

# ISSC-TLP의 운동응답 및 변동장력에 미치는 다방향 불규칙파의 영향

이창호\*

\*동명대학교 조선공학과

## Effects of the Multi-directional Irregular Waves on the Motion Responses and Tension Variations of ISSC-TLP

CHANG-HO LEE\*

\*Department of Naval Architecture, Tongmyong University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Multi-directional irregular waves 다방향 불규칙파, Motion responses 운동응답, Tension variations 변동장력, TLP(Tension leg platform) 인장계류식 해양구조물, Spectral analysis 스펙트럴 해석, Frequency domain 주파수 영역

**ABSTRACT:** A numerical procedure is described for estimating the effects of the multi-directional irregular waves on the motion responses and tension variations of the ISSC-TLP. The numerical approach is based on a three-dimensional source distribution method and a spectral analysis technique of directional waves. The spectral description for the linear system of ISSC-TLP in the frequency domain is sufficient to completely define the motion responses and tension variations. This is because both the wave inputs and responses are stationary Gaussian random processes, of which the statistical properties in the amplitude domain are well known. The numerical results for the linear motion responses and tension variations in regular waves are compared with the experimental and numerical ones, which are obtained in the literature. The results of comparison confirmed the validity of the proposed approach.

### 1. 서 론

해양에 관련된 공학 기술은 해양 심해저의 석유와 천연가스의 개발과 더불어 급속히 발전하였으며, 21세기의 해양개발은 수심 500m이상의 대수심역에서의 해양공간이용 및 해저 자원과 에너지의 개발을 중심으로 이루어질 것으로 예상된다(Mercier et al. 1991). 인장계류식 해양구조물(Tension leg platform, TLP)은 대수심역 석유자원의 시추 및 생산을 위한 대표적인 구조물로서 현재까지 많은 관심을 모으고 있다.

미국, 유럽, 일본 등 해양 선진국에서는 경제적인 TLP의 실용화 기술 개발을 위한 많은 연구와 해양실험이 진행되었으며 (Teigen and Haver, 1998; Zou, 2003; Kanetsuna et al., 1994), 국내에서도 한국해양연구원에서 해양공학수조를 활용하여 TLP의 운동 모형시험과 수치계산 결과의 해석을 수행하였다(김진하 등, 1999; 2000).

Yoshida et al. (1983)등은 반잠수식 해양구조물, TLP의 탄성응답 해석법에 의한 전체 구조응답 해석법을 개발하였다. 그러나 이들의 탄성응답 해석법은 세장체 가정에 근거를 두는 유체력의 근사평가 및 구성부재간의 유체역학적인 상호간섭을 무시하는 것에 의해 성립되고 있다. 그래서 구자삼 등(1995; 1996)은 3차원 특이점분포법과 기존의 탄성응답 해석법을 결합하는 것에 의해 유체력의 정밀 평가 및 구성 부재간의 유체역학적 상호

간섭을 고려할 수 있는 규칙파중에서의 TLP의 탄성응답 해석법을 개발하였다. 또한, Jo et al.(1992), Sand et al.(1987)은 이론 및 실험을 통하여 선형 중첩에 의해 다방향파(단파정파)중의 해양구조물에 대한 선형응답을 정도 좋게 추정할 수 있다는 것을 실증하였다.

본 논문에서는 ISSC-TLP를 강제로 가정하여 규칙파 중에서의 운동응답 및 변동장력 해석 결과를 KRISO의 계산결과(김진하 등, 2000) 및 Marin의 시험치(Gie and de Boom, 1981)와 비교하였으며, 실험역과 유사한 다방향 불규칙파중에서의 운동응답과 변동장력 해석을 수행하여 다방향불규칙파의 영향을 평가하였다.

### 2. 이론 해석

#### 2.1 기초방정식과 경계조건

운동방정식의 정식화를 위하여 좌표계는 정수면상에 원점  $O$ 를 가지고,  $Z$ 축의 양의 방향이 상방으로 향하는 공간고정 좌표계  $O-XYZ$ , 물체와 함께 운동하는 물체고정 좌표계  $\hat{O}-\hat{X}\hat{Y}\hat{Z}$  및 공간고정 좌표계와 평행한 물체고정 좌표계  $O'-X'Y'Z'$ 를 사용하였으며, 유체는 비점성, 비압축성인 이상유체로 가정하고, 유체의 운동은 비회전인 것으로 가정하면 유체의 속도는 다음 식으로 정의되는 속도포텐셜에 의해 기술할 수 있다.

