

# 조류와 파랑 중의 인장계류식 해양구조물의 거동해석 Behavior Analysis of a Tension Leg Platform in Current and Waves

이승철 · 박찬홍 · 배성용 · 구자삼  
S. C. Lee, C. H. Park, S. Y. Bae and J. S. Goo

(접수일 : 2010년 12월 14일, 수정일 : 2010년 12월 24일, 채택확정 : 2010년 12월 29일)

**Key Words** : Tension Leg Platform(인장계류식 해양구조물), Fluid-structure Interaction(유체구조상호간섭), Finite Element Method(유한요소법), Three Dimensional Source Distribution Method(3차원 특이점 분포법)

**Abstract** : The Tension Leg Platform(TLP) is restrained from oscillating vertically by tethers(or tendons), which are vertical anchor lines tensioned by the platform buoyancy larger than the platform weight. Thus a TLP is a compliant structure which allows lateral movements of surge, sway, and yaw but restrains heave, pitch, roll. In this paper, the motions of a TLP in current and waves were investigated. Hydrodynamic forces and wave exciting forces acting on the TLP were evaluated using the three dimensional source distribution method. The motion responses and tension variations of the TLP were analyzed in the case of including current or not including one in regular waves and effects of current on the TLP were investigated.

## 1. 서 론

21세기의 석유와 가스 생산의 주력 지역이 수심 500m 이상의 심해에서 이루어지고 있는데, 심해의 석유자원의 시추 및 생산을 위한 구조물로는 거친 해상 환경에서도 우수한 작업 성능을 가지는 TLP가 대표적이다. TLP는 부유식과 고정식의 특성을 결합한 유연식 구조물로서 수심 1500m 이상의 깊이, 즉 ultra-deepwater 지역에도 투입이 가능하다. 이 지역에 들어가는 TLP가 무려 전체의 42%에 달하며 수심 500m에서 1000m 사이의 지역에 들어가는 TLP가 약 40%에 달한다<sup>1)</sup>. TLP는 극심한 해상 상황에서 작업을 수행해야 하므로 구조물의 안정성과 운영성 확보를 위해 정확한 운동 해석이 필요하다.

미국, 유럽, 일본 등 해양 선진국에서는 경제적인 TLP의 실용화 기술 개발을 위한 많은 연구와 해양 실험이 진행되었으며<sup>2),3)</sup>, 국내에서도 한국해양연구원 에서 해양공학수조를 활용하여 TLP의 운동 모형시

험과 수치계산 결과의 해석을 수행하였다<sup>4)</sup>. 구 등<sup>5)7)</sup>은 3차원 특이점 분포법과 기존의 탄성응답 해석법을 결합하는 것에 의해 유체력의 정밀평가 및 구성 부재간의 유체역학적인 상호간섭을 고려할 수 있는 규칙과중에서의 TLP의 탄성응답 해석법을 개발하였다. 이<sup>8)</sup>는 ISSC-TLP 실선 구조물에 대한 다방향 불 규칙과중의 운동응답과 변동장력 특성을 평가하였다. 그러나 아직까지 해양구조물에 조류를 고려한 연구는 거의 없는 실정인데, 조류의 영향은 넓은 바다에서는 크지 않지만 특정한 지역에서는 크게 나타난다. 브라질 동부의 Campos Basin 지역에서는 조류가 빠를 경우, 속력이 2.5 m/s에 이르기도 한다.

본 논문에서는 조류와 파랑 중의 TLP의 거동해석을 주제로 TLP의 운동응답 및 변동장력을 평가하였다. 규칙과 중에서의 TLP의 운동응답해석법에 조류를 고려함으로써 보다 정도가 좋은 거동해석을 하는 것을 목적으로 한다. 조류와 파랑 중의 TLP의 운동 특성을 파랑만 작용하였을 때, 파랑과 조류가 동시에 작용할 때로 나누어 파의 입사각의 변화에 따른 TLP의 각 운동방향의 운동특성과 TLP의 계류사에 작용하는 변동장력을 해석하였다.

구자삼(교신저자) : 부경대학교 조선해양시스템공학과  
E-mail : jsgoo@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6615  
이승철: 한국해양대학교 국가지정연구실  
박찬홍 : 부경대학교 조선해양시스템공학과 대학원  
배성용 : 부경대학교 조선해양시스템공학과

## 2. 수치 해석

### 2.1 기본가정 및 좌표계

기본가정으로서 유체는 비압축성, 비점성으로 하고 유체의 운동은 비회전인 것으로 한다. 또, 선체의 운동과 입사파의 유체운동은 미소진폭의 주기운동을 하는 것으로 하고, 각각의 정상상태를 논하기로 한다. 또한 자유표면은 모든 방향으로 무한히 펼쳐져 있는 것으로 하고, 수심이 유한인 경우에는 수심을 일정으로 한다.

