한국해양공학회지 제 20권5호, pp 30~35, 2006년 10월 (ISSN 1225-0767)

시간영역에서 ISSC TLP의 비선형 응답 특성

이창호*
*동명대학교 조선공학과

Nonlinear Response Characteristics of the ISSC TLP in Time Domain

CHANG-HO LEE*

*Department of Naval Architecture Tong-Myong University, Busan, Korea

KEY WORDS: Sum frequency 합주파수, Difference frequency 차주파수, Nonlinear wave exciting force 비선형 파강제력, Natural frequency 고유주파수, Resonant response 공진 응답

ABSTRACT: *In the presence of incident waves with different frequencies, there are second order sum and difference frequency wave exciting forces due to the nonlinearity of the incident waves. Although the magnitude of these nonlinear wave forces are small, they act on TLPs at sum and difference frequencies away from those of the incident waves. So, the second order sum and difference frequency waveexciting forces occurring close to the natural frequencies of TLPs often give greater contributions to high and low frequency resonant responses. Nonlinear motion responses and tension variations in the time domain are analyzed by solving the motion equations with nonlinear wave exciting forces using the numerical analysismethod. The numerical results of time domain analysis for the nonlinear wave exciting forces on the ISSC TLP in regular waves are compared with the numerical and experimental ones of frequency domain analysis. The results of this 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 예상되며(Mercier et al. 1991), 우리나라에서도 해양개발에 관련된 초대형 해양구조물(VLFS), 원유생산저장하역선(FPSO), 인장계류식 해양구조물(TLP) 등에 대한 이론 및 실험적 연구가 많이 진행되고 있다(김병완 등, 2005; 최윤락 등, 2005; 김진하 등, 2000).

인장계류식 해양구조물(TLP)은 대수심역 석유자원의 시추 및 생산을 위한 대표적인 구조물로서 많은 관심을 모으고 있다. 해양구조물에 파가 입사하면 입사파의 주기를 가지는 파강제력 이외에 입사파 자유표면의 비선형성에 기인하는 합주파수와 차주파수의 2차 파강제력이 발생하며, 합주파수 파강제력의 영향으로 인한 스프링잉(Springing) 응답은 고유주기가 1-4초인 인장계류식 해양구조물(TLP)의 수직면내 운동과 공진이 초래될 수 있으며, 스프링잉 응답 중에 고주파수 구조응답인 링잉(Ringing) 현상이 발생할 수 있다.

링잉은 비선형파의 작용으로 인한 약충격 하중에 기인하는 고주파수 응답이며, 스프링잉과 링잉은 TLP의 계류부재의 피로문제에 아주 큰 영향을 미칠 수 있다. 또한 차주파수 파강제력의 영향으로 고유주기가 40~120초인 TLP의 수평면내 운동과 공진이 초래될 수 있으며, 이로 인하여 계류부재에 과다한 인장력을 유발시켜 TLP 계류부재의 강도문제에 큰 영향을 미칠 수 있다.

Kim and Yue(1998)는 입사파 주파수들의 임의 결합에 대한 전달함수에 의해 축대칭 물체에 작용하는 2차 비선형 파강제력을 계산하여 TLP에 대한 합주파수의 파강제력과 운동응답을 평가하였고, Kato et al.(1995~1996)은 2차 산란파 문제를 계산하기 위해 고차 경계요소법의 적분 방정식에 보조 Green함수를 도입하여 TLP에 작용하는 비선형 파강제력을 계산하고 실험치와 비교하였으며, 이창호 등(1998)은 합·차 주파수의 비선형 파강제력 성분을 고려하여 JOIA-TLP 1/100 모델에 대한 불규칙파 중에서의 비선형 응답을 평가하였다.