$$V = \nabla \phi(X, Y, Z, t) \tag{1}$$

교신저자 이창호: 부산광역시 남구 용당동 505

051-620-3400 chlee829@hanmail.net

여기서  $V$  는 유체의 속도벡터이고, 속도포텐셜은 입사파의 포텐셜과 구속된 부체에 의한 입사파의 산란을 나타내는 산란 파 포텐셜 및 부체의 운동에 의해 발생하는 방사파 포텐셜의 합으로서 생각할 수 있다. 또 방사파 포텐셜은 그 자유도에 따라 6개의 성분으로 나눌 수 있으며, 이 경우에 유체장 전체의 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(X, Y, Z, t) = Re\{\phi(X, Y, Z) e^{-i\omega t}\} \quad (2)$$

$$\phi = \phi_I + \phi_D + \sum_{j=1}^6 (-i\omega \eta_j \phi_j) \quad (3)$$

여기서  $a$ 는 평면 입사파의 진폭이며,  $\phi$  는 복소 속도포텐셜,  $\phi_I$ 는 입사파의 속도포텐셜,  $\phi_D$ 는 산란 포텐셜,  $\phi_j$ 는 단위 속도 진폭으로  $j$ 방향의 운동에 의해 발생하는 방사 포텐셜이다. 또,  $i$ 는 허수단위,  $\omega$ 는 평면 입사파의 각주파수,  $\eta_j$ 는  $j$ 방향의 복소 변위 진폭이다. 또한,  $x$ 축의 음의 방향에서 양의 방향으로,  $x$ 축과  $\beta$ 의 각을 이루며 입사하는 평면 입사파의 포텐셜은 유한수심의 경우에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_I = \frac{g}{i\omega} \frac{\cosh k_0(z+h)}{\cosh k_0 h} e^{ik_0(x \cos\beta + y \sin\beta)} \quad (4a)$$

또, 무한 수심의 경우에는 다음과 같이 된다.

$$\phi_I = \frac{g}{i\omega} e^{k_0 z} e^{ik_0(x \cos\beta + y \sin\beta)} \quad (4b)$$

여기서,  $g$ 는 중력 가속도,  $h$ 는 수심,  $k_0$ 는 파수이다. 또, 파수  $k_0$ 는, 유한 수심의 경우에는 다음 식의 실정근이다.

$$k_0 \tanh k_0 h = \frac{\omega^2}{g} = K \quad (5a)$$

또, 무한수심의 경우에는 다음 식의 실정근이다.

$$k_0 = \frac{\omega^2}{g} = K \quad (5b)$$

식 (3)에서의 복소 속도포텐셜  $\phi$ 는 유체 내부에서의 유체의 연속성을 나타내는 지배방정식인 Laplace 방정식을 만족하며, 자유표면에 있어서의 운동학적, 역학적 조건, 유한 수심의 경우의 해저면에서의 불투과 조건, 무한 수심의 경우의 해저면에서의 유체는 유속을 갖지 않는 조건, 부체 침수표면에 있어서의 부체와 유체의 속도의 연속조건을 나타내는 경계 조건을 만족하는 함수이다. 또, 산란 포텐셜  $\phi_D$ 와, 방사 포텐셜  $\phi_j$ 는 산란파 경계치 문제의 해와 방사파 경계치 문제의 해로 나누어 구할 수 있으며, 물체의 형상이 복잡한 경우에는 경계치문제를 해석적으로 구할 수 없기 때문에 이것을 Green 함수와 Green정리를 이용하여 적분 방정식으로 변환한 후에 수치적으

로 푸는 것에 의해 해를 구하면, 산란 포텐셜  $\phi_D$ 와 방사 포텐셜  $\phi_j$ 가 얻어지며, 식 (3)과 같이 선형중첩에 의해 전체 속도 포텐셜을 구할 수 있다.

### 2.2 유체력 및 파강제력

부체의 운동에 의한 유체 반력인 유체력을 고려하기 위해 방사 포텐셜  $\phi_j$  ( $j=1 \sim 6$ )는 단위속도 진폭으로  $j$ 방향의 운동에 의해 발생하는 포텐셜이므로,  $j$ 방향의 운동  $\eta_j e^{-i\omega t}$ 에 의해 생기는 방사 포텐셜은  $-i\omega \eta_j \phi_j e^{-i\omega t}$ 이다. 따라서, 그때의  $k$ 방향의 유체반력은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} f_{kj} e^{-i\omega t} &= - \int \int_{S_H} [-\rho \phi_{j,c} n_k] dS \cdot (-i\omega)^2 \eta_j e^{-i\omega t} \\ &\quad - \int \int_{S_H} [-\rho \omega \phi_{j,s} n_k] dS \cdot (-i\omega) \eta_j e^{-i\omega t} \\ &= - \mu_{kj} \frac{\partial^2 (\eta_j e^{-i\omega t})}{\partial t^2} - \nu_{kj} \frac{\partial (\eta_j e^{-i\omega t})}{\partial t} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서

$$\mu_{kj} = -\rho \int \int_{S_H} \phi_{j,c} n_k dS$$

$$\nu_{kj} = -\rho \omega \int \int_{S_H} \phi_{j,s} n_k dS, \quad (j, k = 1 \sim 6) \quad (7)$$