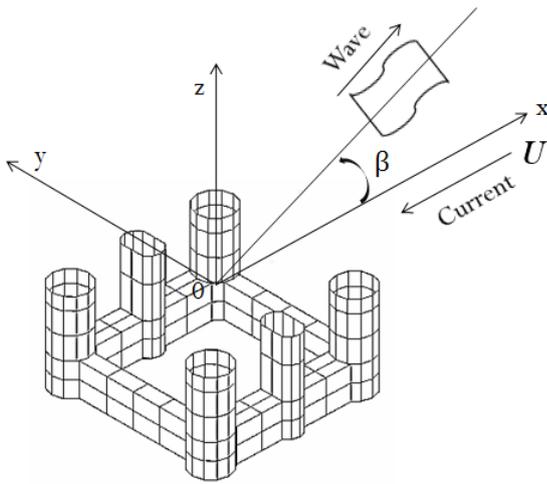


Fig. 1 Coordinate system

TLP는 자유표면에서 동요 주파수  $\omega$  로 운동하는 것으로 하며, 조류는  $x$  축의 음의 방향으로  $U$  의 속도로 흐르는 것으로 한다. 좌표계로서는 Fig. 1에 보는 바와 같이 우수계의 직각좌표계(기준좌표계)  $o-xyz$  를 취하고,  $xy$  평면은 평균수면에 두고,  $z$  축은 연직상방으로 향하고 있는 것으로 한다. 입사파는  $x$  축의 음의 방향에서 양의 방향으로,  $x$  축과  $\beta$  의 각을 이루며 진행하는 것으로 한다.

임의의 운동기준점  $(x_m, y_m, z_m)$  의 각 축방향의 병진운동 및 각 축둘레의 회전운동을 Fig. 2와 같이 정의한다.

또한 Fig. 3과 같이 유체 영역의 경계를 다음과 같이 나타낸다.

$$S = S_H + S_F + S_B + S_R$$

여기서,  $S_H$  는 TLP의 침수표면,  $S_F$  는 자유표면,  $S_B$  는 해저면,  $S_R$  는 무한 원방의 경계면,  $\Omega$  는 유장이다.

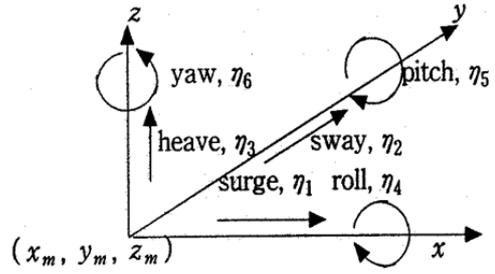


Fig. 2 Definition of motions

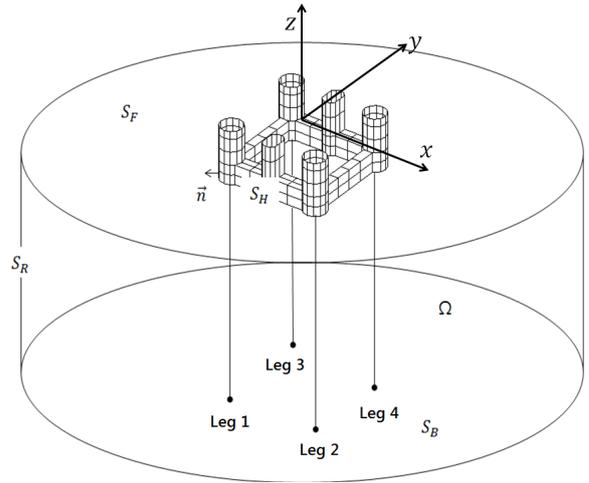


Fig. 3 Boundary surface and fluid region

### 2.2 기초방정식과 경계조건

비회전 완전유체의 유체운동은 다음 식으로 정의되는 속도포텐셜  $\Phi$  에 의해 기술할 수 있다.

$$V = \text{grad } \Phi(x, y, z, t) \quad (1)$$

단,  $V$  는 유체의 속도 벡터이다.

그런데 이 속도포텐셜은 정상포텐셜과 비정상 포텐셜로 나눌 수 있고, 비정상 포텐셜은 입사파의 속도포텐셜과 구속된 TLP에 의한 입사파의 산란을 나타내는 산란 포텐셜 및 정수 중에서 TLP의 운동에 의해 발생하는 방사파를 나타내는 방사 포텐셜의 합으로서 생각할 수 있다.

또한, 방사 포텐셜은 운동자유도에 따라 6성분으로 나눌 수 있다. 따라서 유장 전체의 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z, t) = -Ux + \phi_s(x, y, z) + \tilde{\Phi}(x, y, z, t) \quad (2)$$

$$\tilde{\Phi} = [\phi_I + \phi_D + \sum_{k=1}^6 -i\omega\eta_k\phi_k]e^{-i\omega t} \quad (3)$$

여기서,  $\phi_s$  는 조류에 의한 정상 교란 속도포텐셜로서 본 연구에서는 정상 교란 포텐셜을 무시한다.

또,  $\bar{\phi}$  는 파에 의한 비정상 속도포텐셜,  $\phi_I$  는 입사파의 포텐셜,  $\phi_D$  는 산란 포텐셜,  $\phi_k$  는 운동기준점에서 TLP가 단위 속도 진폭으로  $k$  방향의 운동에 의해 발생하는 방사 포텐셜이다. 또,  $i$  는 허수단위,  $\omega$  는 TLP와 파의 조우 각주파수,  $\eta_k$  는  $k$  방향의 복소 변위 진폭이다.

