

# 다방향 불규칙파중의 인장계류식 해양구조물의 시간영역 해석

이창호\* · 김철현\*\*

\*동명대학교 조선공학과

\*\*부경대학교 조선해양시스템공학과

## Time Domain Analysis of a Tension Leg Platform in Multi-Directional Irregular Waves

CHANG-HO LEE\* AND CHUEL-HYUN KIM\*\*

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

\*\*Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Time domain analysis 시간영역해석, Multi-directional irregular waves 다방향 불규칙파, Motion responses 운동응답, Tension variations 변동장력, TLP(Tension Leg Platform)인장계류식 해양구조물, Spectral analysis method 스펙트럴 해석법

**ABSTRACT:** The main object of this study is to develop an accurate and convenient method for the response analysis of offshore structures in real sea states. A numerical procedure is described for predicting the motion responses and tension variations of the ISSC TLP in multi-directional irregular waves. The developed numerical approach in the frequency domain is based on a combination of the three dimensional source distribution method, the dynamic response analysis method, and the spectral analysis method. Frequency domain analysis in the multi-directional irregular waves is expanded to a time domain analysis by using a convolution integral after obtaining the impulse response by Fourier transformation. The results of the comparison between responses in the frequency and time domain confirmed the validity of the proposed approach.

### 1. 서 론

인장계류식 해양구조물(Tension Leg Platform, TLP)은 수심 500m 이상의 대수심역 석유자원의 시추 및 생산을 위한 대표적인 구조물로서 미국, 유럽, 일본 등의 해양 선진국에서는 TLP의 뛰어난 조업 실적 등으로 21세기에 그 수요가 증가할 것으로 예상하고 경제적인 실용화 기술개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있다(Teigen and Haver, 1998; Zou 2003).

파랑중의 해양구조물의 응답 해석에 대한 대부분의 연구는 장파정파(Long crested waves)를 환경외력의 하나로 취급하고 있으나, 실제 이들 구조물이 부유되거나 계류된 실해역의 파는 장파정파가 아닌 서로 다른 방향성을 갖는 다양한 성분파들로 구성된 다방향 단파정파(Short crested waves)이다. 그러나 단파정파에 대한 계측이나 해석의 어려움 때문에 일방향의 장파정파를 환경외력의 하나로 흔히 가정해 왔지만, 실해역에서의 보다 현실성 있는 해석 결과를 얻기 위해서는 다방향의 단파정파를 고려할 필요가 있으며, Jo et al.(1992), Sand et al.(1987)은 이론 및 실험을 통하여 선형 중첩에 의해 다방향파 중의 해양구조물에 대한 선형 응답을 정도 좋게 추정하였다.

Bessho et al.(1997)은 주파수 영역에서 경계 적분법을 이용하여 얻어진 해저 지진 하중의 외력을 시간영역으로 변환하여 초대형 부유식 해양구조물에 미치는 영향을 시간영역에서 해석하였으며, 유체력 계수 및 메모리 영향함수 등은 주파수 영역의 유체력 계수에서 Fourier 역변환하여 구하였다.

Ohmatus(1998)는 3차원 영역분할법과 모드중첩법 및 장방향 영역에서의 Helmholtz 방정식의 Dirichlet 문제의 해를 이용하여 초대형 부유체에 동하중이 가해질 때의 탄성거동을 시간영역에서의 계산치와 실험치를 비교하였다.

이창호 등(1998)은 불규칙파 중에서의 인장계류식 해양구조물에 작용하는 비선형 합·차주파수 성분의 파강제력을 산정하고 시간영역에서 JOIA TLP 1/100 모델에 대한 비선형 운동응답 및 변동장력 응답을 시뮬레이션할 수 있는 해석법을 제시하였다.

본 연구에서는 대표적인 TLP 실선 구조물인 ISSC TLP 구조물에 대한 시간영역 다방향 불규칙 파중의 운동응답을 해석하였으며, 주파수 영역에서 KRISO의 계산결과(김진하 등, 2000) 및 MARIN의 시험치(Gie and de Boom, 1981)와 본 논문에서의 시간 영역 계산 결과를 비교하였으며, 시간영역 다방향 불규칙파에 대한 ISSC TLP 실선 구조물의 운동 및 변동장력 응답을 해석하였다.