이고, 윗 식이 유체력 계수의 표시식이며, 각각  $j$ 방향의 운동에 의한  $k$ 방향에의 부가질량 및 감쇠계수이다. 왜냐하면  $\eta_j e^{-i\omega t}$ 는 부체의  $j$ 방향의 변위이므로 식 (7)은 부체의 운동에 의해 부체 자신이 받는 힘이 운동가속도 및 운동속도에 비례하는 성분으로 이루어져 있기 때문이다. 또, 식 (7)의 음의 부호는 운동 방향과 반대로 힘이 작용하는 것을 의미한다. 만약 유체력 계수가 음이라 하면 운동 방향으로 반력이 작용하는 것을 의미한다.

다음에는 구속된 부체에 파가 입사한 경우의 변동 유체압력에 의한 힘, 즉 파강제력을 생각한다. 이 유체압력  $P_w$ 는 평면 입사파의 속도포텐셜  $\phi_I$ 와 평면 입사파에 의한 산란 포텐셜  $\phi_D$ 를 이용하여 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} P_w(X, Y, Z, t) &= -\rho \frac{\partial}{\partial t} \{(\phi_I + \phi_D) e^{-i\omega t}\} \\ &= i\omega \rho (\phi_I + \phi_D) e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (8)$$

이 유체압력  $P_w$ 에 의한  $k$ 방향의 파 강제력을  $F_k e^{-i\omega t}$ 라 하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} F_k e^{-i\omega t} &= - \int \int_{S_H} P_w n_k dS \\ &= - \int \int_{S_H} i\omega \rho (\phi_I + \phi_D) n_k dS \cdot e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (9)$$

따라서 파강제력의 복소진폭  $F_k$ 는 다음과 같다.

$$F_k = -i\rho\omega \iint_{S_H} (\phi_I + \phi_D) n_k dS, \quad (k=1 \sim 6) \quad (10)$$

산란 포텐셜  $\phi_D$ 가 구해지면 윗 식에 의해 파강제력을 계산할 수 있다.

### 2.3 계류력

4개의 계류 요소의 정적 평행 상태에서의 길이를  $L_0^j$  ( $j=1 \sim 4$ )라 하고, 축강성을  $EA^j$ 라 하면, 초기장력  $T_p^j$ 는 다음과 같이 된다.

$$T_p^j = \frac{EA^j}{L_0^j} w^j \quad (11)$$

여기서,  $w^j$ 는 초기 장력  $T_p^j$ 에 의한 신장량이다.

공간고정 좌표계에 있어서 정적 평행 상태의 계류 요소와 상부 구조의 결합점(계류점) 및 계류 요소와 앵커(Anchor)와의 결합점의 위치 벡터를 각각  $\{X_{m0}^j\} = \{X_{m0}^j, Y_{m0}^j, Z_{m0}^j\}$ ,  $\{X_b^j\} = \{X_b^j, Y_b^j, Z_b^j\}$ 라 하면,  $L_0^j$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$L_0^j = \{(X_{m0}^j - X_b^j)^2 + (Y_{m0}^j - Y_b^j)^2 + (Z_{m0}^j - Z_b^j)^2\}^{1/2} \quad (12)$$

또, 계류 요소의 길이  $L^j$ 와 장력  $T^j$ 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$L^j = \{(X_m^j - X_b^j)^2 + (Y_m^j - Y_b^j)^2 + (Z_m^j - Z_b^j)^2\}^{1/2}$$

$$T^j = \frac{EA^j}{L_0^j} (L^j - L_0^j + w^j) \quad (13)$$

### 2.4 운동 방정식

부체의 운동이 입사파의 주파수와 조화인 것으로 가정하면 임의의 운동 기준점의 좌표  $(x_m, y_m, z_m)$ 에 대한 운동 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1}^6 [-\omega^2(M_{ki} + \mu_{ki}) - i\omega\nu_{ki} + (C_{ki} + C_{ki}')] U_i = F_k, \quad (k=1 \sim 6) \quad (14)$$

여기서,  $M_{ki}$ 은 부체의 관성력 계수,  $C_{ki}$ 은 정수압에 의한 복원력 계수,  $C_{ki}'$ 는 계류계에 의한 복원력 계수이다.