본 연구에서는 시간영역 불규칙파 중에서 선형과 비선형 파강제력을 고려하여 ISSC TLP 실선에 대한 비선형 운동응답 및 변동장력 응답 특성을 평가하였다. 2차 파강제력 주파수 응답함수를 Fourier변환하여 2차 임펄스 응답함수를 구하고, 2차 임펄스 응답함수를 콘볼루션 적분하여 시간영역에서의 비선형 파 강제력을 산정하였으며, 시간영역에서의 운동방정식을 Newmark-β법에 의해 매 시간마다 풀어 비선형 응답을 해석하였다.

교신저자 이창호 : 부산광역시 남구 용당동 505
051-620-3400 chlee829@hanmail.net

2. 시간영역 비선형 해석

2.1 시간영역 유체력

시간영역에서의 유체력 계산법으로서 주파수영역에서의 방사 포텐셜에 의한 동유체력을 Fourier변환하여 메모리 영향함수(Memory effect function)를 계산하고, 물체의 운동속도와 메모리 영향함수를 콘볼루션 적분함으로서 시간영역 유체력을 추정하는 방법을 사용하였으며, 시간영역에서의 단위속도의 l 방향 운동에 의해 k 방향으로 발생하는 유체력 $f_{kl}(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{kl}(t) = -\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \nu_{kl}(\omega)\cos\omega t\, d\omega - \mu_{kl}(\infty)\delta'(t)$$

$$= -\frac{2}{\pi}\int_{0}^{\infty} \nu_{kl}(\omega)\cos\omega t\, d\omega - \mu_{kl}(\infty)\delta'(t) \quad (1)$$

여기서, $\nu_{kl}(\omega)$는 주파수 영역에서의 조파감쇠 계수이고, $\mu_{kl}(\infty)$ 는 무한 주파수에서의 부가질량이다. 또, $\delta'(t)$ 는 순간적인 단위속도 임펄스 $\delta(t)$ 의 시간 미분이므로 가속도를 의미하고, 그러므로 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.

$$K_{kl}(t) = -f_{kl}(t) - \mu_{kl}(\infty)\delta'(t)$$

$$= \frac{2}{\pi}\int_{0}^{\infty} \nu_{kl}(\omega)\cos\omega t\, d\omega \quad (2)$$

메모리 영향함수의 Fourier 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$K_{kl}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_{kl}(t)\, e^{i\omega t} dt = \int_{0}^{\infty} K_{kl}(t)\, e^{i\omega t} dt \quad (3)$$

이 식의 두 번째 등식은 $K_{kl}(t)$가 물리적으로 $t<0$ 일 때 0임을 의미한다. 식 (2)를 Fourier 변환하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{kl}(\omega) = -\nu_{kl}(\omega) + i\omega\mu_{kl}(\omega) \quad (4)$$

여기서, $\mu_{kl}(\omega)$와 $\nu_{kl}(\omega)$는 각각 주파수 영역에서 계산되는 부가질량과 조파감쇠 계수이고, 다음의 관계가 성립한다.

$$\nu_{kl}(\omega) = \int_{0}^{\infty} K_{kl}(t)\cos\omega t\, dt$$

$$\mu_{kl}(\omega) = \mu_{kl}(\infty) - \frac{1}{\omega}\int_{0}^{\infty} K_{kl}(t)\sin\omega t\, dt \quad (5)$$

식 (5)로부터 메모리 영향함수의 정도를 검정할 수 있으며, 무한 주파수에서의 부가질량 $\mu_{kl}(\infty)$는 다음의 식에 따라 계산된다.

$$\mu_{kl}(\infty) = \mu_{kl}(\omega) + \frac{1}{\omega}\int_{0}^{\infty} K_{kl}(t)\sin\omega t\, dt \quad (6)$$

2.2 시간영역 파강제력

본 논문에서는 1차 선형 파강제력 항들의 조합에 의해서 발생하는 비선형 파강제력만 고려하고, 2차 속도포텐셜에 기인하는 비선형 항은 무시하기로 한다. 2차 파강제력과 모멘트의 시계열(Time history) 해석은 주파수 영역에서 구해지는 파강제력과 모멘트의 주파수 응답함수를 Fourier변환함으로써 얻어지는 임펄스 응답함수를 콘볼루션 적분하여 구하면 다음과 같이 표현된다.

