

파랑과 조류에 의한 고정된 수직 실린더 구조물에 작용하는 평균 점성 표류력

신동민¹, 김윤철¹, 문병영^{2*}

¹군산대학교 조선해양기자재 역량강화센터, ²군산대학교 조선해양공학과

Mean viscous drift forces on a fixed vertical cylinder in waves and currents

Dong Min Shin¹, Yuncheol Kim¹, Byung Young Moon^{2*}

¹Shipbuilding and Ocean Equipment Industry Empowerment Center, Kunsan National University

²Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, Kunsan National University

요약 해양구조물에서 점성효과를 고려하여 항력에 기인한 평균 점성 표류력을 구하는 것은 최근까지 잘 고려되지 않았던 설계 요소이다. 특히 저주파 영역에서 파랑과 조류를 모두 고려한 수직 실린더에 작용하는 평균 점성 표류력에 대해 계산하는 것이 가장 중요하다. 따라서 본 연구에서는 파랑과 조류를 고려한 고정된 수직 실린더 구조물에 작용하는 평균 점성 표류력에 대해 해석적 수식 해를 도출하는 과정을 구체적으로 제시하였다. 실린더의 수면 위로 나온 부분을 Splash Zone, 수면 아래의 잠긴 부분을 Submerged Zone으로 구분하였다. 파랑이 존재하는 경우는 Splash Zone에 서만 고려되고, 파랑과 조류를 포함한 경우는 Splash Zone과 Submerged Zone 모두에서 각각 식을 구하였다. Splash Zone 및 Submerged Zone에서 모두 상당한 점성 효과로 기인한 표류력이 발생한다. 따라서 본 연구에서 도출한 해석적 해를 통해 주어진 설계 변수들에 의한 평균 점성 표류력을 계산할 수 있으며, 각각의 Case에 해당하는 표류력의 크기가 구체적인 물리적인 범위 내에서 주도적인 영향을 끼치는지 판단할 수 있는 이론적 근거를 제시할 수 있다.

Abstract In offshore structures, the mean viscous drift force due to drag is considered to be a design part that has not been considered until recently. In particular, it is most important to calculate the drift force acting on a vertical cylinder considering both waves and currents in the low frequency region. This paper presents a process for deriving analytical solutions for the drift forces acting on a fixed vertical cylinder considering waves and currents. The area of the cylinder was considered by dividing it into a splash zone above the free surface and a submerged zone below the free surface. The presence of waves is considered only in the Splash Zone, and in the case of waves and currents, the equations were obtained for both the splash and submerged zones. The results show that drift forces occur due to the significant viscous effects in both the splash zone and the submerged zone. Therefore, the analytical solutions derived in this study can be used to calculate the drift force using the given design variables and form a theoretical basis for judging whether the magnitude of the drift force in each case has a dominant influence within a specific physical range.

Keywords : Mean Viscous Drift Force, Waves, Currents, Splash Zone, Submerged Zone

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국제협력선도대학 육성·지원사업의 연구결과와 (NRF-2016R1D1A3B03935545) 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(선박 안정성 향상을 위한 IMO 2세대 복원성 검증기술 개발 20180318).

*Corresponding Author : Byung Young Moon(Kunsan National Univ.)