### 2.5 다방향 스펙트럼

다방향파의 스펙트럼  $S_{\zeta\zeta}(\omega, \chi)$ 는 다음과 같이 방향분포함

수(Directional distribution function)  $D(\omega, \chi)$ 와 일차원 파 스펙트럼  $S_{\zeta\zeta}(\omega)$ 를 이용하여 표현할 수 있다.

$$S_{\zeta\zeta}(\omega, \chi) = D(\omega, \chi) S_{\zeta\zeta}(\omega) \quad (15)$$

방향분포함수의 일반적인 모델은 주파수에 대해 독립인 코사인함수로써 다음과 같이 표현된다.

$$D(\chi) = \frac{\Gamma(S+1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(S + \frac{1}{2})} \cos^{2S}(\chi - \theta_0) \quad (16)$$

여기서,  $\chi = \theta + \theta_0$ 이다.

단,  $\theta_0$ 는 입사파의 주방향,  $\theta$ 는 주방향과 성분파의 진행방향이 이루는 각을 표시하고,  $s$ 는 에너지의 방향에 따른 분포를 나타내는 파라메타이고,  $s \rightarrow \infty$ 일 때, 일방향파(One-directional waves) 즉, 장파정파가 된다. 그리고 방향분포 파라메타  $s$ 를 변화시켜도 에너지가 일정하게 되도록 다음과 같이 정규화 시킬 필요가 있다.

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} D(\theta) d\theta = 1 \quad (17)$$

본 연구에서 사용된 일차원 파 스펙트럼은 ISSC 스펙트럼으로 다음과 같이 표현된다.

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{1}{2\pi} 0.11 H_{1/3}^2 T_1 \left(\frac{T_1}{2\pi}\omega\right)^{-5} \text{EXP}[-0.44 \left(\frac{T_1}{2\pi}\omega\right)^{-4}] \quad (18)$$

여기서,  $\omega$ 는 파의 원주파수(Circular frequency, rad/sec),  $H_{1/3}$ 는 유의파고(Significant wave height),  $T_1$ 은 평균주기(Mean period)이다.

선형 입출력계에 있어서, 입력에 대한 출력은 단위 충격 응답 함수(unit impulse response function)와 입력의 시간력과의 콘볼루션 적분으로 표현되어진다. 여기서는 입력으로서 방향파의 수면 상승량  $\zeta(t, x)$ 를 취했을 때 출력을 ISSC-TLP의 각 응답  $x(t, x)$ 로 표시한다. 단  $t$ 는 시간,  $x$ 는 위치벡터를 나타낸다. 수면 상승량 및 응답의 자기상관함수는 다음과 같이 표기된다.

$$R_{\zeta\zeta}(\tau, \delta) = E[\zeta(t, x) \cdot \zeta(t+\tau, x+\delta)] \quad (19)$$

$$R_{xx}(\tau, \delta) = E[x(t, x) \cdot x(t+\tau, x+\delta)] \quad (20)$$

이때,  $\tau$ 는 시간차이고,  $\delta$ 는 위치벡터의 차를 나타낸다. 응답의 자기 상관함수는 단위 충격함수를 이용하여 표현하면 다음과 같이 주어진다.

$$R_{xx}(\tau, \delta) = \iiint \iiint \iiint \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1, \delta_1) h(\tau_2, \delta_2)$$

$$\begin{aligned} & \cdot E[\zeta(t-\tau_1, x-\delta_1) \zeta(t+\tau-\tau_2, x+\delta-\delta_2)] d\tau_2 d\delta_2 d\tau_1 d\delta_1 \\ & = \int \int \int \int \int \int \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau_1, \delta_1) h(\tau_2, \delta_2) \\ & \quad \cdot R_{\zeta\zeta}(\tau+\tau_1-\tau_2, \delta+\delta_1-\delta_2) d\tau_2 d\delta_2 d\tau_1 d\delta_1 \end{aligned}$$

여기서, Wiener-Khintchine 공식

$$R_{xx}(\tau, \delta) = \int \int \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(\omega, K) e^{i(K\delta - \omega\tau)} dK d\omega \quad (21)$$

을 위 식에 대입하면 다음과 같이 응답 스펙트럼이 구해진다.

$$S_{xx}(\omega, K) = |H_{x\zeta}(\omega, K)|^2 S_{\zeta\zeta}(\omega, K) \quad (22)$$

주방향  $\theta_0$  인 다방향파에 대한 주파수 응답 스펙트럼  $S_{xx}(\omega, \theta_0)$  는 다음과 같이 주어진다.

$$S_{xx}(\omega, \theta_0) = \int_{-\pi}^{\pi} |H_{x\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)|^2 S_{\zeta\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta) d\theta \quad (23)$$

단,  $H_{x\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)$  는 2.4절의 운동 방정식에서 구해지는 단위 진폭의 규칙파에 대한 ISSC-TLP의 주파수 응답함수이고,  $S_{\zeta\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)$  는 다방향파 스펙트럼을 나타내고 있다.

