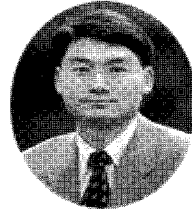


## 멀티실린더 바다 주변의 유동 특성



신 영 섭\*



조 철 희\*\*

### 1. 서 론

해양구조물은 다수의 수직 실린더로 이루어져 있는데, 실린더 사이에는 유체역학적 상호작용이 발생하게 되고, 상호 간섭된 압력분포가 각 실린더에 작용하게 된다.

본 연구에서는 이러한 상호작용을 살펴보기 위하여, 2개의 수직실린더 사이 간격을 변화시키면서 실린더 주위 유동을 수치해석하였고, 회류수조에서는 실린더에 작용하는 압력을 계측하였다.

수치해석은 다블럭으로 격자를 구성한 후, F.D.M.을 이용하여 해석하였는데, 자유표면 효과는 고려하지 않았으며, 계산시간을 단축하기 위하여 실린더 깊이 방향으로 격자수를 최소화하여 계산하였다.

한편, 회류수조에서의 실험은 실린더 주위에 30도 간격으로 12 지점에서 압력을 계측하였고, P.I.V.시스템을 이용하여 유동을 가시화하였다.<sup>1),2)</sup>

### 2. 기본방정식

비정상, 비압축성 유동을 가정하면 무차원화된 연속 방정식 및 지배방정식은 다음과 같다.<sup>3)</sup>

$$\begin{aligned}
 D &\equiv \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \\
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{R_n} \nabla^2 u \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{R_n} \nabla^2 v \\
 \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{R_n} \nabla^2 w
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서,  $u, v, w$ 는 특성속도  $U_o$ 로,  $x, y, z$ 는 특성길이  $L$ 로,  $t$ 는  $L/U_o$ ,  $p$ 는  $\rho U_o^2$ 으로 무차원화되었고,  $R_n$ 은  $U_o L/\nu$ 을 의미하며,  $\rho$ 와  $\nu$ 는 각각 유체의 밀도와 동점성계수를 의미한다.

$F, G, H$ 를 다음과 같이 정의하고,

$$\begin{aligned}
 F &\equiv \frac{1}{R_n} \nabla^2 u - u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} \\
 G &\equiv \frac{1}{R_n} \nabla^2 v - u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} \\
 H &\equiv \frac{1}{R_n} \nabla^2 w - u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z}
 \end{aligned} \tag{2}$$

식(1)을 시간에 대해 이산화하면 다음과 같다.

\* 한라대학교 시스템융합공학부 교수

\*\* 인하대학교 선박해양공학과 교수

$$\begin{aligned} \frac{u^{n+1}}{\Delta t} &= \frac{u^n}{\Delta t} + F^n - \frac{\partial p^n}{\partial x} \\ \frac{v^{n+1}}{\Delta t} &= \frac{v^n}{\Delta t} + G^n - \frac{\partial p^n}{\partial y} \\ \frac{w^{n+1}}{\Delta t} &= \frac{w^n}{\Delta t} + H^n - \frac{\partial p^n}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $n$ 은 시간단계를 의미하며,  $D^{n+1}$ 을 0으로 하는 압력포아송방정식은 식(3)으로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\nabla^2 p^n = R^n \quad (4)$$

여기서,  $R^n$ 은 다음과 같다.

$$R^n \equiv \frac{D^n}{\Delta t} + F_x^n + G_y^n + H_z^n \quad (5)$$

격자구성은 다블럭으로 구성하였으며 실린더를 포함한 블록에서는 타원형 변환을 이용하여 격자를 생성하였고,<sup>4)</sup> 각 블록에서는 정규격자계를 이용하였다. 한편 시간전진은 explicit으로, 압력방정식은 S.O.R로 수치 해석하였다.

### 3. 계산 결과

2개의 실린더 사이 간격을 직경의 1 및 5배로 변화시키면서 수치해석하였고, 회류수조내에서 압력을 측정하였다.