email: moonby20@hanmail.net

Received October 22, 2019

Revised November 21, 2019

Accepted February 7, 2020

Published February 29, 2020

1. 서론

선박 또는 해양 구조물에 작용하는 파랑의 표류력은 오랫동안 많은 관심을 받고 있는 연구 주제이다. 선박 또는 바지선의 파랑 표류력은 운동량 보존 법칙에 의해 계산이 수행되었다[1]. 대형 해양구조물의 경우, 3차원 Source-sink 방법과 2차 베르누이 방정식을 적용하여 2차 파랑 표류력을 구하였다[2]. 이 방법은 일반적으로 특정 유형의 구조물, 예를 들어 선박, 바지선, 대형 부유식 저장 탱크 등과 같은 경우에만 만족시킬 수 있는 방법이다. 그러나 다른 유형의 구조물의 경우, 예를 들어 Semi-submergible, Tension-leg Platform 등에서는 점성 효과를 고려해야 한다. 심지어 바지선의 경우에도 실험데이터 분석을 통해 점성 효과는 무시할 수 없다는 연구 결과도 있었다[3]. 이에 따라 언제 점성 효과가 지배적이며 전체 분석에 포함되어야 하는지 파악하는 것이 중요하다. 이제껏 점성 표류력에 대한 여러 연구가 있었다[4-6]. 이들 중 일부는 평균 점성 표류력에 대해 수직 실린더에 적용하는 수학적 식에 대한 근사 또는 정확성이 떨어지는 부분이 있었다. 또한, 평균 점성 표류력에 대한 수치해석 기법(경계요소법)으로 Semi-submergible 과 Tension-leg Platform에 작용하는 힘을 계산하는 연구가 있었다[8-10]. 따라서 본 연구에서는 파랑뿐만 아니라 조류를 고려한 고정된 수직 실린더에 작용하는 점성 표류력에 대한 수식으로 구한 해석적 해를 유도하고자 한다. 실린더의 수면 위로 나온 부분을 Splash Zone, 수면 아래의 잠긴 부분을 Submerged Zone으로 구분하였다. 파랑이 존재하는 경우는 Splash Zone에서만 고려되고, 파랑과 조류를 포함한 경우는 Splash Zone과 Submerged Zone 모두에서 각각 식을 구하였다. 모리스 식의 항력 부분을 시간 평균하여 구한 식으로부터 계산된 결과를 고찰하였다.

2. 수직 실린더에 작용하는 점성 표류력

Fig. 1의 수직 실린더가 있는 상태에서 식 (1)과 같이 심해 조건의 파의 수면변위 (ζ) 과 식 (2)의 수평방향의 파 입자의 속도(u)에 대해 선형파 이론이 적용된다.

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega t) \tag{1}$$

$$u = \zeta_a \omega e^{kz} \cos(kx - \omega t) = u_m \cos(kx - \omega t) \tag{2}$$

여기서, ζ_a 는 파의 진폭, $k(=2\pi/\lambda : \text{파장}(\lambda))$ 는 파수, $\omega(=2\pi/T : \text{주기}(T))$ 는 파의 주파수이고, $u_m(=\zeta_a \omega e^{kz})$ 은 파 입자의 수평방향 속도 진폭이다.

단위 길이당 원형 실린더 단면에 대한 모리스 방정식의 점성 항력 항(FD)은 다음과 같다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D (u_m \cos \omega t) |u_m \cos \omega t| \tag{3}$$

여기서, ρ 는 유체의 밀도, C_D 는 항력계수, D 는 실린더의 지름이다.

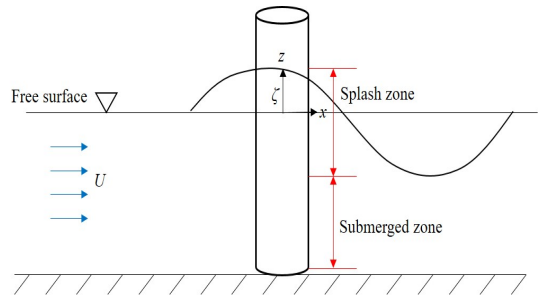


Fig. 1. A fixed vertical cylinder in waves and currents

2.1 In only waves

식 (4)의 Frouier 전개에 의해 식 (3)은 식 (5)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \cos \theta | \cos \theta | &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\int_0^{2\pi} | \cos \theta | \cos \theta \cos n \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} \cos^2 n \theta d\theta} \\ &= a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + a_3 \cos 3\theta + \dots \end{aligned} \tag{4}$$

식 (4)에서,

$$a_n = 0, \quad n \text{이 짝수 인 경우}$$

$$a_n = (-1)^{\frac{n+1}{2}} \frac{8}{n(n^2-4)\pi}, \quad n \text{이 홀수 인 경우}$$

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} \rho C_D D \zeta_a^2 \omega^2 \frac{8}{3\pi} \cos \omega t \\ &+ \text{higher harmonic term} \end{aligned} \tag{5}$$