$$\{F_{ex}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty}\{h_F^{(1)}(\tau)\}\zeta(t-\tau)d\tau$$

$$+\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\{h_F^{(2)}(\tau_1,\tau_2)\}\zeta(t-\tau_1)\zeta(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2 \quad (7)$$

$$\{M_{ex}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty}\{h_M^{(1)}(\tau)\}\zeta(t-\tau)d\tau$$

$$+\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\{h_M^{(2)}(\tau_1,\tau_2)\}\zeta(t-\tau_1)\zeta(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2 \quad (8)$$

여기서, $\{h_F^{(1)}(\tau)\}$, $\{h_F^{(2)}(\tau)\}$ 및 $\{h_M^{(1)}(\tau)\}$, $\{h_M^{(2)}(\tau)\}$는 각각 1차 및 2차 파강제력과 모우먼트의 임펄스 응답함수로서 다음과 같이 표현된다.

$$\{h_F^{(1)}(\tau)\} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\{H_F^{(1)}(\omega)\}\, e^{-i\omega\tau} d\omega \quad (9)$$

$$\{h_F^{(2)}(\tau_1,\tau_2)\} =$$

$$\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\{H_F^{(2)}(\omega_1,\omega_2)\}\, e^{-i(\omega_1\tau_1+\omega_2\tau_2)}\right]d\omega_1 d\omega_2 \quad (10)$$

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

$$\{h_M^{(2)}(\tau_1,\tau_2)\} =$$

$$\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\{H_M^{(2)}(\omega_1,\omega_2)\}\, e^{-i(\omega_1\tau_1+\omega_2\tau_2)}\right]d\omega_1 d\omega_2 \quad (12)$$

여기서, $\{H_F^{(1)}(\omega)\}$, $\{H_M^{(1)}(\omega)\}$는 1차 파강제력과 모멘트의 전달함수이고, $\{H_F^{(2)}(\omega_1,\omega_2)\}$, $\{H_M^{(2)}(\omega_1,\omega_2)\}$는 2차 파강제력과 모멘트의 전달함수이며, 파강제력과 모멘트의 전달함수가 구해지면, 식 (9)~식 (12)의 Fourier역변환에 의해 파강제력과 모멘트의 임펄스 응답함수를 계산할 수 있고, 식 (7) 과 식

(8)에 의해 임펄스 응답함수와 수면변위의 시간이력의 곱을 적분함으로써 파강제력과 모멘트의 시간이력을 구할 수 있다.

2.3 시간영역 운동방정식

이상과 같이 시간영역에서의 동유체력 계수 및 파강제력과 모멘트가 구해지면, 운동방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{l=1}^{6}[\{M_{kl}+\mu_{kl}(\infty)\}\ddot{U}_l(t)+\int_{-\infty}^{t}K_{kl}(t-\tau)\dot{U}_l(\tau)d\tau + C_{kl}U_l(t)=f_k(t) \quad (k=1\sim6) \tag{13}$$

여기서, U_l : 부체의 각 방향 변위

M_{kl} : 부체 고유의 질량

$\mu_{kl}(\infty)$: 무한 주파수에서의 부가질량

$K_{kl}(t)$: 메모리 영향함수

C_{kl} : 중력, 정수압 및 계류력에 의한 복원력 계수

$f_k(t)$: 파강제력

식 (13)과 같이 미적분 방정식으로 표현되는 운동방정식을 수치적으로 푸는 방법은 여러 가지가 있지만, 본 논문에서는 Newmark-β 법을 사용하여 각 시간 단계에서의 값들을 계산한다.

