

변장비 변화가 타원형 실린더에 작용하는 유체력에 대한 영향 연구

A numerical study of the effect of the aspect ratio of elliptic cylinder on the aerodynamic force

임준우^{1*}, 임상묵¹, 김완섭¹, 김현우¹, 이승수¹
충북대학교 토목공학부¹

초 록

변장비의 변화에 따른 타원형 실린더 주위의 유동장을 해석하기 위하여 Navier-Stokes 방정식을 사용한 EDISON 열유체 툴로 분석하였다. 본 논문은 기존의 연구와 비교·분석하는데 목적을 두었으며, 기존의 연구결과와 비교·분석하기 위하여 계산 영역을 동일하게 설정하였다. 타원형 실린더의 변장비를 0.5, 1, 2, 4로 변화시키고 레이놀즈수 200, 400, 1000인 조건하에 유동장을 해석하였다. 본 연구의 해석 결과를 통해 선행연구와 전체적인 경향이 같다는 것을 알 수 있었고, 또한 변장비와 레이놀즈수는 항력진폭과 양력진폭, 스트로할 수에 영향을 미침을 알 수 있었다.

Key Words : 변장비(thickness-to-chord), 타원형 실린더(elliptic cylinder), 항력(drag force), 양력(lift force,)

1. 서 론

유체가 장애물을 통과할 때에는 장애물 후면에서 일정한 크기와 진폭을 가지며 일정한 주기로 진동하는 유체의 흐름이 발생한다. 이를 와류(vortex)현상이라 일컫는다. 와류현상은 세탁기의 원리, 굴뚝, 의약품제조과정 등 주위에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 한편 와류현상에서의 양력과 항력의 발생은 구조물 등을 움직이거나 파괴할 만한 수준의 힘을 가지는데, 이는 자동차, 선박, 항공기 등 대형 구조물에서 그 쓰임이 매우 중요하다. 따라서 와류현상에서의 양력과 항력에 대한 고차원적 유동해석은 공학적 측면에서 검토가 필요하다.

2005년 임영택⁽¹⁾ 등은 레이놀즈수 영역($200 < Re < 1000$)에서 타원형 실린더의 변장비($0.6 < t/c < 1.2$)가 항력과 양력에 미치는 영향에 대하여 SIMPLER 방법을 사용한 이차원 비압축성 나비에-스톡스 유동 해석 프로그램을 사용하여 해석한 결과, 주기적인 와류의 발생으로 인한 항력과 양력의 진동수는 레이놀즈수가 커질수록, 타원형 실린더의 변장비가 커질수록 커지며, 실린더의 변장비가 작을수록 레이놀즈수의 증가에 따른 진동수의 증가율이 커진다는 결과를 얻었다.

이에 따라 본 논문에서는 EDISON 열유체 툴을 사용하여 레이놀즈수 200, 400, 1000인 조건에서 타원형실린더의 두께(t)를 1로 고정하고, 시위 길이(c)값을 0.25, 1, 2로 변화시킴에 따른 스트로할 수(St), 평균항력계수(\overline{Cd}), 항력계수(ΔCd) 및 양력계수(ΔCl)를 비교하여 유동장을 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 지배 방정식

본 논문에서의 수치해석은 Navier-Stokes 방정식을 지배 방정식으로 적용한 EDISON_열유체를 사용하였다. 식 (1)에 Navier-Stokes 방정식을 나타내었다.

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

$$t' = \frac{U_\infty t}{L}, \quad x'_i = \frac{x_i}{L}, \quad u'_i = \frac{u_i}{U_\infty}, \quad p' = \frac{p - p_\infty}{\rho U_\infty^2}, \quad \mu' = \frac{\mu}{\mu_\infty}, \quad Re = \frac{\rho_\infty U_\infty L}{\mu_\infty} \quad (2)$$

방정식의 모든 변수들은 특성 속도 U_∞ 와 특성 길이 L 을 이용하여 식 (2)와 같이 무차원화 된 방정식이 사용되었다.

2.2 계산 영역 및 경계조건

Fig. 1에서 보여주듯이 타원형 실린더 장반경 길이에 30배가 되도록 계산영역을 설정하였고, 실린더 표면은 점착 조건(viscous Adiabatic Wall), 유입·유출 조건은 Inflow or Outflow BC를 적용하였다.