이와같은 방법으로 동적응답 스펙트럼이 구해지면 다방향 불규칙파중에서의 동적응답진폭의 유의치(Significant value)는 다음과 같이 구해진다.

$$X_{1/3}(\theta_0) = 2.0 \sqrt{m_0(\theta_0)} \quad (24)$$

$$m_0(\theta_0) = \int_0^{\infty} S_{xx}(\omega, \theta_0) d\omega \quad (25)$$

여기서  $m_0(\theta_0)$  는 스펙트럼의 0차 모멘트로서 분산을 나타낸다.

### 3. 수치계산 및 결과 고찰

본 논문에서는 ISSC TLP의 실선을 수치계산 모델로 사용하였으며, ISSC TLP의 실선에 대한 주 요목은 Table 1과 같으며, 파 강제력과 동 유체력을 계산하기 위해 ISSC TLP의 침수 표면을 800개의 패널로 분할하였다.

Fig. 1은 파 입사각이  $157.5^\circ$  인 일방향파에 대한 Surge, Sway, Yaw운동 응답을 나타내고 있으며, Fig. 2는 4개의 계류점에서의 변동장력을 나타내고 있다. 그림에서 흑점(●)은 MARIN의 실험치이고, 원(○)은 KRISO의 계산치를 나타내고 있으며, 실선은 본 논문에서 계산된 값이다. KRISO의 계산치와는 거의 일치하고 있으며, MARIN의 실험치와도 좋은 결과를 보여주고 있으며, 본 논문에서의 해석법이 타당함을 보여주고 있다.

**Table 1** The Technical Data of ISSC TLP Prototype

Spacing between column centre lines	86.25 m
Total platform height	67.5 m
Operating draft	35.0 m
Displacement	54500 ton
Platform weight	40500 ton
Total system pre-tension in tethers	14000 ton
Vertical position of C.O.G. above keel	38 m
Gyradius of Pitch(Roll)	45.1 m
Gyradius of yaw	49.21 m
Length of the mooring tethers	415 m

ISSC TLP 실선 모델에 대한 다방향 불규칙파중의 운동응답 및 변동장력 해석의 계산에 사용된 일차원 파 스펙트럼은 유의 파고  $9.8m$  이고, 평균주기  $13.7sec$  인 ISSC 스펙트럼이고, 수심은  $450m$ , 방향분포 파라메타  $S$ 는 1에서 무한대까지 변화시키면서 계산을 수행하였다. 방향분포 파라메타  $S$ 가 무한대이면 일방향파를 나타내고,  $S$ 가 작아짐에 따라 다방향으로 에너지가 분산됨을 나타낸다. 방향분포 파라메타  $S$ 가 변하더라도 모든 파의 에너지는 일치하도록 하였다.

Fig. 3은 ISSC TLP에 작용하는 운동응답의 유의치를 나타내고 있다. 주방향파와 주방향을 중심으로 양쪽으로  $5^\circ$  씩 취한 18개의 성분파를 합하여 37개의 다방향파로 계산한 결과이다. 가로축은 파의 주방향을  $0^\circ$  에서  $5^\circ$  씩 변화시키면서  $90^\circ$  까지 나타내고 있고, 세로축은 유의치를 취한 통계치의 변화를 나타내고 있다.

Surge, Sway, Roll, Pitch 운동모드에 대해서는 방향분포 파라메타  $S$ 의 변화에 따른 다방향파의 영향이 확연히 나타나고 있으며, 일방향파와 비교해 보면 일방향파의 운동 응답이 크게 나타나는 주방향에 대해서는 다방향파의 영향으로 운동 응답이 작게 나타나고, 일방향파의 운동 응답이 작게 나타나는 주방향에 대해서는 다방향파의 영향으로 운동 응답이 크게 나타남을 알 수 있다. 또 주방향이  $0^\circ$  인 경우 일방향파의 경우에는 Sway와 Roll 응답이 0 이지만, 다방향파의 영향을 고려하면 운동응답이 크게 나타남을 알 수 있다. 주방향이  $90^\circ$  인 경우의 Surge와 Pitch 응답도 마찬가지로 현상이 발생하고 있다.