산란 포텐셜  $\phi_D$  및 방사 포텐셜  $\phi_k$  ( $k=1\sim 6$ ) 은 각각 다음과 같은 경계치 문제의 해로서 구할 수 있다.

$$\nabla^2 \phi_{D,k} = 0 \quad \text{in } \Omega \quad (4)$$

$$[(i\omega + U \frac{\partial}{\partial x})^2 + g \frac{\partial}{\partial z}] \phi_{D,k} = 0 \quad \text{on } S_F \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi_{D,k}}{\partial z} = 0 \quad \text{on } S_B \quad (6a)$$

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \text{grad } \phi_{D,k} = 0 \quad \text{on } S_B \quad (6b)$$

$$\frac{\partial \phi_D}{\partial n} = - \frac{\partial \phi_I}{\partial n} \quad \text{on } S_H \quad (7)$$

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \sqrt{R} \left( \frac{\partial \phi_{D,k}}{\partial R} - ik \phi_{D,k} \right) = 0 \quad \text{on } S_R \quad (8)$$

여기서, 식(6a)는 유한 수심의 경우이고, 식(6b)는 무한수심의 경우이다. 또, 식(8)은 무한 원방에 있어서의 방사조건이며, 무한 원방에 있어서는 산란파, 방사파 둘 다 방사상으로 펼쳐져 가는 진행파 성분만으로 된다고 하는 물리적인 조건을 나타내고 있다. 단,  $R$  은 source 점과 field 점의 수평거리이며,  $k$  는 조우 파수이다.

$n_k$  는 다음 식에 있듯이, 각 축에 평행한 단위 속도 운동에 의한 TLP 표면에서의 운동 속도의 법선방향 성분( $k=1\sim 3$ ) 및 각 축둘레의 단위 각속도 운동에 의한 TLP표면에서의 운동속도의 법선방향성분( $k=4\sim 6$ ) 이다.

$$\begin{aligned} n_1 &= n_x, \quad n_2 = n_y, \quad n_3 = n_z \\ n_4 &= (y - y_m)n_z - (z - z_m)n_y \\ n_5 &= (z - z_m)n_x - (x - x_m)n_z \\ n_6 &= (x - x_m)n_y - (y - y_m)n_x \end{aligned} \quad (9)$$

단,  $n_x, n_y, n_z$  는 각각 TLP 표면상의 단위 법선벡터의  $x, y, z$  성분이며,  $m_k$  는  $\phi_s$  를 무시한다고 가정하고 있으므로 다음의 관계를 만족한다.

$$\begin{aligned} m_k &= 0 \quad (k=1\sim 4) \\ m_5 &= n_3, \quad m_6 = -n_2 \end{aligned} \quad (10)$$

또, TLP의 운동(조우)주파수  $\omega$  가 미분 연산자  $U\partial/\partial x$  보다 훨씬 큰 고주파수로 가정하면( $\omega \gg U \frac{\partial}{\partial x}$ ), 자유표면 경계조건은 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \phi_D}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi_D = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi_k = 0 \quad (k=1\sim 6) \quad (12)$$

그러므로,  $\phi_D, \phi_k(k=1\sim 6)$  는 통상적인 3차원 특이점 분포법에 의해 구할 수 있다.

### 2.3 유체력 및 파강제력

일정 유속  $U$  로 진행하는 조류중에 계류된 TLP에 작용하는 유체력과 모멘트는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_j = - \int \int_{S_H} p \cdot n_j ds = F_j^W + F_j^R + F_j^\delta \quad (13)$$

여기서,  $F_j^W$  는 파강제력과 모멘트,  $F_j^R$  은 동유체력과 모멘트,  $F_j^\delta$  는 복원력과 모멘트이고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_j^W = - \rho \int \int_{S_H} (i\omega + U \frac{\partial}{\partial x}) [\phi_I + \phi_D] e^{-i\omega t} n_j ds \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F_j^R &= - \rho \int \int_{S_H} (i\omega + U \frac{\partial}{\partial x}) \left[ \sum_{k=1}^6 -i\omega \eta_k \phi_k \right] e^{-i\omega t} n_j ds \\ &= \sum_{k=1}^6 \eta_k e^{-i\omega t} (\omega^2 \mu_{jk} + i\omega \nu_{jk}) \end{aligned} \quad (15)$$

$$F_j^\delta = \rho g \int \int_{S_H} z n_j ds \quad (16)$$

여기서,

$$\mu_{jk} = - \frac{\rho}{\omega} \text{Re} \int \int_{S_H} n_j (\omega - iU \frac{\partial}{\partial x}) \phi_k ds \quad (17)$$

$$\nu_{jk} = - \rho \text{Im} \int \int_{S_H} n_j (\omega - iU \frac{\partial}{\partial x}) \phi_k ds \quad (18)$$

식(17)과 식(18)은 각각  $k$  방향의 운동에 의한  $j$  방향에의 부가질량 및 감쇠계수이다.