교신저자 김철현 : 부산광역시 남구 대연동 407-45번지

051-620-6480 feline73@hanmir.com

## 2. 이론해석

### 2.1 시간영역에서의 동유체력

본 논문에서는 시간영역에서의 유체력 계산법으로서 주파수 영역에서 계산된 탄성거동을 고려한 방사포텐셜에 의한 동유체력을 Fourier 변환하여 메모리 영향함수(Memory effect function)를 계산하고, 물체의 운동속도와 메모리 영향함수를 콘볼루션 적분함으로써 시간영역에 대한 유체력을 추정하였다. 먼저, 시간영역에서 부체가 단위속도의  $l$ 방향 운동을 할 때  $k$  방향으로 발생하는 유체력  $f_{kl}(t)$  및 방사포텐셜  $\phi_l(t)$ 와 주파수영역에서의 유체력  $F_{kl}(\omega)$  및 방사포텐셜  $\phi_l(\omega)$ 의 관계를 Fourier 변환을 사용해서 정의하면, 다음과 같이 주어진다.

$$f_{kl}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F_{kl}(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (1)$$

$$\phi_l(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_l(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (2)$$

그러므로, 시간영역에서 단위속도의  $l$ 방향 운동에 의해  $k$  방향으로 발생하는 유체력  $f_{kl}(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{kl}(t) = \int \int_{S_H} \rho \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} -i\omega \phi_l(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \right] n_k ds \quad (3)$$

식 (1)과 식 (3)을 비교하면, 주파수영역에서의 단위속도의  $l$ 방향 운동에 의해  $k$  방향으로 발생하는 유체력  $F_{kl}(\omega)$ 는  $\phi_l = \phi_{lc} + i\phi_{ls}$ 임을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{kl}(\omega) = -i\omega \rho \int \int_{S_H} \phi_{lc}(\omega) n_k ds + \omega \rho \int \int_{S_H} \phi_{ls}(\omega) n_k ds \quad (4)$$

식 (4)는 주파수영역에서 부체의 단위속도 운동에 의해 외각 요소 자신이 받는 유체력이며, 다음과 같이 운동속도 및 운동가속도에 비례하는 성분으로 나눌 수 있다.

$$F_{kl}(\omega) = [-v_{kl}(\omega) + i\omega \mu_{kl}(\omega)] \quad (5)$$

여기서,  $\mu_{kl}(\omega)$ ,  $v_{kl}(\omega)$ 는 각각 주파수영역에서 3차원 특이점 분포법에 의해 계산되는 부가질량 및 조파감쇠 계수이다. 또, 식 (5)를 식 (1)에 대입하면, 시간영역에서의 단위속도의 부체운동에 의해 발생하는 유체력은 다음과 같이 표현된다.

$$f_{kl}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [-v_{kl}(\omega) + i\omega \mu_{kl}(\omega)] e^{-i\omega t} d\omega$$

$$= -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} v_{kl}(\omega) \cos \omega t d\omega - \mu_{kl}(\infty) \delta'(t) \quad (6)$$

여기서,  $\delta(t)$ 는 Dirac  $\delta$  함수이고,  $\delta'(t)$ 는 순간적인 단위속도 임펄스  $\delta(t)$ 의 시간 미분이므로 가속도를 의미 하고, 그러므로 마지막 식의 두 번째 항은 시간  $t=0$ 인 순간의 관성력을 의미한다.  $t=0$ 인 순간의 관성력을 제외한 유체력을 메모리 영향함수  $K_{kl}(t)$ 라 정의하면 다음과 같이 표현된다.

$$K_{kl}(t) = -f_{kl}(t) - \mu_{kl}(\infty) \delta(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} v_{kl}(\omega) \cos \omega t d\omega \quad (7)$$

여기서,  $\mu_{kl}(\infty)$ 는 무한 주파수에서의 부가질량계수로서 다음의 식에 따라 계산된다.