Heave, Yaw 운동 모드에 대해서는  $S$ 의 변화에 따른 운동의 변화는 거의 나타나지 않으며, 다방향파의 영향으로 응답이 평균화 되고 있음을 알 수 있다.

ITTC에서 권장하는 방향분포와 동일한 형으로 주어지는  $S=2$  인 경우에 해당하는 다방향파와 일방향파에 대한 운동응답을 비교해 보면, Surge, Sway 운동 응답은 응답의 peak치에서 다방향파의 영향으로 8.3% 응답이 감소함을 알 수 있고, Roll, pitch 운동 응답에서는 12.5% 응답이 감소하며, Yaw 운동 응답에서는 28.3% 응답이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 4는 4개의 계류점에 연결된 ISSC TLP 계류부재의 변동장력의 유의치를 나타내고 있다. 변동장력의 유의치에서도 운동응답의 경향과 유사하게 다방향파의 영향으로 변동장력 응답이

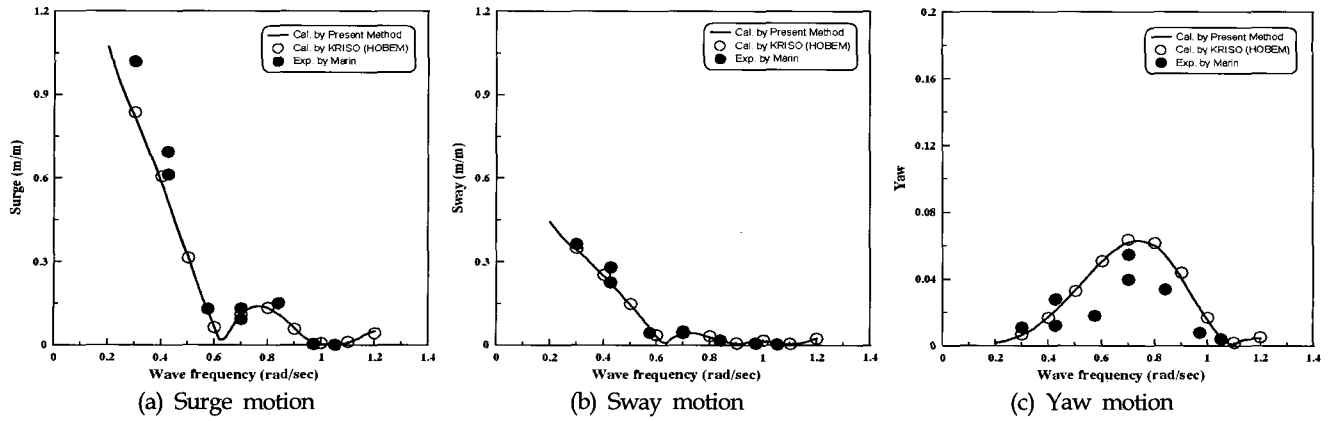


Fig. 1 Motion responses of ISSC TLP in regular waves (Heading = 157.5°)

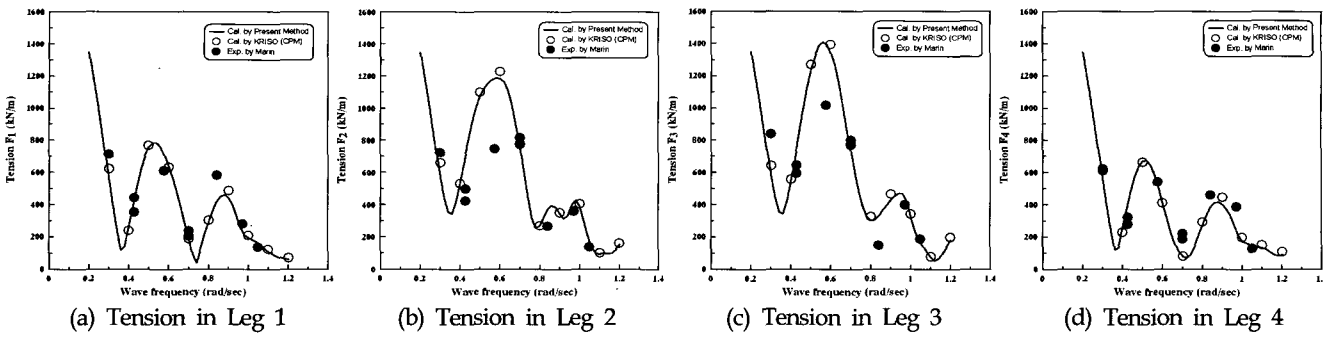


Fig. 2 Tension variation responses of ISSC TLP in regular waves (Heading = 157.5°)