정수압에 의한 복원력 계수  $K_{ij}$  는 다음과 같다.

$$K_{33} = \rho g S_0 = \rho g \int \int_{S_0} dA$$

$$\begin{aligned}
 K_{34} &= \rho g \int \int_{S_0} (y - y_g) dA - \rho g (y_m - y_g) \int \int_{S_0} dA \\
 K_{35} &= -\rho g \int \int_{S_0} (x - x_g) dA + \rho g (x_m - x_g) \int \int_{S_0} dA \\
 K_{44} &= \rho g (y_m - y_g)^2 \int \int_{S_0} dA \\
 &\quad - 2\rho g (y_m - y_g) \int \int_{S_0} (y - y_g) dA \\
 &\quad + \rho g \int \int_{S_0} (y - y_g)^2 dA + \rho g V_0 (z_b - z_g) \\
 K_{45} &= -\rho g (x_m - x_g) (y_m - y_g) \int \int_{S_0} dA \\
 &\quad + \rho g (x_m - x_g) \int \int_{S_0} (y - y_g) dA \\
 &\quad + \rho g (y_m - y_g) \int \int_{S_0} (x - x_g) dA \\
 &\quad - \rho g \int \int_{S_0} (x - x_g) (y - y_g) dA \\
 K_{46} &= -\rho g V_0 (x_b - x_g) \\
 K_{43} &= K_{34} \quad , \quad K_{53} = K_{35} \quad , \quad K_{54} = K_{45} \\
 K_{55} &= \rho g (x_m - x_g)^2 \int \int_{S_0} dA \\
 &\quad - 2\rho g (x_m - x_g) \int \int_{S_0} (x - x_g) dA \\
 &\quad + \rho g \int \int_{S_0} (x - x_g)^2 dA + \rho g V_0 (z_b - z_g) \\
 K_{56} &= -\rho g V_0 (y_b - y_g) \\
 \text{상기 이외의 성분의 } K_{ij} &= 0 \tag{19}
 \end{aligned}$$

여기서,  $V_0$ 는 배수용적,  $(x_b, y_b, z_b)$ 는 TLP의 부력 중심,  $S_0 = \int \int_{S_0} dA$ 는 수선면적이다.

#### 2.4 계류력

계류력은 초기 장력  $T_p^j$ 와 계류부재 축방향  $z_T^{*j}$ 으로의 변위(신축에 의하여 축강성에 기인하는 장력변동)를 더함으로서 얻을 수 있다. 따라서 계류부재 고정 좌표계에서 계류력 벡터  $\{f_T^{*j}\}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\{f_T^{*j}\} = \left\{ 0 \quad 0 \quad -T_p^j - \frac{EA_t^j}{L^j} w^j \right\}^T \tag{20}$$

여기서,  $EA_t^j$ 와  $L^j$ 는 각각 계류부재의 축강성과 초기길이를 나타낸다.

계류점의 물체고정 국소 좌표계  $o^*j - x^*j y^*j z^*j$ 는 변환행렬  $[C_t^j]^T$ 에 의해 공간고정 국소 좌표계로 변환되고,  $[C_s^j]^T$ 에 의해 공간고정 전체 좌표계와 평행이 되도록 변환된다. 따라서 계류력은 미소변위의 고

차항을 무시하면 다음과 같다.

$$\{F_T^{*j}\} = [C_s^j]^T \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -T_p^j \end{Bmatrix} - [C_s^j]^T \begin{bmatrix} T_p^j/L^j & 0 & 0 \\ 0 & T_p^j/L^j & 0 \\ 0 & 0 & EA_t^j/L^j \end{bmatrix} [C_s^j] [U_t^j] \tag{21}$$

계류점은 핀 결합으로 가정하여 모멘트는 발생하지 않는 것으로 둔다.

$$\{M_T^{*j}\} = \{0\} \tag{22}$$

#### 2.5 운동응답

TLP의 운동이 입사파의 주파수와 조화인 것으로 가정하고 있으므로, 어떤 임의의 운동 기준점의 좌표  $(x_m, y_m, z_m)$  주위의 선형운동 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\sum_{k=1}^6 [-\omega^2 (M_{jk} + \mu_{jk}) - i\omega (\nu_{jk}) + (K_{jk} + K_w)] \eta_k e^{-i\omega t} = F_j^W \quad , \quad (j=1 \sim 6) \tag{23}$$

여기서,  $M_{jk}$ 는 TLP의 관성력 계수,  $K_{jk}$ 는 정수압에 의한 복원력 계수,  $K_w$ 는 계류력에 의한 복원력 계수이다. TLP의 관성력 계수를 구체적으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_{kk} &= m \quad , \quad (k=1 \sim 3) \\
 M_{15} &= -m(z_m - z_g) \quad , \quad M_{16} = m(y_m - y_g) \\
 M_{24} &= m(z_m - z_g) \quad , \quad M_{26} = -m(x_m - x_g) \\
 M_{34} &= -m(y_m - y_g) \quad , \quad M_{35} = m(x_m - x_g) \\
 M_{42} &= M_{24} \quad , \quad M_{43} = M_{34} \\
 M_{44} &= I_{xx} + m(y_m - y_g)^2 + m(z_m - z_g)^2 \\
 M_{45} &= -I_{xy} - m(x_m - x_g)(y_m - y_g) \\
 M_{46} &= -I_{xz} - m(x_m - x_g)(z_m - z_g) \\
 M_{51} &= M_{15} \quad , \quad M_{53} = M_{35} \quad , \quad M_{54} = M_{45} \\
 M_{55} &= I_{yy} + m(x_m - x_g)^2 + m(z_m - z_g)^2 \\
 M_{56} &= -I_{yz} - m(y_m - y_g)(z_m - z_g) \\
 M_{61} &= M_{16} \quad , \quad M_{62} = M_{26} \quad , \quad M_{64} = M_{46} \quad , \quad M_{65} = M_{56} \\
 M_{66} &= I_{zz} + m(x_m - x_g)^2 + m(y_m - y_g)^2 \\
 \text{상기이외의 성분의 } M_{jk} &= 0 \tag{24}
 \end{aligned}$$