$$\begin{aligned} \mu_{kl}(\infty) &= \mu_{kl}(\omega) + \frac{Im[K_{kl}(\omega)]}{\omega} \\ &= \mu_{kl}(\omega) + \frac{1}{\omega} \int_0^{\infty} K_{kl}(t) \sin \omega t dt \end{aligned} \quad (8)$$

### 2.2 파강제력 및 모멘트

다방향 불규칙파 중에서의 파강제력 및 모멘트를 정확하게 평가하기 위하여, 파강제력과 모멘트의 시간이력(Time history)을 주파수영역에서 구해지는 파강제력과 모멘트의 주파수 응답함수를 Fourier 변환함으로써 얻어지는 임펄스 응답함수를 콘볼루션 적분하여 구한다. 먼저, 부체에 작용하는 파강제력  $\{F_w(t)\}$ 와 모멘트  $\{M_w(t)\}$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\{F_{ex}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{h_F(\tau)\} \zeta(t-\tau) d\tau \quad (9)$$

$$\{M_{ex}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{h_M(\tau)\} \zeta(t-\tau) d\tau \quad (10)$$

여기서,  $\{h_F(\tau)\}$  및  $\{h_M(\tau)\}$ 는 부체에 작용하는 파강제력과 모멘트의 임펄스 응답함수로서 다음과 같이 표현된다.

$$\{h_F(\tau)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \{H_F(\omega)\} e^{-i\omega\tau} d\omega \quad (11)$$

$$\{h_M(\tau)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \{H_M(\omega)\} e^{-i\omega\tau} d\omega \quad (12)$$

여기서,  $\{H_F(\omega)\}$ ,  $\{H_M(\omega)\}$ 는 각각 주파수영역에서 구해지는 파강제력과 모멘트의 전달함수고, Fourier변환에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\{H_F(\omega)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{h_F(\tau)\} e^{i\omega\tau} d\tau \quad (13)$$

$$\{H_M(\omega)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{h_M(\tau)\} e^{i\omega\tau} d\tau \quad (14)$$

과강제력과 모멘트의 전달함수가 구해지면, 식 (11), 식 (12)의 Fourier 역변환에 의해 임펄스 응답함수를 계산할 수 있고 식 (9), 식 (10)에 의해 임펄스 응답함수와 수면변위의 시간이력의 곱을 적분함으로써 부체에 작용하는 과강제력과 모멘트의 시간이력을 구할 수 있다.

시간  $t$ 에서의 입사파의 수면변위  $\zeta(t)$ 를 다방향 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega, \theta_0)$ 를 가지는 랜덤파인 것으로 한다. 제10차 ISSC 보고서에서 제시한 일반화된 단파정 해상을 고려하면, 구조물의 운동기준점의 좌표( $x, y$ )에서 시간  $t$ 일 때의 수면변위의 시간이력  $\zeta(x, y; t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \zeta &= \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(k \cdot r - \omega t + \varepsilon) \sqrt{2 S_{\zeta}(\omega, \theta)} d\omega d\theta \\ &= \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \{2S_{\zeta}(\omega_j, \theta_{jk})\}^{\frac{1}{2}} \Delta\omega_j \Delta\theta_k \\ &\quad \cdot \cos(k_j x \cos\theta_k + k_j y \sin\theta_k - \omega_j t + \varepsilon_{jk}) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서,  $\varepsilon$ 은  $0 \sim 2\pi$ 에 걸쳐 균일 분포하는 임의의 위상이고,  $M$ 은 이산화된 파주파수의 수,  $N$ 은 입사각 증분의 수이다. 다방향파의 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega, \chi)$ 는 각 주파수 성분파의 방향  $\chi$ 에 따른 분포를 나타내는 방향분포함수  $D(\omega, \chi)$ 와 주파수  $\omega$ 에 따른 파 에너지 분포를 나타내는 1차원 파 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega)$ 에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{\zeta}(\omega, \chi) = D(\omega, \chi) S_{\zeta}(\omega) \quad (16)$$