Splash Zone에서 점성 표류력은 실린더 단위 길이당 힘을 적분하여 구한다. 정리하여 구한 식은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \int_{s(t)} \overline{F_D} \vec{n} ds & (6) \\ &= \frac{4}{3\pi} \rho C_D D_s^2 \omega^2 \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^\zeta \cos^2 \omega t dz dt \\ &= \frac{2}{3\pi} \rho g k C_D D_s^3 \end{aligned}$$

여기서, $g(=9.81 \text{ m/s}^2)$ 는 중력가속도이다. Splash Zone에서의 평균 표류력은 파의 진폭의 세제곱에 따라 변하고, 특정 파의 진폭(ζ_a)에 대해 파의 주파수(ω)의 제곱($\omega^2=gk$)에 따라 선형으로 증가한다. 그리고 Submerged Zone에서의 파랑 표류력은 0이다.

2.2 Waves and Currents (I)

Splash Zone에서 유속이 U 인 조류가 함께 존재하는 경우, 단위 길이당 실린더에 작용하는 모리슨 방정식의 항력 부분은 식 (7)과 같다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D (u + U) |u + U| \quad (7)$$

마찬가지로 실린더 단위 길이당 힘을 적분하여 평균 표류력을 구하면 식 (8)이 되고 $|U| \geq u_m$ 의 조건에서 식 (9)로 정리된다.

$$\overline{F_D} = \frac{1}{2} \rho C_D D \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^\zeta (U + u_m \cos \omega t)^2 \cos \omega t dz dt \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{2} \rho C_D D_s \frac{1}{T} & (9) \\ &\times \int_0^T (U^2 + 2Uu_m \cos \omega t + u_m^2 \cos^2 \omega t) \cos \omega t dt \end{aligned}$$

식 (9)는 주기성을 이용한 삼각함수의 적분으로 적분 항에 있는 2번째 항만 남게 되어 식 (10)과 같이 변환된다.

$$\overline{F_D} = \frac{1}{2} \rho C_D D_s U u_m \quad (10)$$

반대로 $|U| < u_m$ 의 조건에서는 식 (7)이 식 (11)과 같이 변수들로 치환하여 표현된다.

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} \rho C_D D u_m^2 \\ &\times \left[\left(\frac{U}{u_m} \right)^2 + 2 \left(\frac{U}{u_m} \right) \cos \omega t + \cos^2 \omega t \right] \frac{(U/u_m + \cos \omega t)}{|U/u_m + \cos \omega t|} \\ &= \frac{1}{2} \rho C_D D u_m^2 \\ &\times \left[\gamma^2 + 2\gamma \cos \omega t + \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t) \right] \frac{(\gamma + \cos \omega t)}{|\gamma + \cos \omega t|} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\gamma = U/u_m$

한 주기에 걸쳐 항력의 평균값인 평균 표류력을 구하기 위해 식 (8)과 같이 식 (11)의 $\omega t(=\theta)$ 에 대해 0부터 2π 까지 적분하여 주기 $T(=2\pi)$ 로 나눈 식은 식 (12)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{2} \rho C_D D_s u_m^2 \frac{1}{T} \int_0^T \left[\gamma^2 \cos \omega t + 2\gamma \cos^2 \omega t \right. & (12) \\ &\quad \left. + \cos^3 \omega t \right] \\ &\quad \times \frac{(\cos \omega t - \cos \theta)}{|\cos \omega t - \cos \theta|} dt \end{aligned}$$

식 (12)의 적분 항에 있는 코사인 함수에 관한 세 항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos \theta \frac{\cos \theta - \cos \theta}{|\cos \theta - \cos \theta|} d\theta = \frac{1}{\pi} \sin \theta \quad (13)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (1 + \cos 2\theta) \frac{\cos \theta - \cos \theta}{|\cos \theta - \cos \theta|} d\theta & (14) \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\theta - \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\cos 3\theta + 3\cos \theta}{4} \right) \frac{\cos \theta - \cos \theta}{|\cos \theta - \cos \theta|} d\theta & (15) \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{12} \sin 3\theta + \frac{3}{4} \sin \theta \right) \end{aligned}$$