2.4 계류력

4개의 계류 요소의 정적 평행 상태에서의 길이를 $L_0{}^j$ $(j=1\sim4)$라 하고, 축강성을 EA^j라 하면, 초기장력 $T_p{}^j$는 다음과 같이 된다.

$$T_p{}^j=\frac{EA^j}{L_0{}^j}w^j \tag{14}$$

여기서, w^j는 초기 장력 $T_p{}^j$에 의한 신장량이다. 공간고정 좌표계에 있어서 정적 평행 상태의 계류 요소와 상부 구조의 결합점(계류점) 위치벡터를 $\{X_{m0}{}^j\}=\{X_{m0}{}^j, Y_{m0}{}^j, Z_{m0}{}^j\}$라 하고, 계류 요소와 앵커(Anchor)와의 결합점의 위치 벡터를 $\{X_b{}^j\}=\{X_b{}^j, Y_b{}^j, Z_b{}^j\}$라 하면, $L_0{}^j$는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$L_0{}^j=\{(X_{m0}{}^j-X_b{}^j)^2+(Y_{m0}{}^j-Y_b{}^j)^2+(Z_{m0}{}^j-Z_b{}^j)^2\}^{1/2} \tag{15}$$

또, 계류 요소의 길이 L^j와 장력 T^j는 각각 다음과 같이 표현된다.

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

$$T^j=\frac{EA^j}{L_0{}^j}(L^j-L_0{}^j+w^j) \tag{16}$$

3. 수치계산 및 결과 고찰

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

Table 1 Principal particulars of ISSC TLP

Spacing between column centre lines	86.25 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

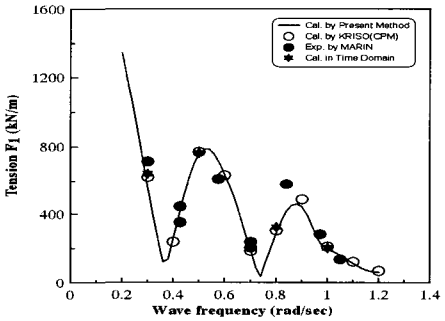

Fig. 1 Tension variations on weather side in waves (Heading = 157.5°)

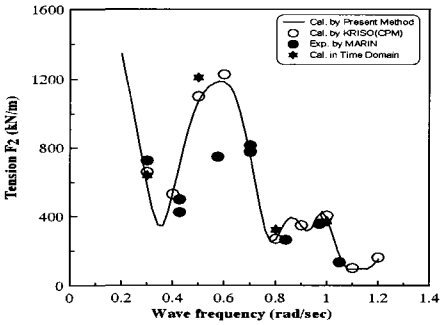

Fig. 2 Tension variations on lee side in waves (Heading = 157.5°)

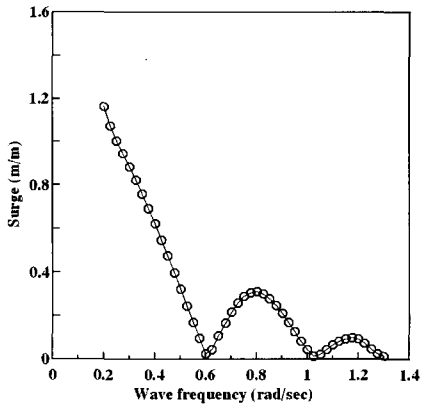

Fig. 3 Surge motions in regular waves (Heading = $0°$)

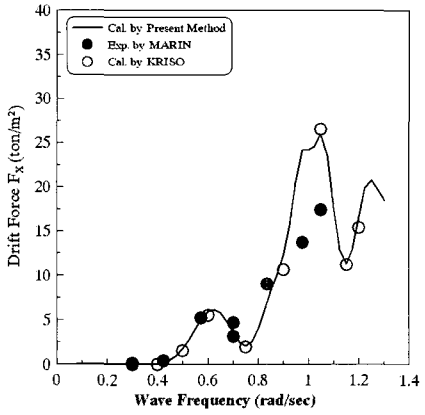

Fig. 4 Steady drift forces for surge mode in waves (Heading = $0°$)

