

## 변장비 변화가 사각실린더에 작용하는 유체력에 미치는 영향 연구

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

권민철<sup>1\*</sup>, 김진욱<sup>1</sup>, 김찬후<sup>1</sup>, 이슬기<sup>1</sup>, 이승수<sup>1</sup>  
충북대학교 토목공학부<sup>1</sup>

### 초 록

변장비의 변화가 사각실린더에 작용하는 유체력에 미치는 영향을 알기 위해 EDISON\_열유체를 사용하여 수치해석을 하였다. 낮은 레이놀즈수 영역( $100 \leq Re \leq 200$ )에서 사각실린더의 변장비(W/H)를 0.5, 0.75, 1, 2로 변화시키며 해석을 수행하였고, 레이놀즈수와 변장비에 따른 스트로할수(St), 항력계수( $C_D$ ), 양력계수( $C_L$ )를 비교하였다. 본 논문에서는 레이놀즈수와 실린더의 변장비가 스트로할수, 항력계수, 양력계수에 미치는 영향을 알아보는 데 중점을 두었다. 해석결과 레이놀즈수가 증가하고 변장비가 감소할수록 스트로할수, 항력계수, 양력계수가 증가하는 것을 확인하였다. 본 논문을 통해서 레이놀즈수와 사각실린더의 변장비가 사각실린더에 작용하는 유체력에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

Key Words : 사각실린더(Rectangular Cylinder), 변장비(Width-to-height), 유체력(Fluid force), EDISON\_열유체

### 1. 서 론

사각형 구조는 다리, 고층빌딩, 아파트 등의 구조물에 쓰이는 가장 기본적인 형태이기 때문에 흐르는 유체 속에 있는 사각실린더 주위의 유동장 해석은 공학 및 산업계에서 주된 연구대상이 되어 왔다. 유체의 레이놀즈수가 40을 넘어서면 유동장 내 사각실린더의 후류가 불안정해져 와류가 주기적으로 떨어져 나가게 된다고 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 이로 인해 사각실린더에는 항력과 양력이 발생하게 되고 이는 물체에 파괴요인으로 작용하게 된다. 이러한 유동특성은 레이놀즈수와 사각실린더의 변장비에 영향을 받게 되는데 현대 건축물들이 점점 길어지고 높아짐에 따라 이러한 특성에 따른 사각실린더 후류의 유동에 대한 많은 연구들이 진행되어져 왔다.

박용갑 등<sup>(1)</sup>은 낮은 레이놀즈수 영역( $50 \leq Re \leq 150$ )에서 변장비 1이하인 사각실린더 주위의 유동장을 관찰하여 레이놀즈수와 변장비의 변화가 실린더 주위의 유동특성에 중요한 영향을 끼침을 확인하였다. 또한 Sohankar<sup>(2)</sup>은 높은 레이놀즈수( $Re=10^5$ )에서 변장비  $0.4 \leq W/H \leq 4.0$ 인 사각실린더 주변의 유동을 관찰하여 변장비에 따른 스트로할수의 변화와 유동의 재부착 현상을 연구하였다.

본 논문에서는 전산유체역학 도구인 EDISON\_열유체를 이용하여 사각형실린더의 변장비가 변화함에 따라 실린더의 유체력에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 변장비가  $0.5 \leq W/H \leq 2.0$ 인 사각실린더 주위의 유동을 레이놀즈수  $100 \leq Re \leq 200$ 에서 변장비의 변화에 따른 스트로할수, 양력계수, 항력계수의 변화를 통해 실린더에 작용하는 유체력에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 수치해석 방법

### 2.1 지배방정식

본 논문에서의 수치해석은 Navier-Stokes 방정식을 지배 방정식으로 사용한 EDISON\_열유체의 2-D Incompressible Solver를 사용하였다. 방정식의 모든 변수들은 특성 속도  $U_\infty$  와 특성 길이  $L$ 을 이용하여 아래 식(1)과 같이 무차원화 되었다.

$$t' = \frac{U_\infty t}{L}, \quad x'_i = \frac{x_i}{L}, \quad u'_i = \frac{u_i}{U_\infty}, \quad p' = \frac{p - p_\infty}{\rho U_\infty^2}, \quad \mu' = \frac{\mu}{\mu_\infty}, \quad Re = \frac{\rho_\infty U_\infty L}{\mu_\infty} \quad (1)$$

여기서  $t'$ 는 무차원 시간,  $x'_i$ 는 무차원  $x, y$ 좌표,  $u'_i$ 는 무차원  $x, y$ 방향 속도,  $p'$ 는 무차원 압력,  $\mu'$ 은 무차원 점성계수,  $Re$ 는 레이놀즈수를 나타낸다.