Fig. 1에는 수치격자를 도시하였는데, 전체적으로 6블럭으로 구성하였고, Fig. 2에서와 같이 가운데에 2개의 수직실린더가 놓여 있다. 블럭간 정합은 블럭주위의

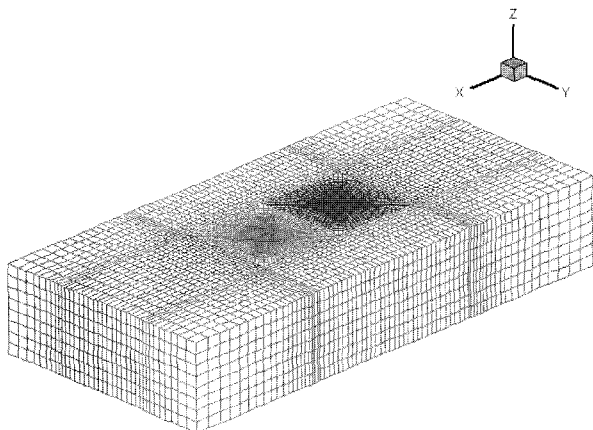


Fig. 1 Perspective view of the generated blocks

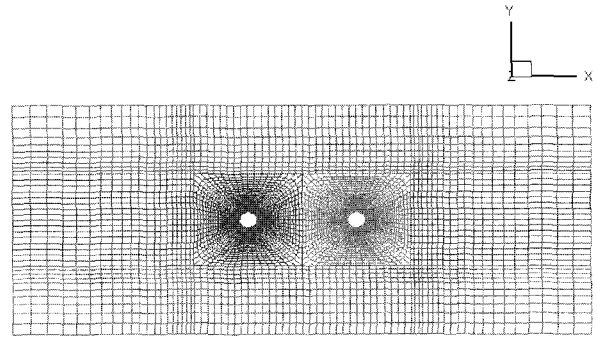


Fig. 2 2-Dimensional view of the generated blocks

압력과 속도를 이용하여 식(2)와 식(5)에 있는  $F, G, H$  및  $R^n$ 을 계산함으로써, 다블럭 격자구성으로 인하여 발생할 수 있는 정합 오차를 최소화하도록 하였다.

Fig. 3에는 실린더 간격이 직경의 1배일 때 시간에 따른 실린더의 항력 및 양력계수를 도시하였다. 일정시간 이후에는 양, 항력계수가 점근하는 것을 알 수 있으며, 양력계수가 주기적으로 변화하는 것을 알 수 있고, 첫 번째 실린더의 후류에 놓여 있는 두 번째 실린더에는 후류의 영향으로 인하여 음의 항력값이 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4에는 시간에 따른 실린더 주위 압력계수를 도시하였는데, 후류에 놓여 있는 두 번째 실린더 주위 압력분포를 보면 각도 0도 근처 즉, 두 번째 실린더의 앞부분에 음의 압력분포가 나타나고 있고, 이것이 Fig. 3에서와 같이 음의 항력값으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에는 이 경우에 대한 실험값을 도시하였는데, 계측상의 어려움으로 인하여, 각 계측점에서 변동압력 보다는 평균적인 대표값을 표현하였다. 실험결과 역시 0도 부근에 음의 압력값이 나타나고 있음을 알 수 있

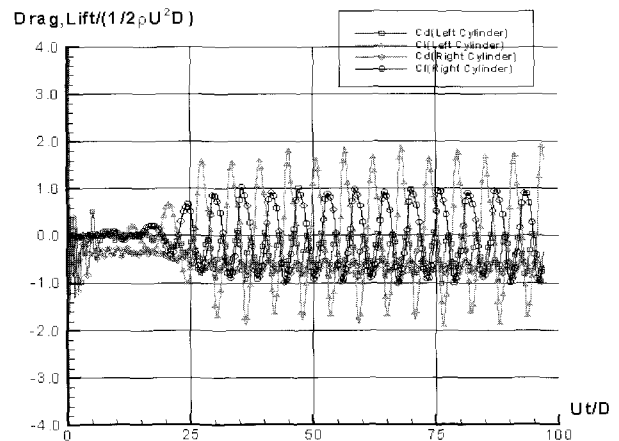


Fig. 3 The drag and lift coefficients at 1D

으며, 압력의 최고값은 비슷하나 최저값은 계산결과보다 보다 작은 음의 압력값을 나타내고 있다.