여기서, $\theta = \omega t$,

$$\begin{aligned} \cos \theta &= -\gamma & U > 0 : \pi/2 \leq \theta \leq \pi \\ & & U < 0 : 0 \leq \theta \leq \pi/2 \end{aligned}$$

식 (12)의 적분식의 세 항의 표현식 (13)~(15)을 포함하여 정리하면 $|U| < u_m$ 의 조건에서의 평균 점성 표류력은 식 (16)이 된다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{\pi} \rho C_D D_s u_m^2 \left\{ \gamma^2 \sin \theta + \frac{1}{12} (\sin 3\theta + 9\sin \theta) \right\} \\ &\quad \left\{ + \frac{\gamma}{2} (2\theta - \pi + \sin 2\theta) \right\} & (16) \end{aligned}$$

2.3 Waves and Currents (II)

Submerged Zone에서 또한 u_m 은 식 (2)에서의 $\zeta_a \omega e^{kz}$ 로 대체되며 이러한 계산은 실린더의 수면 아래 잠긴 깊이까지 반복되어야 한다. 본 논문의 2.2절의 계산절차와 마찬가지로 진행하면 $|U| \geq u_m$ 의 조건에서 식 (17)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{2} \rho C_D D \frac{1}{T} \\ &\times \int_0^T \left(U^2 + 2Uu_m \cos \omega t + \frac{u_m^2}{2} (1 + \cos 2\omega t) \right) dt \\ &= \frac{1}{2} \rho C_D D \left(U^2 + \frac{u_m^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

$|U| < u_m$ 의 조건에서는 모리슨 방정식의 항력 부분은 식 (11)과 같고 평균 점성 표류력은 식 (18)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{2} \rho C_D D u_m^2 \frac{1}{T} \int_0^T \left[\gamma^2 + 2\gamma \cos \omega t \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (1 + \cos 2\omega t) \right] \\ &\quad \times \frac{(\cos \omega t - \cos \Theta)}{|\cos \omega t - \cos \Theta|} dt \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)의 적분 항에 있는 세 항은 식 (13)~(15)과 마찬가지로 다음과 같이 식 (19)~(21)로 표현할 수 있다.

$$I_4 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \theta - \cos \Theta}{|\cos \theta - \cos \Theta|} d\theta = \frac{1}{\pi} (2\Theta - \pi) \quad (19)$$

$$I_5 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} 2\cos \theta \frac{\cos \theta - \cos \Theta}{|\cos \theta - \cos \Theta|} d\theta = \frac{4}{\pi} \sin \Theta \quad (20)$$

$$\begin{aligned} I_6 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (1 + \cos 2\theta) \frac{\cos \theta - \cos \Theta}{|\cos \theta - \cos \Theta|} d\theta \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\Theta - \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \sin 2\Theta \right) \end{aligned} \quad (21)$$

식 (18)의 적분식의 세 항의 표현식 (19)~(21)을 포함하여 정리하면 $|U| < u_m$ 의 조건에서의 평균 점성 표류력은 식 (22)가 된다.

$$\begin{aligned} \overline{F_D} &= \frac{1}{2\pi} \rho C_D D u_m^2 \left\{ \gamma^2 (2\Theta - \pi) + \frac{1}{2} (2\Theta - \pi + \sin 2\Theta) \right. \\ &\quad \left. + 4\gamma \sin \Theta \right\} \end{aligned} \quad (22)$$

3. 수식 계산 결과

본 논문의 2장에서 파랑만 존재하거나 파랑과 조류가 존재하는 경우에서 Splash Zone과 Submerged Zone에서 구한 평균 점성 표류력 해에 대한 각각의 결과 식은 Table 1~3에 구분하기 쉽도록 정리하였다.

Table 1. Analytic solution of viscous mean drift forces on a fixed vertical cylinder in waves.

Case 1	Waves
Splash zone	$\frac{2}{3\pi} \rho g k C_D D \zeta_a^3$
Submerged zone	0

Table 2. Analytic solution of viscous mean drift forces on a fixed vertical cylinder in waves and currents ($|U| \geq u_m$).