여기서,  $(x_g, y_g, z_g)$ 는 TLP의 무게중심,  $m$ 은 TLP의 질량이고,

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \sum [(y - y_g)^2 + (z - z_g)^2] \delta m \\
 I_{yy} &= \sum [(x - x_g)^2 + (z - z_g)^2] \delta m \\
 I_{zz} &= \sum [(x - x_g)^2 + (y - y_g)^2] \delta m \\
 I_{xz} &= \sum (x - x_g) (z - z_g) \delta m \\
 I_{yz} &= \sum (y - y_g) (z - z_g) \delta m \\
 I_{xy} &= \sum (x - x_g) (y - y_g) \delta m \\
 m &= \sum \delta m
 \end{aligned} \tag{25}$$

이다.

### 3. 수치계산 결과 및 고찰

본 운동응답 해석법의 타당성을 검증하기 위해 Fig. 4와 같은 TLP 모형에 대한 실험치<sup>9)</sup> 및 Yoshida 등의 탄성응답 해석법에 의한 계산치<sup>10)</sup>를 본 응답 해석법의 계산치와 비교·검토하기로 한다.

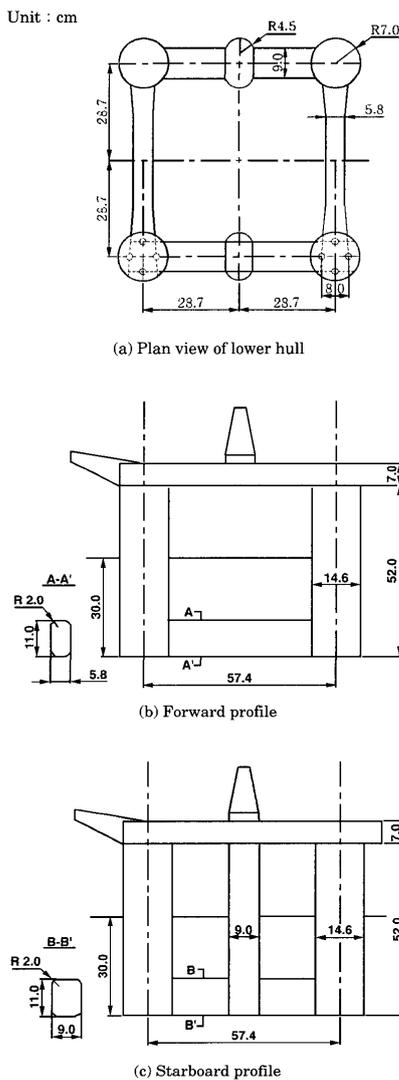


Fig. 4 Configuration of the TLP

Table 1 Particulars of the TLP model

Length	72	cm
Breadth	72	cm
Height	59	cm
Draft	30	cm
Center of gravity above base	36.28	cm
Transverse radius of gyration	36.23	cm
Weight	27.7	kgf
pretension	11.7	kgf
Displacement	39.4	kgf

Table 1은 계산을 하기 위한 실기 구조물의 1/100 모델의 주요목을 나타내고 있다. 구조물에 작용하는 유체력 및 파강제력을 계산하기 위해 Fig. 5와 같이 TLP모델의 침수표면을 544개의 패널로 분할하였다.