Fig. 6에는 실린더 주위 압력분포를 도시하였는데, Fig. 6에서와 같이 첫 번째 실린더 후류의 와류 부근에 두 번째 실린더가 위치한 것을 볼 수 있으며, 강한 음

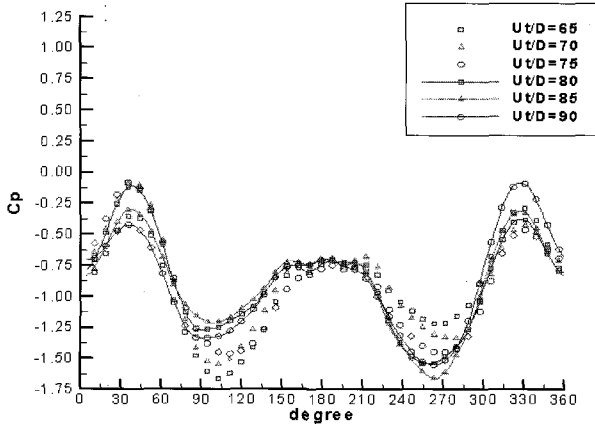


Fig. 4 The pressure distributions along the cylinder surface at 1D

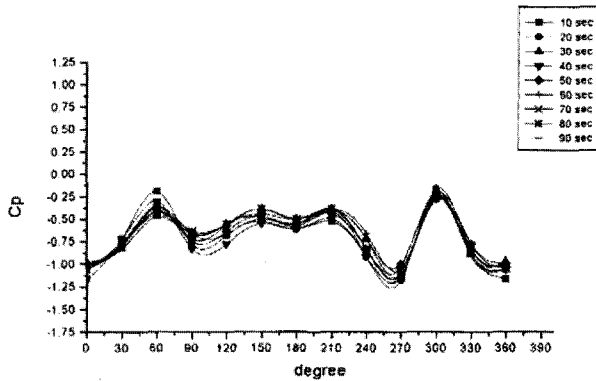


Fig. 5 The pressure distributions along the cylinder surface at 1D

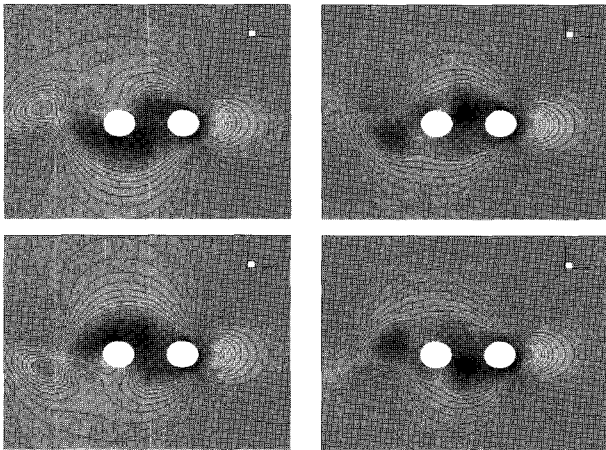


Fig. 6 The pressure distributions at 1D( $U_t/D=170,180,190,200$ )

의 압력장에 놓여 있음을 알 수 있고, 압력분포가 시간에 따라 변동하는 것을 알 수 있다.

Fig. 10에는 실린더 간격이 직경의 5배 떨어진 경우, 시간경과에 따른 양력 및 항력계수를 도시하였다. 떨어진 거리가 증가함에 따라, 두 번째 실린더에는 양의 항력계수가 나타나고 있음을 알 수 있다.