원형실린더의 격자 개수를 10,000에서 35,000까지 다양하게 변화시켜 유동흐름을 분석한 결과, 가장 효율적인 격자 개수 20,020을 선정하였다. 이 격자 개수를 토대로 한 원형실린더의 유동흐름 분석결과를 table. 1에서 기존의 결과 값과 비교와 검증을 하였고, 또한 타원형 실린더의 유동흐름을 분석하는데 이 격자 개수를 사용하였다.

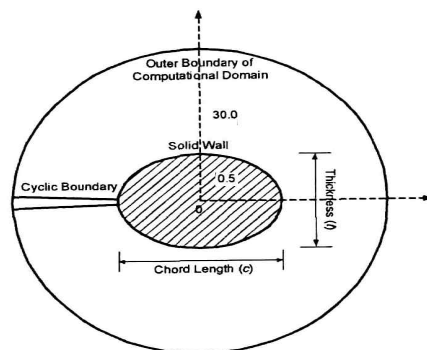


Fig. 1. 계산영역

Table. 1 선행연구와의 스트로할 수, 평균항력계수, 항력계수의 진폭, 양력계수의 진폭 비교

Re	Contributor	St	\overline{Cd}	ΔCd	ΔCl
200	present	0.185	1.24	0.04	0.59
	임영택 ⁽¹⁾ 등	0.186	1.12	0.03	0.54
	Rogers ⁽²⁾	0.185	1.23	0.05	0.65
	Belov ⁽²⁾	0.193	1.19	0.04	0.64
	Linnick ⁽²⁾	0.197	1.34	0.04	0.69
	Berger ⁽³⁾	0.18-0.19			

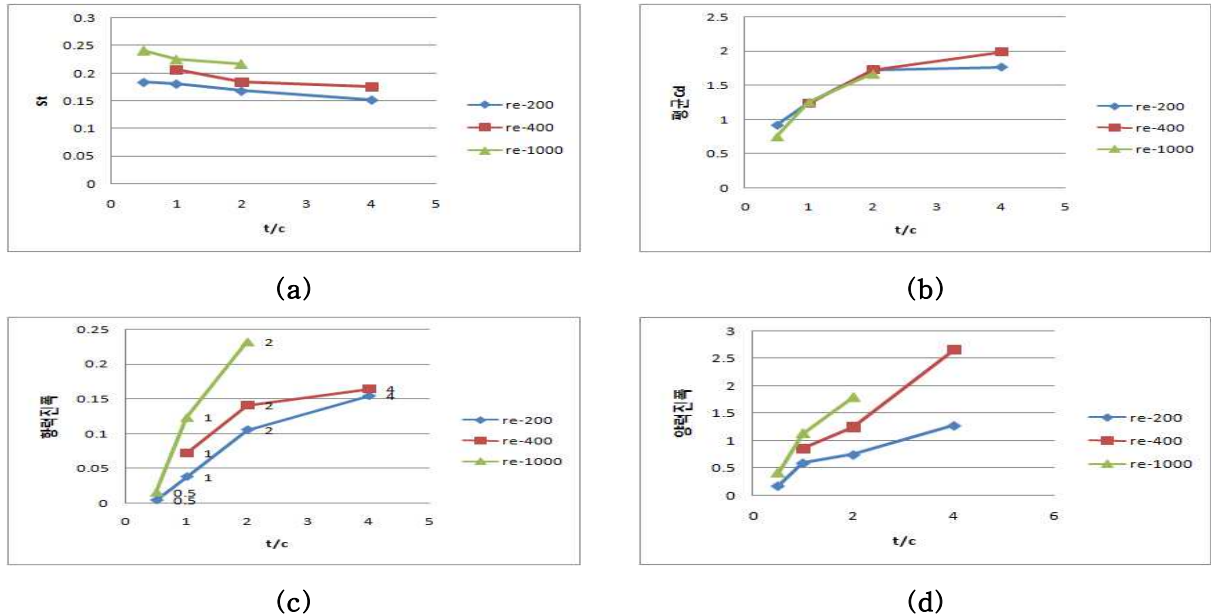


Fig. 2. 레이놀즈수와 변장비 변화에 따른 스트로할 수, 평균항력계수, 항력계수의 진폭, 양력계수의 진폭
(a)스트로할 수, (b)평균항력계수, (c)항력계수의 진폭, (d)양력계수의 진폭