방향분포함수  $D(\omega, \chi)$  및 1차원 파 스펙트럼은 다음과 같이 표현된다.

$$D(\chi) = \frac{\Gamma(S+1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(S+\frac{1}{2})} \cos^{2S}(\chi - \theta_0) \quad (17)$$

여기서,  $\chi = \theta + \theta_0$ 이며  $\theta_0$ 는 입사파의 주방향,  $\theta$ 는 주방향과 성분파의 진행방향이 이루는 각을 표시하고,  $S$ 는 파 에너지의 방향에 따른 분포의 분산 정도를 나타내는 파라메타이다. 본 연구에서 사용된 1차원 파 스펙트럼은 ISSC 스펙트럼으로 다음과 같이 표현된다.

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

여기서,  $\omega$ 는 파의 원주파수,  $H_{1/3}$ 은 유의파고,  $T_1$ 은 평균

파주기이다.

식 (15)를 식 (9), 식 (10)에 대입하고 식 (11), 식 (12)의 관계를 이용하면, 다음의 과강제력이 구해진다.

$$\begin{aligned} \{F_{ex}(t)\} &= \int_{-\infty}^{\infty} \{h_F(\tau)\} \zeta(t-\tau) d\tau \\ &= \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(k(x \cos\theta + y \sin\theta) - \omega t + \varepsilon + \{\theta\}) \\ &\quad \cdot \sqrt{2 \{|H_F(\omega)|^2\} S_{\zeta}(\omega, \theta)} d\omega d\theta \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \{M_{ex}(t)\} &= \int_{-\infty}^{\infty} \{h_M(\tau)\} \zeta(t-\tau) d\tau \\ &= \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(k(x \cos\theta + y \sin\theta) - \omega t + \varepsilon + \{\theta\}) \\ &\quad \cdot \sqrt{2 \{|H_M(\omega)|^2\} S_{\zeta}(\omega, \theta)} d\omega d\theta \end{aligned} \quad (20)$$

### 2.3 시간영역 운동방정식

이상과 같이 시간영역에서의 동유체력 및 과강제력과 모멘트를 구해지면, 운동방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &\sum_{k=1}^6 [\{M_{kl} + \mu_{kl}(\infty)\} \ddot{U}(t) \\ &+ \int_{-\infty}^t K_{kl}(t-\tau) \dot{U}(\tau) d\tau + C_{kl} U_l(t) = f_k(t) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서,  $U_i$ : 정수면상의 원점에서 평가된 각 방향 변위

$M_{kl}$ : 부체의 관성질량

$\mu_{kl}(\infty)$ : 무한주파수에서의 부가질량

$K_{kl}(t)$ : 메모리 영향함수

$C_{kl}$ : 증력, 정수압, 및 계류력에 의한 복원력 계수

$f_k(t)$ : 과강제력

이와 같이 식 (20)의 운동방정식의 각 계수행렬 및 외력벡터의 값이 구해지면, 식 (20)은 가속도, 속도 및 변위벡터를 미지수로 가지는 미분방정식이 된다. 식 (20)과 같이 미적분 방정식으로 표현되는 운동방정식을 수치적으로 푸는 방법은 여러 가지 해법이 있으며, 본 연구에서는 일반적으로 지진 및 동하중하에서 구조물의 시간응답 해석에 적용되는 Newmark  $\beta$ 법을 사용하여 각 시간 단계에서의 계산을 수행하였다.

### 3. 수치계산 결과 및 고찰

본 논문에서는 ISSC TLP 실선에 대하여 수치계산을 수행하였으며, Table 1은 수치계산에 사용된 ISSC TLP 실선의 주요 목을 나타낸 것이다. 주파수 영역에서 유체력을 계산하기 위해 ISSC TLP 실선의 침수표면을 Fig. 1과 같이 800개의 패널로