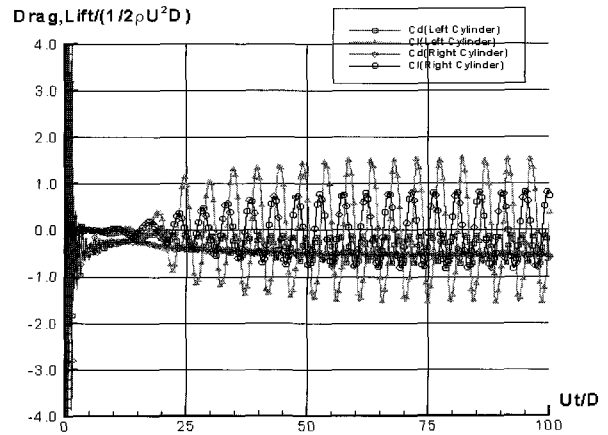


Fig. 7 The drag and lift coefficients at 3D

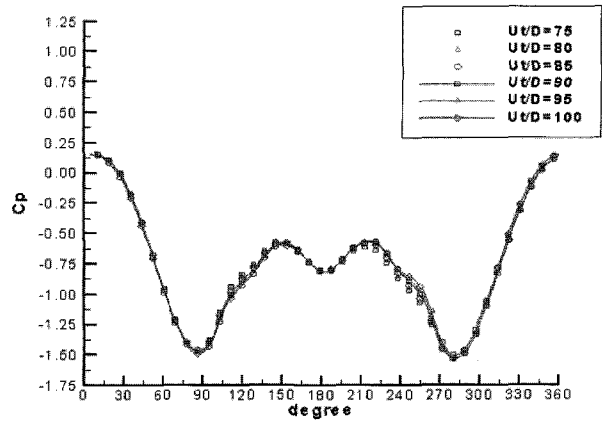


Fig. 8 The pressure distributions along the cylinder surface at 3D

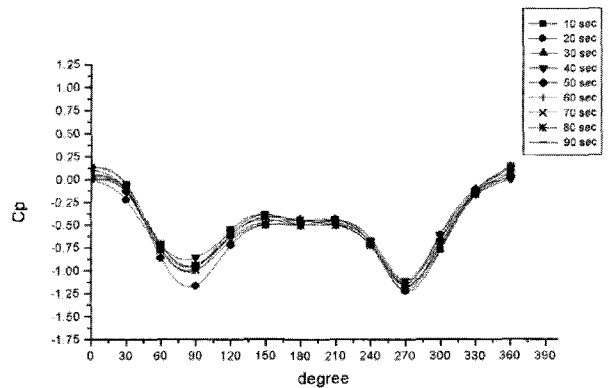


Fig. 9 The pressure distributions along the cylinder surface at 3D

Fig. 11에는 시간에 따라 실린더 주위 압력을 도시하였는데, 두 번째 실린더의 압력 분포를 보면 직경의 1배 떨어진 경우에 비해 0도 부근에서 양의 방향으로 증가된 압력이 작용하고 있음을 알 수 있고, 거리 증가에 따라 첫 번째 실린더의 영향이 다소 감소되었음을 의미하고 있다.