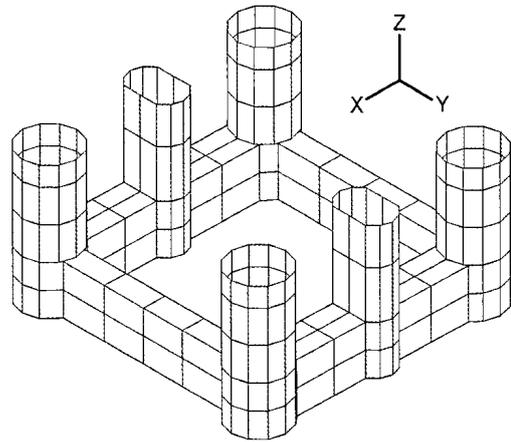


Fig. 5 Submerged surface of Tension Leg Platform represented by 544 panels

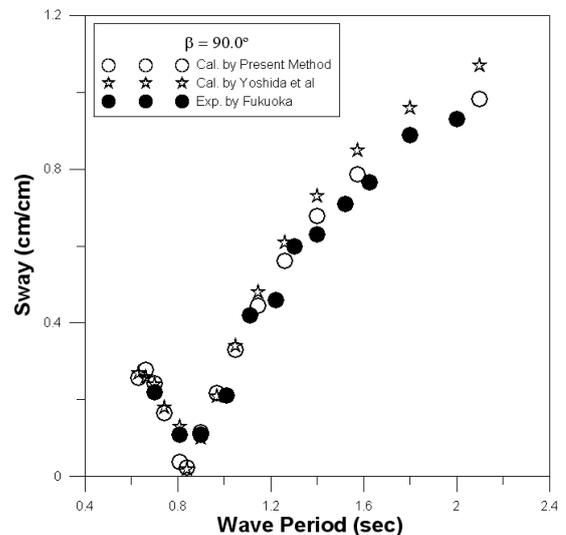


Fig. 6 Sway motions of TLP

Fig. 6은 조류를 고려하지 않았을 때, 파입사각이 90°인 횡파에 대한 Sway 응답을 나타내고 있다. 본 계산 방법에 의한 결과가 Yoshida 등의 방법에 의한 결과보다 더욱 더 실험치와 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

TLP가 주로 설치되는 지역인 북해의 경우, 조류의 속도가 최대 1.5 m/s 이므로 본 논문에서는 조류의 속도를 1.59 m/s ( $F_n = 0.06$ )로 고려하였다.

Fig. 7~ Fig. 8은 조류를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대하여 각각 파의 입사각을 0°~ 180°까지 45°씩 증가시킴에 따른 pitch 운동응답을 나타낸다.

Fig. 7은 조류가 없고, 파만 있는 경우에 대한 pitch 응답으로 파의 입사각이 90°를 기준으로 선수방향과 선미방향으로 각각 45°씩 차이가 남에 따라

같은 응답값을 보인다. 입사각이 90°에서는 응답값이 없고, 0°와 180°에서 가장 높은 응답값이 나타난다.

Fig. 8은 조류와 파가 공존한 경우에 대한 pitch 응답으로 파의 입사각이 90°를 기준으로 선수방향과 선미방향으로 각각 45°씩 차이가 나더라도 다른 응답값이 나타났다. 파의 진행방향과 조류 방향이 동일한 경우( $\beta = 180^\circ$ )에 가장 높은 peak 값이 나타났다.

Fig. 9는 파의 입사각이 90°일 경우의 Roll 응답으로 조류의 유무에 따른 응답값의 차이가 없으므로 조류의 영향이 없음을 알 수 있다.

Fig. 10~Fig. 11은 파의 입사각이 0°와 180°인 경우의 Pitch 응답을 보인다. 파의 입사각이 0°일 때 조류의 유무에 따른 peak 값의 차이가 가장 두드러지게 나타나는데, 조류가 있는 경우의 응답이 조류가 없는