Case 2	Waves-currents ($ U \geq u_m$)
Splash zone	$\frac{1}{2} \rho C_D D \zeta_a U u_m$
Submerged zone	$\frac{1}{2} \rho C_D D \left(U^2 + \frac{u_m^2}{2} \right)$

Table 1~3에 있는 평균 점성 표류력의 수식을 바탕으로 점성 효과가 주도적인 실린더 지름 대비 파장의 비인 $D/\lambda < 0.2$ 조건 하에서 (i) 파랑만 존재, (ii) Splash Zone에서 파랑+조류 존재, (iii) Submerged Zone에서 파랑+조류 존재, (iv) Splash Zone + Submerged Zone의 4가지 경우에 대해 파의 진폭을 고정하여 수행한 계산결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 점성 표류력 계산식에서 항력계수 $C_D=1$ 로 가정하였다. 더불어 Fig. 2와 Fig. 3의 계산수행을 위해 본 연구에서 도출된 Table 1~3의 식들에 있는 변수값들의 범위와 가정된 상수들에 대해 Table 4에 정리하였다.

Table 3. Analytic solution of viscous mean drift forces on a fixed vertical cylinder in waves and currents ($|U| < u_m$).

Case 3	Waves-currents ($ U < u_m$)
Splash zone	$\frac{1}{\pi} \rho C_D D \zeta_a^2 u_m^2 \left\{ \gamma^2 \sin \Theta + \frac{1}{12} (\sin 3\Theta + 9\sin \Theta) + \frac{\gamma}{2} (2\Theta - \pi + \sin 2\Theta) \right\}$
Submerged zone	$\frac{1}{2\pi} \rho C_D D u_m^2 \left\{ \gamma^2 (2\Theta - \pi) + \frac{1}{2} (2\Theta - \pi + \sin 2\Theta) + 4\gamma \sin \Theta \right\}$

Table 4. Variables and constants values in the equations in Tables 1 to 3.

Variables & Constants	Value
ρ	1025 (kg/m ³)
g	9.81 (m/s ²)
D	0.075 (m)
C_D	1
$\lambda(k=2\pi/\lambda)$	$0 < D/\lambda < 0.2$
ω	$\omega^2 = gk$
ζ_a	0.05 (m)

Splash Zone 및 Submerged Zone에서 실린더를 지나는 일정한 흐름의 유동을 나타내는 유속에 의한 점성효과를 고려하는 경우와 달리 Splash Zone에서 유속을 고려하지 않는 파랑만 존재하는 경우, 점성효과가 나타나지 않기 때문에 파의 진폭(ζ_a)이 일정한 상태에서 실린더 구조물의 크기에 따라 선형적으로 파랑 표류력이 증가하는 현상을 알 수 있다. 이는 Table 1의 결과식에서 유추해 낼 수 있다. 그러나 파랑과 조류가 동시에 존재하는 경우, 계산의 수월성을 위해 $U=1.5u_m$ 으로 가정한 $|U| \geq u_m$ 조건에서 계산한 Fig. 2의 결과로부터 점성 효과가 주도적으로 나타남을 볼 수 있다. 특히 Fig. 2의 Submerged Zone에서의 평균 표류력 크기가 전체 합산 평균 표류력의 크기에 가장 큰 영향을 끼친다. 이는 Table 2의 식 (17)에 있는 파 입자의 수평방향 속도 진폭 u_m^2 이 $\sim(\omega e^k)^2$ 의 함수이기 때문인데 파장(λ)에 관한 함수로 간략하게 분석하면 대략적으로 $\sim e^{-(1/\lambda)}/\lambda$ 항에 대한 계산이 그래프의 개형으로 나타난다. 따라서 본 연구의 계산에서 D/λ 가 대략적으로 0.04 근처에서 최대값을 형성함을 알 수 있다.