### 2.2 경계조건 및 검증

Fig. 1에는 수치해석에 사용한 계산영역 및 좌표계를 나타내었다. 사각실린더의 높이( $H$ )는 1로 고정하고 너비( $W$ )를 변화시켜 0.5, 0.75, 1.0, 2.0의 각기 다른 변장비를 적용시켰다. 계산영역은 사각실린더의 중심으로부터 반경  $50H$ 로 하였다.  $i$ 방향은 사각실린더의 접선방향을 나타내며  $j$ 방향은 사각실린더의 표면에 수직한 방향을 나타낸다.  $j$ 방향 격자의 수는 150으로 고정시키고, 사각실린더 표면 근처로 격자를 조밀하게 생성하였다.  $i$ 방향 격자의 수는 사각실린더 둘레의 단위길이 당 격자의 수를 동일하게 하기 위해 변장비에 따라 다르게 적용하였다. 사각실린더의 변장비에 따라 사용된 격자는 각각  $151 \times 150$ ,  $251 \times 150$ ,  $201 \times 150$ ,  $301 \times 150$ 이다.

사각실린더 표면에는 점성 조건(viscous adiabatic wall)을, 원방향 경계에는 inflow or outflow BC 경계조건을 부여하였다.

적절한 격자수를 선택하기 위해 레이놀즈수 200에서 정사각실린더 주위 유동장 해석 결과 중 스트로할수( $St$ ), 평균항력계수( $\overline{C_D}$ ), 양력계수의 RMS(Root Mean Square) 값( $C_{L-RMS}$ )들을 선행연구들과 비교하여 격자를 검증하였다. (Table. 1)

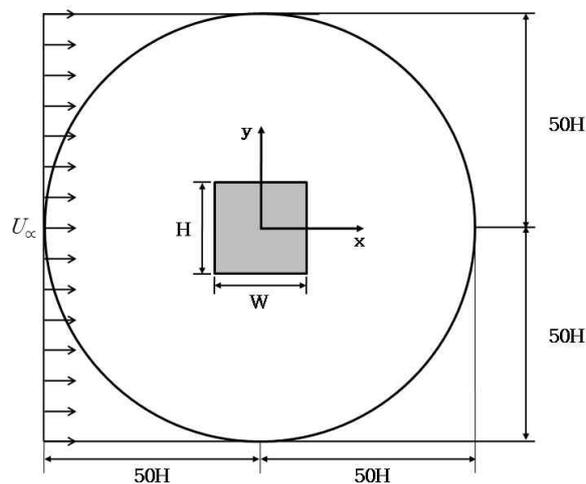


Fig. 1. 계산영역 및 좌표계

Table.1. 레이놀즈수 200일 때 선행연구들과의  $St$ ,  $\overline{C_D}$ ,  $C_{Lr \cdot m \cdot s}$  비교

Re	Reference	$St$	$\overline{C_D}$	$C_{Lr \cdot m \cdot s}$
200	Present	0.140	1.631	0.433
	박용갑 등 <sup>(1)</sup>	0.151	1.433	0.370
	Sohankar et al. <sup>(3)</sup>	0.15	1.462	0.377
	Cheng et al. <sup>(4)</sup>	0.15	1.45	0.372