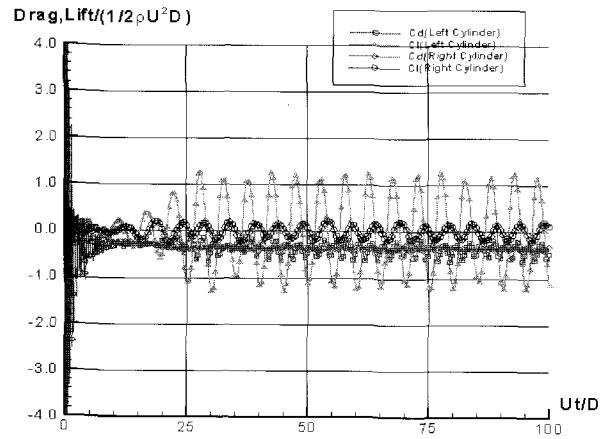


Fig. 10 The drag and lift coefficients at 5D

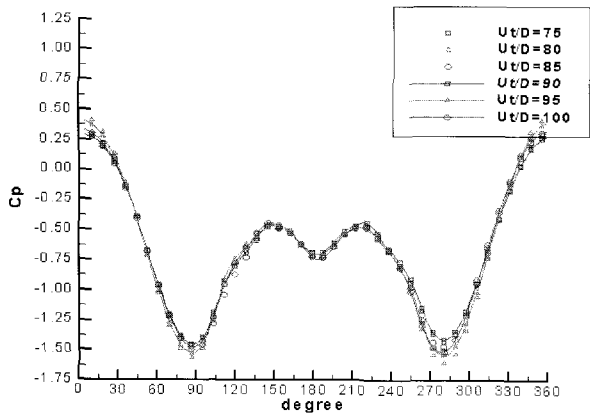


Fig. 11 The pressure distributions along the cylinder surface at 5D

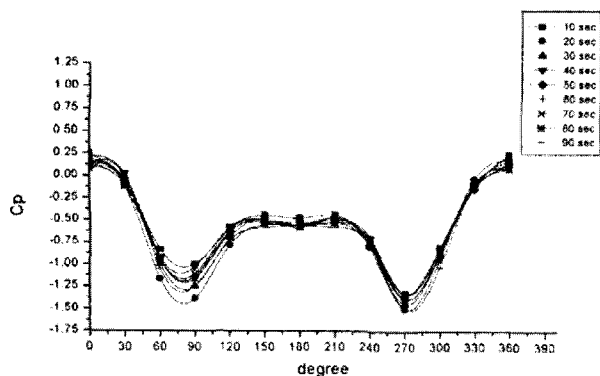


Fig. 12 The pressure distributions along the cylinder surface at 5D

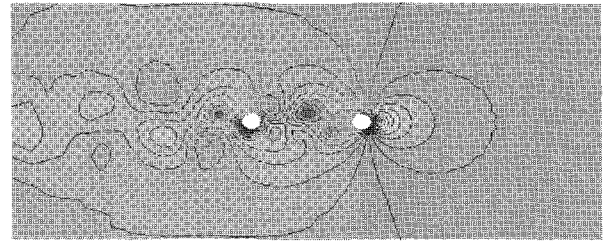


Fig. 13 The pressure distributions at 5D( $Ut/D=200$ )

Fig. 12에는 실험값을 도시하였는데, 0도 부근에서 보다 증가된 압력이 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13에는 실린더 주위 압력분포를 도시하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 2개 실린더의 상호 간섭으로 인한 유동 특성을 살펴보기 위하여 수치해석하였고, 회류수조 내에서 실험 계측하였다. 실린더 사이 간격이 작은 경우 후류에 놓여 있는 실린더는 강한 와류의 영향을 받아 음의 항력값이 나타나며, 이는 간격 증가에 따라 양의 항력값으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 앞으로 자유표면 효과를 포함한 유동 특성에 대한 연구가 계속 될 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 전완수, 박준수, 권순홍, 하동대, 최장운, 이만형, PIV를 이용한 다수 원주 주위 유동장 해석, 한국해양공학회지, 제10권, 제3호, 1996, pp.89~95
2. 전완수, 박준수, 권순홍, 하동대, 이영호, 이만형, PIV를 이용한 두 원주 주위의 유동장에 관한 실험적 연구, 한국해양공학회지, 제10권, 제3호, 1996, pp. 83~88
3. C. A. J. Fletcher, Computational Techniques for Fluid Dynamics, Springer Series in Computational Physics, 1988
4. Joe F. Thomson, Numerical Grid Generation, Elsevier Science Publishing Co. 1985