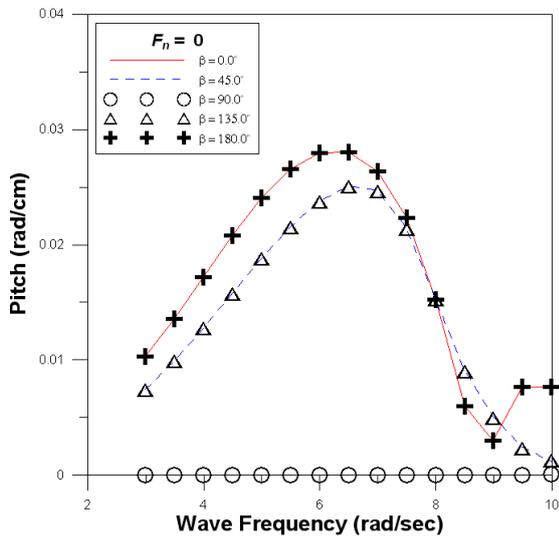


Fig. 7 Pitch motions of TLP at  $F_n = 0$

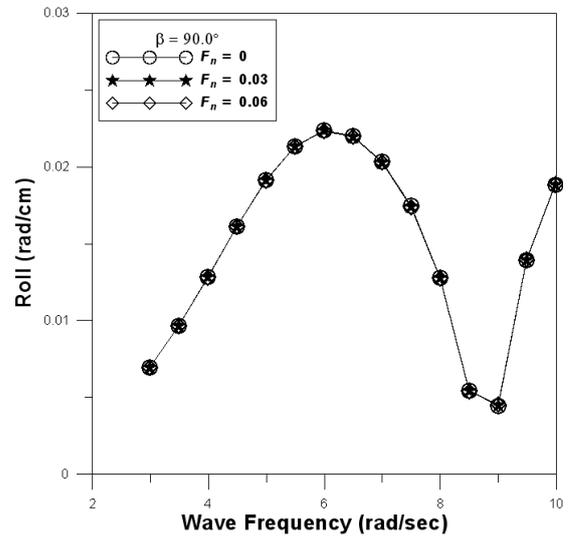


Fig. 9 Roll motions of TLP

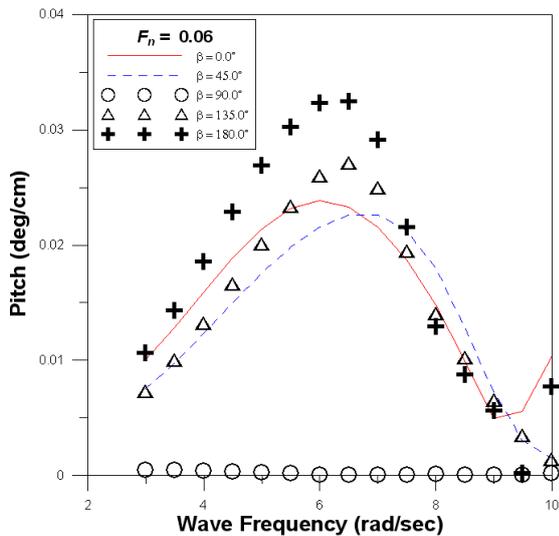


Fig. 8 Pitch motions of TLP at  $F_n = 0.06$

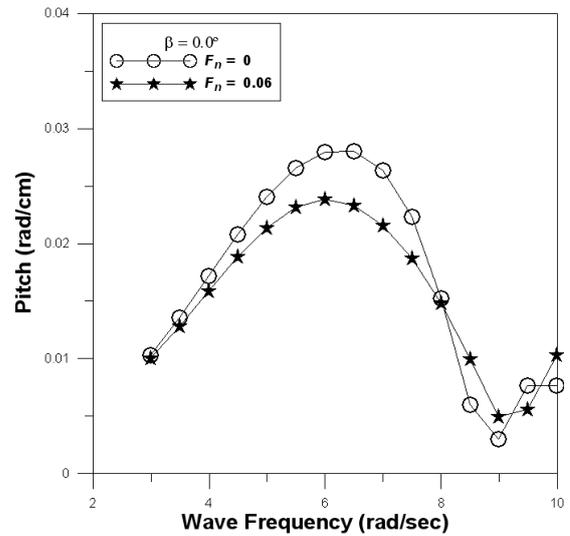


Fig. 10 Pitch motions of TLP

경우보다 14.3% 감소함을 알 수 있다. 또한, 파의 입사각 180°에서 조류가 있는 경우의 응답이 peak치에서 조류 영향으로 12.5% 증가함을 알 수 있다.

Fig. 12~Fig. 14는 조류의 유무에 따라 4개의 계류점에서 파의 입사각 변화에 따른 변동장력을 나타내고 있다. 선미파와 횡파, 선수파에서 파상측(Weather Side) 계류식들과 파하측(Lee Side) 계류식들은 각각 동일한 변동장력 응답이 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig.12는 파의 진행방향과 조류 방향이 반대인 경우( $\beta = 0^\circ$ )이다. 조류가 있을 때가 조류가 없을 때보다 파하측인 Leg 2와 Leg 4의 변동장력 응답이 16.9% 낮게 나타났고, 파상측인 Leg 1과 Leg 3에서는 9.7% 낮게 나타났다. Fig. 13은 파의 입사각이 90°인 경우로, 조류의 유무에 상관없이 변동장력