$U=0.75u_m$ 으로 가정한 $|U| < u_m$ 조건에서 계산한 Fig. 3의 결과에서는 조류에 해당하는 유속 U 에 의한 점성효과가 주도적인 D/λ 가 0.1보다 작은 조건에서 Submerged Zone의 파랑과 조류를 포함한 평균 점성 표류력이 다른 경우에 비해 최소 3배에서 10배 이상 큰 계산 결과를 나타낸다. 따라서 Fig. 2와 Fig. 3의 결과를 종합하면 Splash Zone 및 Submerged Zone에서 모두 상당한 점성 효과로 기인한 표류력이 발생하기 때문에 본 연구에서 계산한 결과에 따라 각각의 도출된 표류력이 중요하게 나타나는 D/λ 의 범위를 Table 5에 정리하였다.

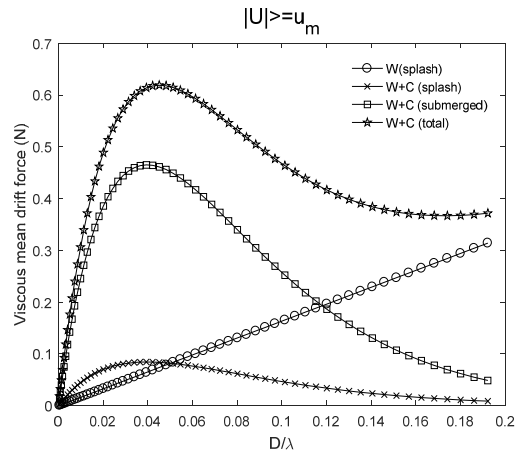


Fig. 2. Viscous mean drift forces ($|U| \geq u_m, U=1.5u_m$) : (i) In waves(-o-), (ii) Waves and currents in the splash zone(-x-), (iii) Waves and currents in the submerged zone(-□-), (iv) Splash zone + Submerged zone(-☆-)

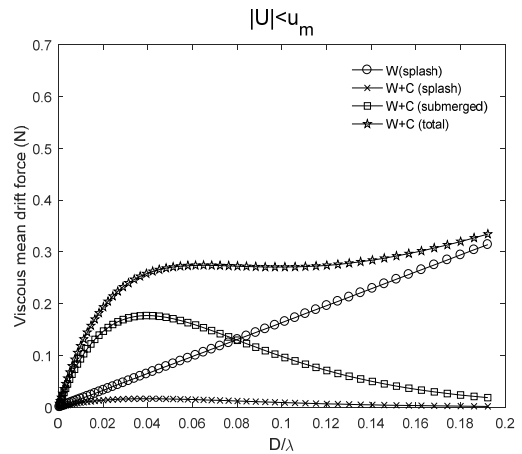


Fig. 3. Viscous mean drift forces ($|U| < u_m, U=0.75u_m$) : (i) In waves(-o-), (ii) Waves and currents in the splash zone(-x-), (iii) Waves and currents in the submerged zone(-□-), (iv) Splash zone + Submerged zone(-☆-)

Table 5. Range of D/λ where each viscous mean drift force is important.

	W(Splash)	W+C (Splash)	W+C (Submerged)
$ U \geq u_m$	$D/\lambda > 0.05$	$0 < D/\lambda < 0.05$	$0 < D/\lambda < 0.2$
$ U < u_m$	$D/\lambda > 0$	-	$0 < D/\lambda < 0.2$

4. 결론

파랑과 조류를 고려한 고정된 수직 실린더에 작용하는 점성 표류력에 대한 수식으로 구한 해석적 해를 유도하였다. 실린더의 수면 위로 나온 부분을 Splash Zone, 수면 아래의 잠긴 부분을 Submerged Zone으로 구분하였다. 파랑이 존재하는 경우는 Splash Zone에서만 고려되고, 파랑과 조류를 포함한 경우는 Splash Zone과 Submerged Zone 모두에서 각각 식을 구하였다. 모리슨 식의 항력부분을 시간 평균하여 구한 식으로부터 계산된 결과로부터 파랑과 조류가 동시에 존재하는 경우, 점성 효과로 인한 상당한 크기의 표류력이 발생하기 때문에 Semi-submersible, Tension-leg Platform 등과 같은 실린더 타입의 해양구조물 설계에 있어서 항력에 기인한 점성 표류력 계산을 염두에 두어야 함을 보여준다. 따라서 본 연구에서 도출한 해석적 해를 나타내는 수식들을 통해 주어진 설계 변수들에 의한 평균 점성 표류력을 계산할 수 있으며, 각각의 Case에 해당하는 표류력의 크기가 구체적인 물리적인 범위 내에서 주도적인 영향을 끼치는지 판단할 수 있는 이론적 근거를 제시한다. 또한, 본 논문의 고정된 실린더 구조물의 경우에 추가적으로 해상에 떠 있는 부유식 실린더 구조물에 작용하는 점성 표류력에 대한 해를 구하여 전산유체시뮬레이션 결과와 비교해볼 예정이다. 또한, 본 연구를 통해 기존의 파랑에 의한 실린더에 작용하는 평균 점성 표류력 뿐만 아니라 조류의 영향까지 포함한 힘을 구할 수 있으며 이론식과 실험 및 시뮬레이션 결과 비교를 통해 고정식 해양구조물 설계 과정에서 실제 항력 계수의 추정에 대한 근거자료로 활용될 수 있다.