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

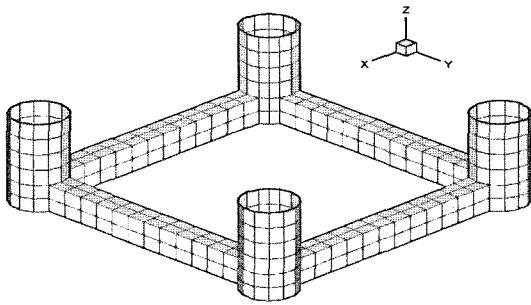


Fig. 1 Submerged surface of a ISSC TLP

분할하였다. 계산결과는 수심은 450m, 일방향파의 입사각 및 다방향파의 주입사각에 대한 입사파의 입사각은 157.5°에 대한 것이다. 본 계산에 사용된 일차원 스펙트럼은 유의파고 9.8m, 평균주기 13.7sec인 ISSC 스펙트럼이고, 시간은 800sec까지 0.1sec 씩 증분시키면서 계산을 수행하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 시간영역 응답 시뮬레이션의 정도를 검증하기 위하여 주파수  $\omega = 0.3, 0.5, 0.8, 1.0 \text{ rad/sec}$ 인 규칙파에 대하여 Surge, Sway 운동응답의 계산결과를 비교한 것이다. 모든 주파수에 대하여 본 논문에서 계산된 시간영역에서의 운동응답 결과(\*)는 주파수 영역에서의 운동응답(-)의 결과, KRISO의 실험치(O) 및 MARIN의 실험치(●)와 잘 일치하였다. 이로 본 논문에서의 시간영역 응답 해석법이 타당함을 확인하였다.

Fig. 4는 주파수  $\omega = 0.5 \text{ rad/sec}$ 인 규칙파에 대한 Surge, Sway, Heave 운동응답의 시간이력(Time history)을 나타내고 있다. Heave의 경우 초기장력의 영향으로 크기가 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5는 파주파수  $\omega = 0.5 \text{ rad/sec}$ 인 규칙파에 대한 각 Tendon의 변동장력 응답의 시간이력을 나타내고 있다. 전반적인 크기는 유사하지만, 파상측( $F_2$ )의 변동장력보다 파하측( $F_3$ )의 응답이 약간 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