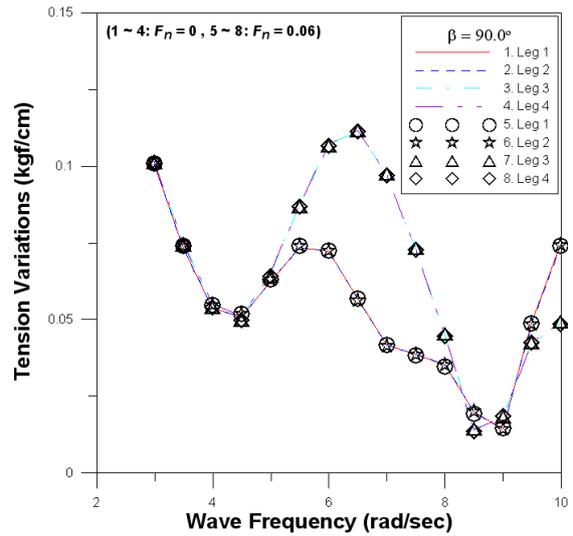


Fig. 13 Tension variations in legs  $\beta = 90^\circ$

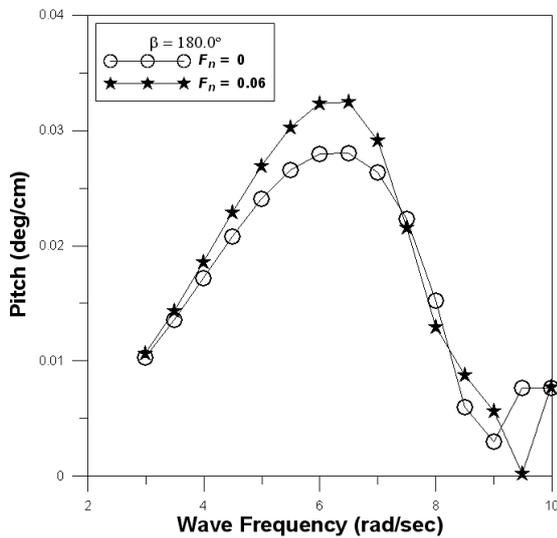


Fig. 11 Pitch motions of TLP

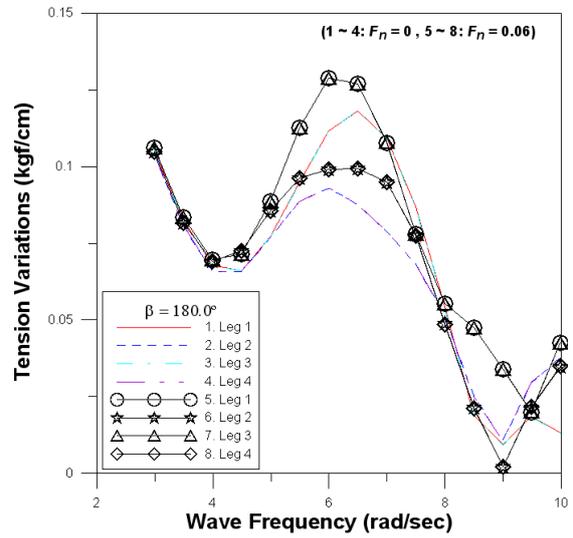


Fig. 14 Tension variations in legs  $\beta = 180^\circ$

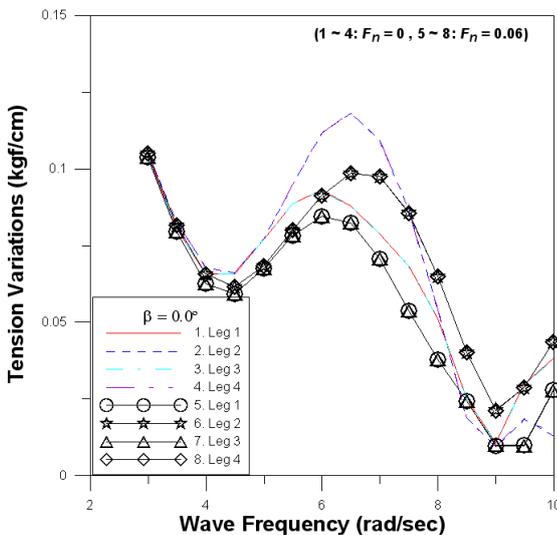


Fig. 12 Tension variations in legs  $\beta = 0^\circ$

응답이 동일함을 알 수 있다. Fig.14는 파의 진행방향과 조류 방향이 동일한 경우( $\beta = 180^\circ$ )이다. 조류가 있을 때가 조류가 없을 때보다 파상측인 Leg 1과 Leg 3의 변동장력 응답이 8.5% 높게 나타났고, 파상측인 Leg 2과 Leg 4에서는 6.1% 높게 나타났음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 취급한 계산모델 및 계산조건 하에서 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

(1) 파랑만 있을 때와 파랑과 조류가 공존할 때로 나누어 TLP의 운동특성과 계류식에 작용하는 변동장력을 해석하였다.

(2) 파의 진행방향을 변화시켜 일정 조류속도에 따른 TLP의 거동 해석에서 TLP의 운동과 변동장력이 파의 입사각의 변화에 따라 상이함을 알 수 있었다.

(3) 파의 진행방향과 조류 방향이 동일한 경우( $\beta = 180^\circ$ ), Pitch 운동 응답은 peak치에서 조류 영향으로 12.5% 증가하였고, 파하측(Lee Side) 계류삭의 변동장력은 peak치에서 8.5% 증가했다.

(4) 운동응답이나 변동장력은 조류 속도와 입사각의 변화에 따라 많은 영향을 받지만, 파의 입사각이  $90^\circ$ 인 경우에는 조류 영향이 거의 없었다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0026578)

## 참고문헌

1. 정하찬, 임성우, 김용환, 2007, “석유생산 해양구조물의 수요 전망 II: 종류별 분석 및 국내 조선업계의 장단점 분석”, 대한조선학회지, 제 43권, 제 2호, pp 62-68.
2. Teigen, P. and Haver, S, 1998, “The Heidrun TLP : measured versus predicted response”, Applied Ocean Research 20, pp. 27-35.
3. Zou, J, 2003, “TLP Hull/Tendon/Riser Coupled Dynamic Analysis in Deepwater”, Proc. of 13th IOPEC, pp. 160-166.
4. 김진하, 홍사영, 최윤락, 홍섭, 김현조, 2000, “심해 인장각 플랫폼의 모형시험 연구(II) -모형시험 및 해석-”, 한국해양공학회 춘계학술대회논문집, pp. 69-74.
5. 구자삼, 조효제, 이창호, 1995, “대형해양구조물 표류력해석”, 한국기계연구원 위탁연구보고서.
6. 구자삼, 김진하, 이창호, 1995, “인장계류식 해양구조물(TLP)의 동적응답해석(I)”, 한국해양공학회지, 제 9권, 제 1호, pp. 161-172.
7. 구자삼, 박찬후, 이창호, 1996, “인장계류식 해양구조물(TLP)의 동적응답해석(II)”, 한국해양공학회지, 제 10권, 제 1호, pp. 25-35.
8. 이창호, 2006, “ISSC-TLP의 운동응답 및 변동장력에 미치는 다방향 불규칙파의 영향”, 한국해양공학회지, 제 20권 4호, pp. 70-75.
9. Fukuoka, T., 1988, “Elastic Response Analysis of JOIA-TLP”, Misui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.
10. Yoshida, K., Ozaki, M., and Oka, N, 1983, “Structural Response Characteristics of Taut Moored Platforms”, J. of SNAJ, Vol. 152, pp. 329-335.