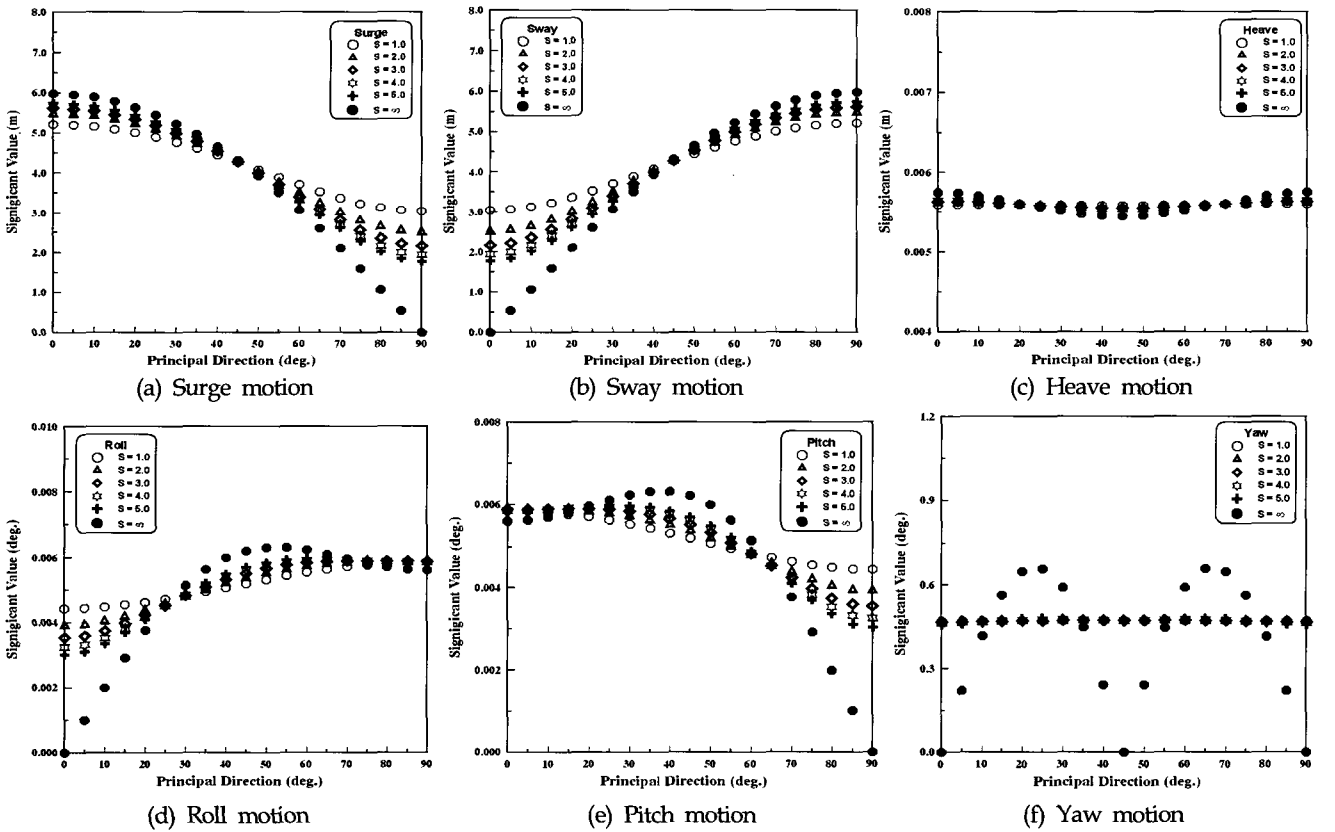


Fig. 3 Significant values of motions for various principal directions and parameters of direction function