연속적인 다방향파를 충분히 나타내기 위한 방향 성분파의 개수에 대하여 조사해 볼 필요가 있다. Fig. 6~Fig. 8은 방향 성분

파의 개수를 1개, 7개, 13개 그리고 19개로 변화시켜가면서 Surge 및 Heave의 운동응답 및 계류부재 1의 변동장력의 유의치에 대한

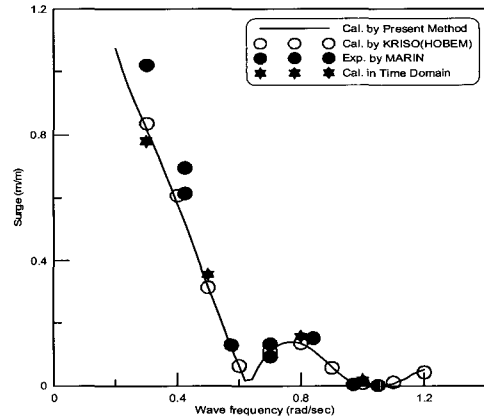


Fig. 2 Comparison of the surge motions

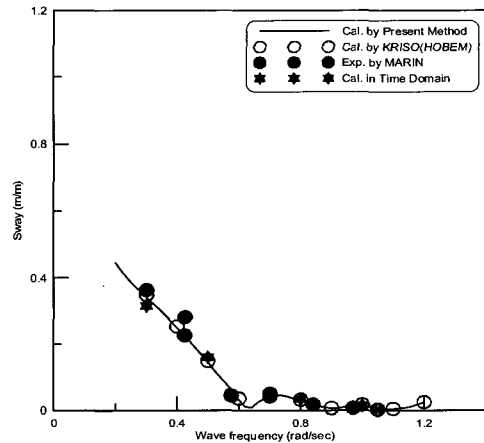


Fig. 3 Comparison of the sway motions

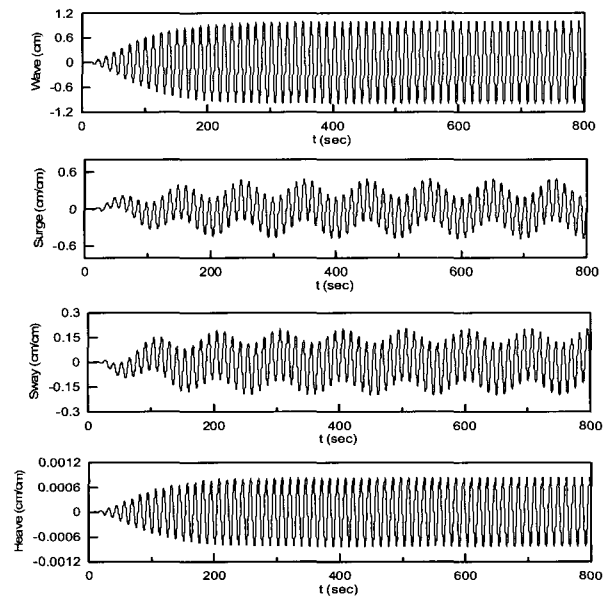


Fig. 4 Time histories of motions in regular waves

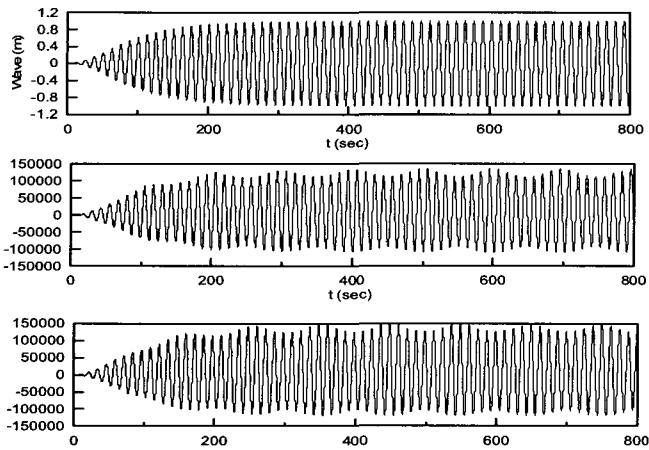


Fig. 5 Time histories of tension variations in regular waves

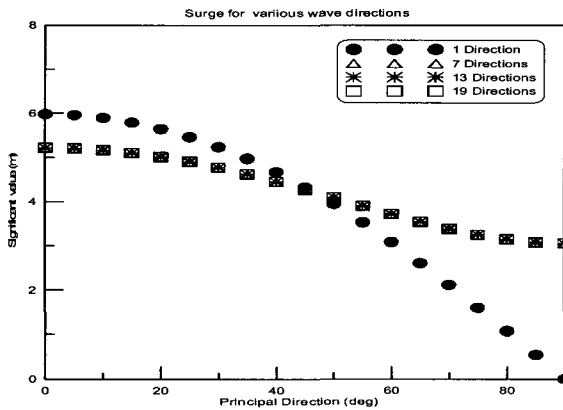


Fig. 6 Significant values of surge responses for various principal directions and number of wave direction (parameter  $S=1$ )

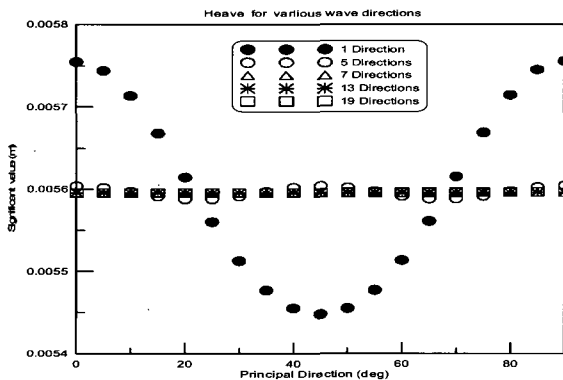


Fig. 7 Significant values of heave responses for various principal directions and number of wave direction (parameter  $S=1$ )