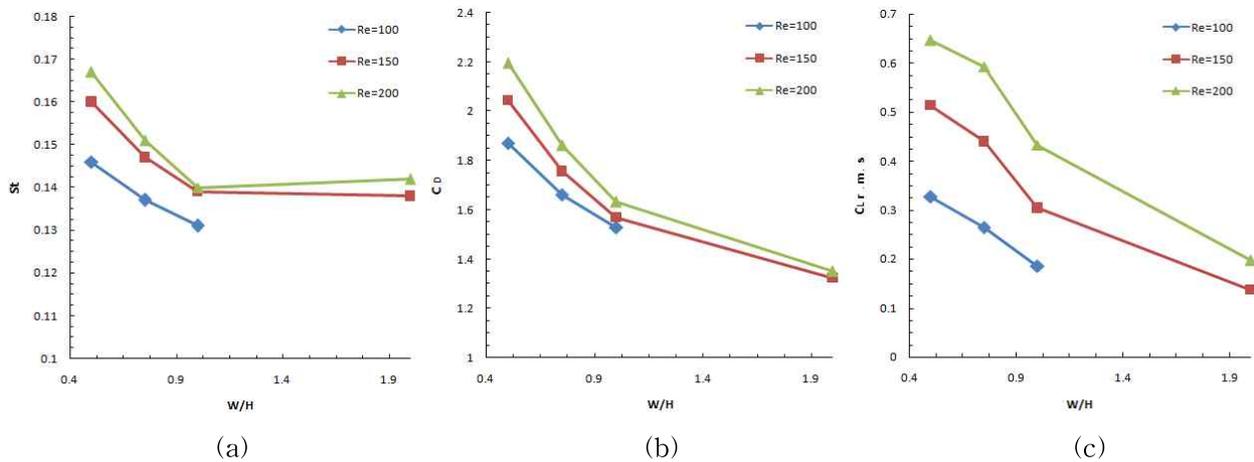


Fig. 2. 레이놀즈수 변화와 변장비 변화에 따른 스트로할수, 항력계수, 양력계수

(a) 스트로할수, (b) 항력계수, (c) 양력계수

### 3. 결 과

Fig. 2 에는 레이놀즈수 100, 150, 200일 때 변장비에 따른 스트로할수, 항력계수, 양력계수의 변화를 나타내었다. Fig. 2의 (a)를 보면 레이놀즈수가 증가함에 따라 스트로할수가 증가하고 변장비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 하지만 레이놀즈수 200의 경우 변장비가 1.0에서 2.0으로 증가할시 스트로할 수가 증가하는 현상을 보였다. Fig. 2의 (b)와 (c)를 보면 레이놀즈수가 감소하고 변장비가 증가함에 따라 항력계수와 양력계수가 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 3 에는 레이놀즈수 150에서 변장비에 따른 실린더 후류의 등압선을 나타내었다. 실린더 후류에서 와류가 형성되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3의 (a), (b), (c), (d)를 보면 변장비가 증가함에 따라 와류 사이의 간격이 멀어지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4 에서는 레이놀즈수 200에서 변장비에 따른 실린더 후류의 등압선을 나타내었다. Fig. 3 에서와 마찬가지로 사각실린더 후류에서 와류가 형성되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4의 (a), (b), (c)를 보면 변장비가 증가함에 따라 와류 사이의 간격이 멀어지는 것을 알 수 있다. 하지만 (c)와 (d)를 비교해 보

면 변장비가 1에서 2로 증가함에도 불구하고 와류 사이의 간격이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