3. 결 과

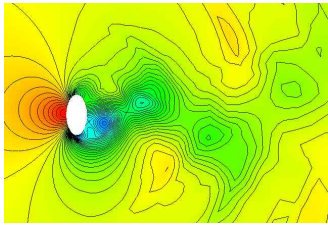
Fig. 2는 서로 다른 레이놀즈수에 대해서 실린더의 변장비가 변할 때 평균항력($\overline{C_d}$), 양력진폭, 항력진폭 및 스트로할 수를 비교한 그림이다. 먼저 (a)을 분석해보면 스트로할 수(Strouhal number)는 레이놀즈수가 증가하거나 실린더의 변장비가 작아질수록 증가함을 확인 할 수 있다. (b)는 서로 다른 레이놀즈수에 대해서 실린더의 변장비가 변할 때 평균항력계수의 변화를 나타내고 있다. 변장비가 증가할수록 대체로 평균항력계수의 값은 증가함을 보임을 확인 할 수 있다. 여기에서 허나 레이놀즈수가 변화함에 따라서는 변장비 1 주위에서 수렴하며, 변장비가 이를 넘어설 경우에는 레이놀즈수가 커짐에 따라 평균항력계수도 증가함을 볼 수 있다. 이는 평균항력계수는 레이놀즈수보다 변장비의 영향이 더 큼을 확인 할 수 있다. (c)와 (d)에서 양력계수의 진폭과 항력계수의 진폭은 변장비와 레이놀즈수가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보임을 확인 할 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 변장비가 증가함에 따라 와류의 발생주기가 커짐을 보인다. 또한 Fig. 3과 Fig. 4를 비교하면 레이놀즈수가 증가함에 따라 와류의 발생주기가 짧아짐을 확인 할 수 있다. 다시 말하면 레이놀즈수가 증가하거나 변장비가 작아짐에 따라 양력계수의 진동수가 증가하고, 이는 스트로할 수를 증가시킨다.

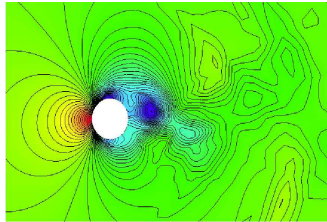
4. 결 론

레이놀즈수와 변장비가 타원형 실린더에 작용하는 항력 및 양력에 주는 영향을 수치적으로 해석해 본 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

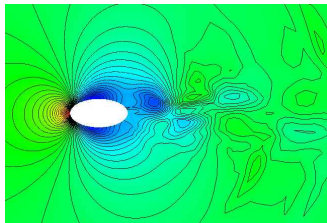
1. 평균항력은 레이놀즈수의 변화보다 변장비의 변화에 민감하다.
2. 항력과 양력의 진폭은 레이놀즈수가 증가하거나 실린더의 변장비가 증가할수록 커진다.
3. 스트로할 수는 변장비가 감소할수록 커지고, 레이놀즈수가 증가할수록 커진다.
4. 레이놀즈수가 증가하거나 변장비가 감소함에 따라 와류의 발생주기가 짧아진다.



(a)

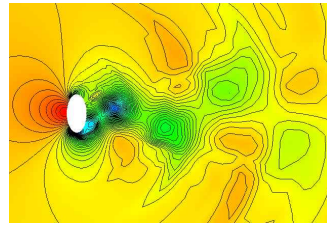


(b)

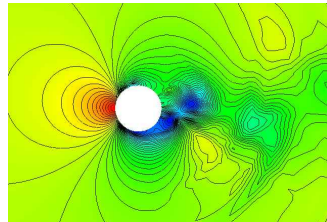


(c)

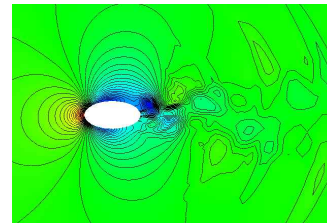
Fig 3 레이놀즈수가 200일 때
변장비의 변화에 따른
등압선 분포
(a) $t/c=2$, (b) $t/c=1$, (c) $t/c=0.5$



(a)



(b)



(c)

Fig 4 레이놀즈수가 1000일 때
변장비의 변화에 따른
등압선 분포
(a) $t/c=2$, (b) $t/c=1$, (c) $t/c=0.5$

참고문헌

- (1) Y. T. Yim, Y. B. Park, and M. S. Kim, 2005, "Unsteady Flow Analysis around an Elliptic Cylinder", *Journal of the Korean society for aeronautical & space sciences*, Vol. 33, No. 6, pp. 15~20.
- (2) Linnick, M. N. and Fasel, H. F., 2003, "A High-Order Immersed Boundary Method for Unsteady Incompressible Flow Calculation", A/AA Paper 2003-1124
- (3) Berger, E. and Wille, R., 1972, "Periodic Flow Phenomena", *Ann. Rev. Fluid Mech.*, vol. 4, pp. 313-340