수렴성을 나타내었다. 7개의 경우, 파의 주방향을 중심으로 양쪽으로 30°씩 취한 각각 3개의 성분파의 방향을 합쳐서 7개의 다방향파로 계산한 경우이고, 13개와 19개는 각각 15°와 10°씩을 취한 각각 6개와 9개의 성분파의 방향을 합쳐 계산한 경우이다. 방향

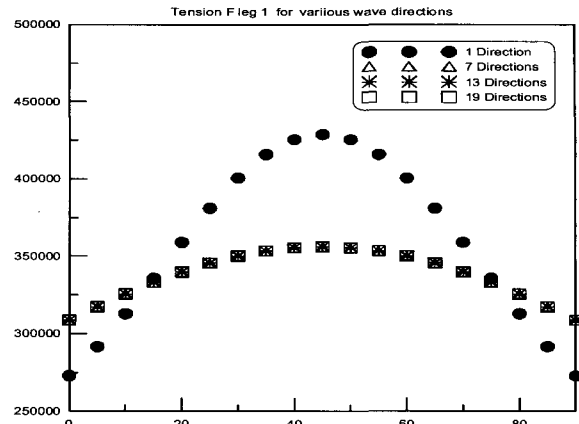


Fig. 8 Significant values of tension variations for various principal directions and number of wave direction (parameter  $S=1$ )

분포에 대하여는 ITTC에서 권장하는  $\cos 2\theta$  함수의 분포를 가지는 것으로 하기 위하여 방향분포 파라메타  $S=1$ 로 하였다.

Fig. 6~Fig. 8의 결과에 의하면 7개의 방향 성분파로도 연속적인 다방향파를 충분히 표현할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이 수렴성 조사에 의하면 본 연구의 대상구조물인 ISSC TLP 실선의 경우에는 13개 정도의 방향성분파로 계산을 수행하면 정도 좋게 나타날 것으로 생각된다.

Fig. 9은 연속적인 다방향파를 충분히 고려하기 위하여 방향성분파를 13개로 하여 Surge, Sway 및 Heave의 운동응답에 대한 시간이력을 나타냈었다.

Fig. 10은 Fig. 9와 동일하게 방향성분파의 개수를 고려하여 파상측 및 파하측에 해당하는 계류부재의 변동장력에 대한 시간이력을 나타냈었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 취급한 ISSC TLP 실선 구조물에 대한 수치계산 결과로 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

(1) 다방향 불규칙파 중의 인장계류식 해양구조물(TLP) 실선에 작용하는 파강제력을 산정하고, 시간영역에서 TLP의 운동 응답 및 변동장력 응답을 시뮬레이션하였으며, 본 해석법은 파의 방향 분산성이 고려되어야 하는 실해역에서의 반잠수식 해양구조물 등과 같은 다른 해양구조물에도 적용이 가능할 것으로 사료된다.

(2) 방향수의 수렴성 조사 결과, 7개 정도의 방향성분파로 다방향파의 연속성을 재현할 수 있으며, TLP와 같은 구조물의 경우 13개 정도의 방향성분파로 연속적인 다방향파를 충분히 정도 좋게 재현할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 앞으로 TLP의 계류식의 피로에 큰 영향을 주는 비선형 응답 및 유체-구조간 상호간섭의 영향을 고려한 시간영역 다방향 불규칙 파중의 응답 해석에 대한 연구가 필요할 것으로 사