References

[1] J. N. Newman, "The drift force and moment on ships in waves," *Journal of Ship Research*, vol.11, no.1, pp. 51-60, 1967.

[2] J. A. Pinkster, "Mean and low-frequency wave drift forces on floating structures," *Ocean Engineering*, vol.6, no.6, pp.593-615, 1979.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0029-8018\(79\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0029-8018(79)90010-6)

[3] S. K. Chakrabarti, D. C. Cotter, "First and second order interaction of waves with large offshore structures," Chicago Bridge & Iron Inc., pp.171-187, 1983.

[4] C. Ferretti, M. Berta, "Viscous effect contribution to

the drift forces on floating structures," *International Symposium on Ocean Engineering and Shiphandling*, 1980.

[5] R. G. Standing, N. M. C. Dacunha, R. B. Marten, "Mean wave drift forces: theory and experiment," *NASA STI/Recon Technical Report*, no.83, 1981.

[6] H. Lundgren, S. E. Sand, J. Kirkegaard, "Drift forces and damping in natural sea states - a critical review of the hydrodynamics of floating structures," Cambridge Massachusetts, vol.2, pp.592-607, 1982.

[7] J. P. F. Denise, N. J. A. Heaf, "Comparison between linear and nonlinear response of a proposed tension leg production platform," *Offshore Technology Conference*, 1979.

[8] J. G. L. Pijfers, A. W. Brink, "Calculated drift forces of two semisubmersible platform types in regular and irregular waves," *Offshore Technology Conference*, 1977.

[9] G. Sebastiani, A. D. Greca, G. Bucaneve, "Characteristics and dynamic behavior of Technomare's tension leg platform," *Hydrodynamics in Ocean Engineering*, Trondheim, Norway, vol.198, pp.947-961, 1981.

[10] A. K. Dev, J. A. Pinkster, "Viscous drift forces on semi-submersibles," *TU Delft, Faculty of Marine Technology, Ship Hydromechanics Laboratory, Report No. 1221-P, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, RINA, Part B*, vol.143, 2001.

신 동 민(Dong Min Shin)

[정회원]



- 2015년 2월 : 한국과학기술원 해양시스템공학전공 (공학석사)
- 2019년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 군산대학교 조선해양기자재 역량강화센터 연구교수

<관심분야>

유체역학, 해양파, 부유체 동역학, 선박 복원성 계산

김 윤 철(Yuncheol Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국산업기술대학교 기계시스템공학전공 (공학석사)
- 2010년 11월 ~ 2013년 11월 : 에이블맥스(주) 대리
- 2014년 1월 ~ 2015년 5월 : (주) 사이버넷시스템즈코리아 대리

- 2015년 11월 ~ 현재 : 군산대학교 조선해양기자재 역량 강화센터 연구원

<관심분야>

전산유체역학, 모션 시뮬레이션, 모션 제어

문 병 영(Byung Young Moon)

[정회원]



- 1998년 9월 : 고베대학교 기계공학전공 (공학석사)
- 2002년 3월 : 고베대학교 기계공학전공 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 2007년 2월 : 부산대학교 연구교수

- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 기업은행 연구위원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 군산대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

해양에너지, 해양구조물 운동, 선박 복원성 계산