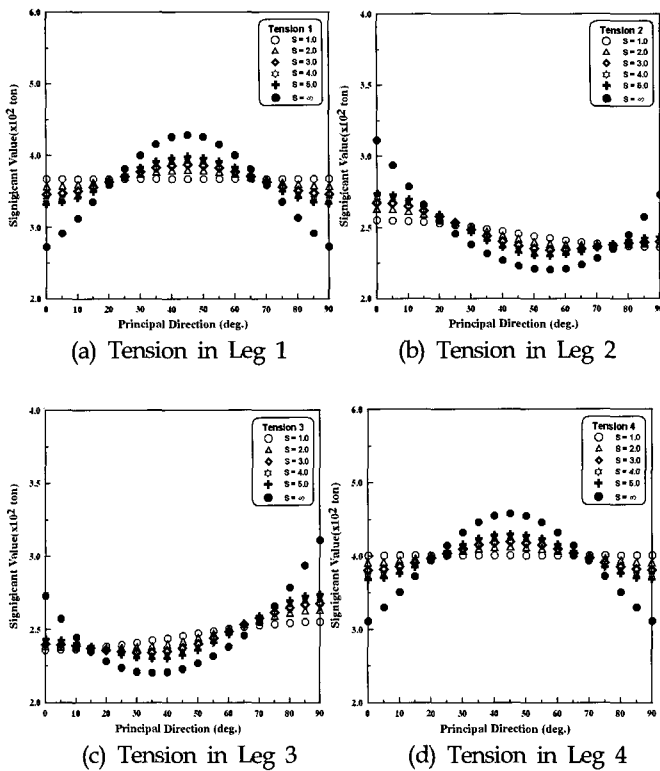


Fig. 4 Significant values of tensions for various principal directions and parameters of direction function

평균화되고 있음을 알 수 있으며, 계류점1, 4에 대한 변동장력 응답이 Peak치에서 다방향파의 영향으로 11.7% 감소하고 있으며, 계류점 2, 3에서는 15.6% 응답이 감소함을 알 수 있으며, 계류부재의 설계에 있어서 다방향파의 영향을 고려하면 피로 수명 등을 보다 정확하게 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 ISSC TLP 실선에 대한 운동응답과 변동장력 응답에 미치는 다방향파의 영향을 평가하였으며, 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

(1) 일방향파 중에서 운동응답이 큰 경우(peak치)에 대해서는 다방향파의 영향으로 응답이 감소하고 있으며, 일방향파의 주방향이 0° 또는 90°에서 운동응답이 0인 경우에 대해서는 다방향파의 영향으로 응답이 무시할 수 없을 정도로 크게 나타남을 알 수 있다.

(2) 변동장력 응답에 대해서는 다방향파의 영향으로 최대 응답이 10%이상 감소하므로 변동장력의 크기가 감소한다는 결과

에 따라 계류부재의 피로 설계에 있어서 다방향파의 영향을 고려하면 보다 현실적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 ISSC TLP의 전체 구조를 강제로 취급하고 있으나 추후에는 탄성체로서 구조 내력 응답에 대한 해석과 다방향파의 영향을 고려할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

구자삼, 김진하, 이창호 (1995). "인장계류식 해양구조물(TLP)의 동적응답해석(I)", 한국해양공학회지, 제9권, 제1호, pp 161-172

구자삼, 박찬후, 이창호 (1996). "인장계류식 해양구조물(TLP)의 동적응답해석(II)", 한국해양공학회지, 제10권, 제1호, pp 25-35.

김진하, 홍사영, 최윤락, 홍섭, 김현조 (1999). "심해 인장각 플랫폼의 모형시험 연구(I) -모형시험 및 계측시스템-", 한국해양공학회 추계학술대회논문집, pp 214-219

김진하, 홍사영, 최윤락, 홍섭, 김현조 (2000). "심해 인장각 플랫폼의 모형시험 연구(II) -모형시험 및 해석-", 한국해양공학회 춘계학술대회논문집, pp 69-74

Gie, T.S. and de Boom, W.C. (1981). "The Wave Induced Motions of a Tension Leg Platform in Deep Water", OTC 4074, pp 89-98

Jo, H.J., Maeda, H. and Miyajima, S. (1992). "Effects of Directional Waves on the Behaviour of Semisubmersible Rigs", PRADS, pp 116-129

Mercier, J.A., Birell, N.D., Chivvis, J.C. and Hunter, A.F. (1991). "Tension Leg Platforms - Progress and Prospects", SNAME Transaction, Vol 99, pp 249-279.

Sand, S.E., Romaring, J. and Kirkegaard, J. (1987). "Influence of Wave Directionality on Response of Semisubmersible", OMAE, pp 239-245.

Teigen, P. and Haver, S.(1998). The Heidrun TLP : measured versus predicted response", Applied Ocean Research 20, pp 27-35.

Yoshida, K., Ozaki, M. and Oka, N. (1983). "Structural Response Characteristics of Taut Moored Platforms", J. of SNAJ, Vol 152, pp 329-335

Zou, J. (2003). "TLP Hull/Tendon/Riser Coupled Dynamic Analysis in Deepwater", Proc. of 13th IOPEC, pp 160-166

2006년 6월 29일 원고 접수

2006년 8월 21일 최종 수정본 채택