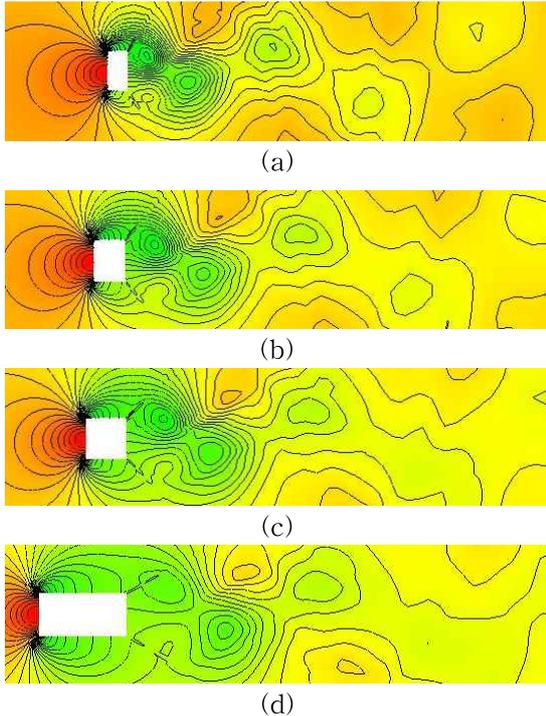


Fig. 3.  $Re=150$ 일 때 변장비 변화에 따른 등압선  
(a)  $W/H=0.5$ , (b)  $W/H=0.75$ , (c)  $W/H=1$ , (d)  $W/H=2$

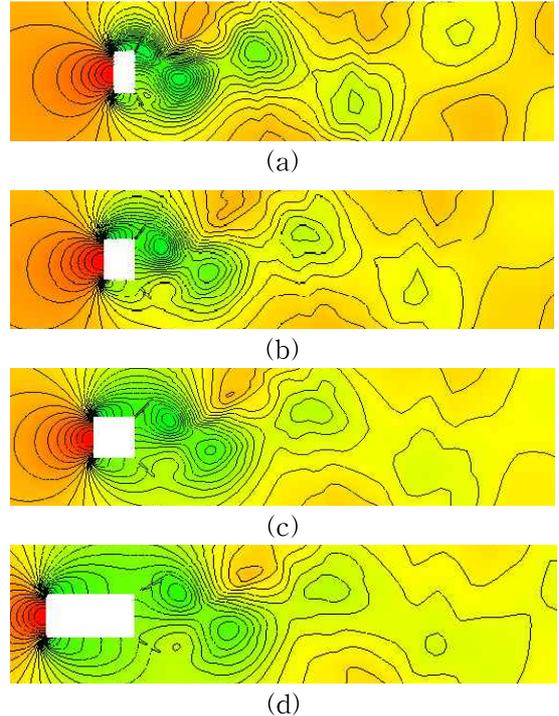


Fig. 4.  $Re=200$ 일 때 변장비 변화에 따른 등압선  
(a)  $W/H=0.5$ , (b)  $W/H=0.75$ , (c)  $W/H=1$ , (d)  $W/H=2$

#### 4. 결 론

레이놀즈수와 사각실린더의 변장비가 사각실린더에 작용하는 스트로할수, 항력계수, 양력계수에 어떤 영향을 미치는지 수치해석 해 본 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 레이놀즈수가 증가하고 변장비가 감소할수록 사각실린더가 받는 항력은 증가하게 된다. 하지만 레이놀즈수의 변화에 따른 영향 보다 변장비에 따른 영향이 더 큰 것을 확인할 수 있다.
2. 사각실린더가 받는 양력의 크기는 레이놀즈수가 증가하고 변장비가 감소할수록 커지게 된다.
3. 사각실린더 후류에서 발생하는 주기적인 와류에 의한 진동수는 레이놀즈수가 증가할수록, 변장비가 감소할수록 커진다. 하지만 레이놀즈수  $Re=200$ 일 때 변장비가 1에서 2로 증가하면 스트로할 수가 오히려 증가하였는데 이 현상의 원인을 규명하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- (1) Yong Gap Park, Chang Min Son, 2010, "A Numerical Study on Flow Characteristics Around Rectangular Cylinder with Different Width-to-height Ratios", *Korean journal of air-conditioning and refrigeration engineering*, Vol. 22, No. 8, pp. 523~529.
- (2) Sohankar, A., 2008, "Larger eddy simulation of flow past rectangular-section cylinders: Side atio effects", *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, Vol. 96, No. 5, pp. 640~655.
- (3) Sohankar, A., Norberg, C., and Davidson, L., 1997, "Numerical simulation of unsteady low Reynolds number flow around rectangular cylinders at incidence", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 69-71, pp. 189-201.
- (4) Cheng, M., Whyte, D. S., and Lou, J., 2007, "Numerical simulation of flow around a square cylinder in uniform-shear flow", *Journal of Fluid and Structures*, Vol. 23, pp. 207-226.