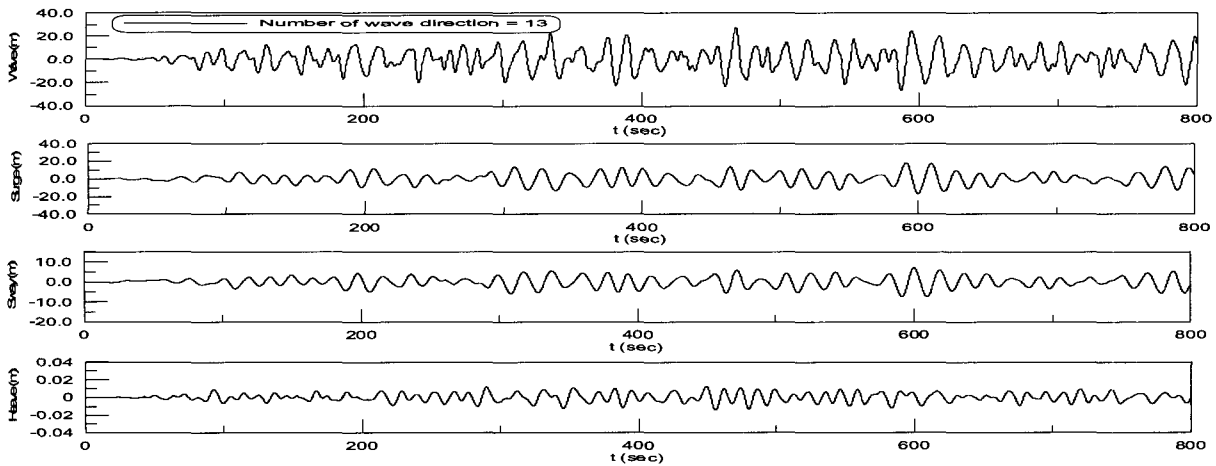


Fig. 9 Time histories of motions for number of wave directions (parameter S=1)

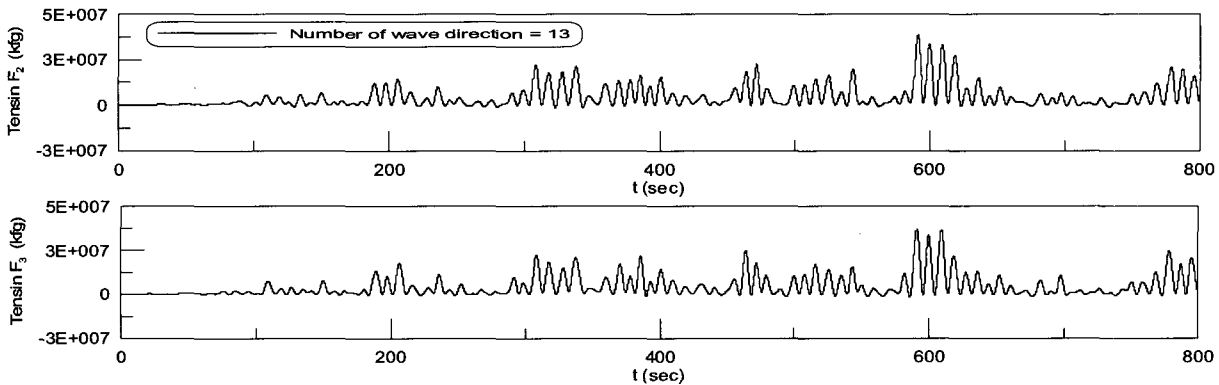


Fig. 10 Time histories of tension variations for number of wave directions (parameter S=1)

료된다.

### 참 고 문 헌

- 김진하, 홍사영, 최윤락, 홍섭, 김현조 (2000). "심해 인장각 플랫폼의 모형시험 연구(II)-모형시험 및 해석-", 한국해양공학회 추계학술대회논문집, pp 69-74.
- 이창호, 구자삼, 조효제, 홍봉기 (1998). "불규칙파중의 인장계류식 해양구조물의 비선형응답해석", 한국해양공학회지 제 12권 제2호, pp 33-42.
- Bessho, M., Maeda, H., Masuda, K. and Shimizu, K (1997). "A study on prediction method of time history response of very large floating offshore structure by sea shock force", J. of society of naval architecture of japan, Vol 182, pp 367-374.
- 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.
- Ohmatus, S. (1998) "Time domain analysis of hydroelastic behavior of VLFS", J. of society of naval architecture of Japan, Vol 184, pp 223-230.
- 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.
- Zou, J. (2003). "TLP Hull/Tendon/Riser Coupled Dynamic Analysis in Deepwater", Proc. of 13th IOPEC, pp 160-166.

2006년 9월 5일 원고 접수  
2006년 9월 28일 최종 수정본 채택