1.19	1.22
10^5	1.18	0.82	0.92	1.00	0.99	1.06	1.03	1.11

Table 4 진폭 0.02일 때 실린더의 항력계수

Re	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8
10^2	1.07	1.12	1.14	1.21	1.26	1.30	1.36	1.43
10^5	1.18	0.92	0.92	0.99	1.05	1.12	1.18	1.24

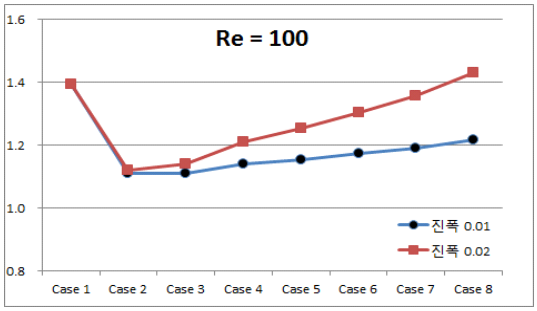

Fig. 4 Re = 100에서의 항력계수

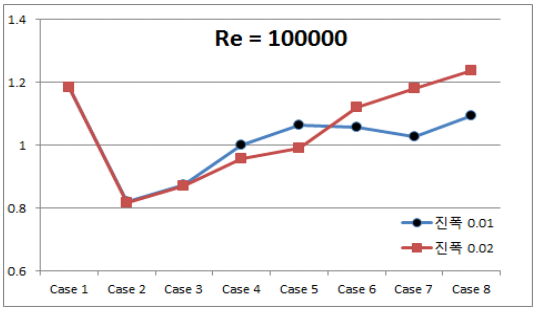

Fig. 5 Re = 100000에서의 항력계수

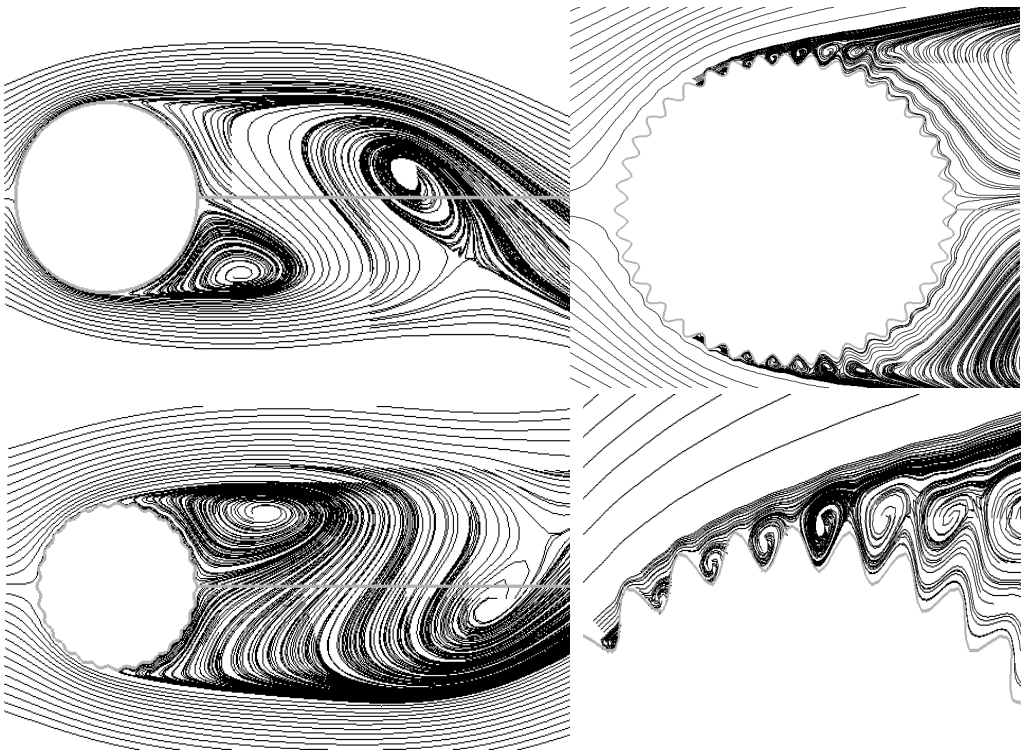

Fig. 6 Re = 10^5에서의 Streamline

3. 결 론

본 논문에서는 2차원 물체의 형상과 레이놀즈수-항력계수 간의 공력특성에 대한 이론을 전산 해석을 통해 직접 수치화 하여 조건에 따라 어떻게 변화하는지 비교하였다. 흐르는 유체 내에 정지해있는 파형 표면을 가진 실린더의 주기와 진폭 그리고 레이놀즈수를 서로 다르게 하여 EDISON_CFD를 사용해 전산 해석하였다. 두께가 일정한 상태에서 표면에 파장의 주기가 많아질수록 마찰저항은 커지고 형상저항은 작아진다. 레이놀즈수가 10^2인 층류 영역에서 항력계수는 마찰저항이 지배하기 때문에 원형 실린더에 비해 표면에 Cos파를 준 Case 2~8이 큰 값을 갖는다. 실린더의 단면에 파장이 생겨 형상저항이 작아지더라도 전단응력으로부터 유발된 마찰저항이 더 크기 때문에 항력계수가 커진다. 레이놀즈수가 10^5인 난류 영역에서는 표면의 주기가 증가할수록 항력계수가 점점 작아져야하지만 원형 실린더보다 크게 나온 Case도 있는 것을 확인 할 수 있다. 이론적으로는 압력으로부터 야기된 형상저항에 지배를 받기 때

문에 실린더 표면에 파장의 주기가 많아질수록 마찰저항은 커지지만 형상저항이 작아지므로 항력계수가 작아져야하지만 현재 EDISON_CFD에서 Geometry File을 불러올 경우 점과 점을 직선으로 연결해 매끈한 곡선으로 모델링하는데 한계가 있어 이론적 해석결과와 약간의 오차가 생긴 것으로 사료된다. 유체에 영향을 많이 받는 구조물의 경우 구조물 주변 유체의 흐름 양상을 파악해 구조물의 형상에 변화를 주어 구조물이 받는 항력을 감소시킬 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업(과제 No. 2011-0020564) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

(1) Seung-Han Sun, jong-Yeon Hwang and Kyung-Soo Yang, 2001, "Drag Reduction on n Circular Cylinder using a Detached Splitter Plate", *Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. B, vol. 25, No. 11

(2) Sang Ho Lee, 2010, "Investigation of the Vortex Shedding with the Spring Mounted Circular Cylinder", *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 10, No. 11

(3) M.K Lee and J.S. Kim, 2011, "Numerical Analysis of the flow around a rotary oscillating circular Cylinder using unsterdy two dimensional navier-stokes equation", *Korean Society for Computational Fluids Engineering*, vol. 16, No. 3

(4) Hyung-O Kwon, Kyung-Hwan Cho, Moon-Kyum Kim, Yun-Mook Lim, 2005, “Nonlinear Liquid Sloshing Analysis in a Cylindrical Container by Arbitrary Lagrangian-Eulerian Approach”, *Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 9, No. 2