Fig. 1과 2는 파 입사각이 $157.5°$ 인 입사파에 대한 파상측(F_1)과 파하측(F_2)에서의 Tendon의 변동 장력 응답을 나타내고 있다. 그림에서 흑점(●)은 MARIN의 실험치이고, 원(○)은 KRISO의 계산치를 나타내고 있다(김진하 등, 2000). 또, 실선은 본 논문에서 주파수영역에서 계산한 결과이고, 별표(★)는 각 주파수에 해당하는 시간영역에서 계산된 결과를 나타내고 있다.

KRISO의 계산치와는 거의 일치하고 있으며, MARIN의 실험치와도 좋은 결과를 보여주고 있다. 시간영역에서의 결과치도 잘 일치하고 있으며, 본 논문에서의 시간영역 해석법이 타당함을 보여주고 있다.

Fig. 3은 입사파의 입사각이 $0°$인 경우 ISSC TLP 실선의 Surge 운동응답을 나타내고 있으며, Fig. 4는 ISSC TLP 실선에 작용하는 Surge 모드에 대한 정상표류력을 나타내고 있으며, MARIN의 실험치 및 KRISO의 계산치와 비교하였다. 고주파수 영역에서는 실험치와 다소 오차를 보이고 있으나, KRISO의 계산치와는 거의 일치하고 있으며, 정상표류력은 $\omega = 1.05\,rad/\sec$ 부근에서 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5는 ISSC TLP의 실선에 대하여 계산된 $t = 0\sec$ 인 순간의 관성력을 제외한 유체력인 메모리 영향함수의 대각 요소를 각 운동 모드별로 나타낸 것이다. 본 논문에서 취급하고 있는

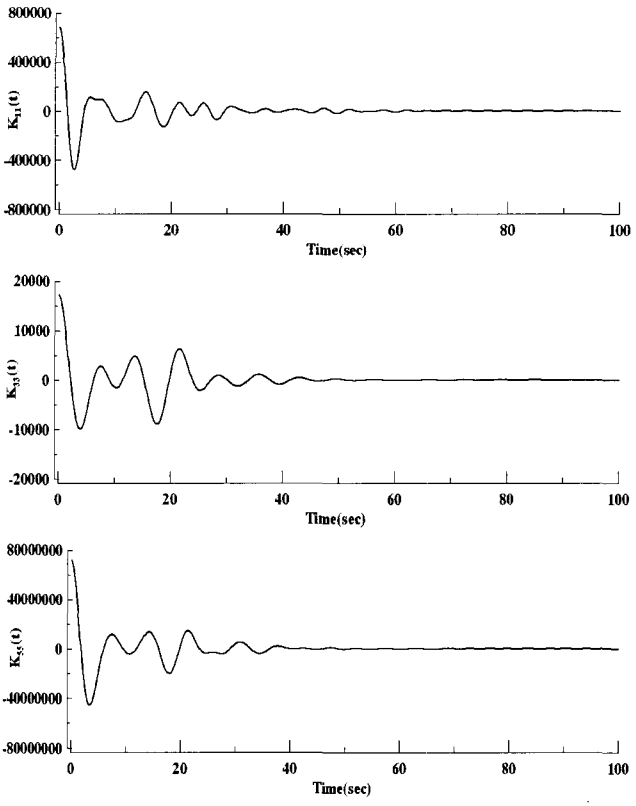

Fig. 5 Memory effect functions for motions

ISSC TLP 실선 구조물의 경우에는 $50\sec$ 이후의 메모리 영향은 무시할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 Fig 3의 주파수 영역에서 Surge 운동응답의 Peak 치 부근 주파수 $\omega = 0.8\,rad/\sec$ 인 경우의 파 입사각 $\beta = 0°$인 규칙파의 시간이력(Time history)과 Surge, Heave, Pitch 선형 운동응답의 시간이력을 나타내고 있다. 선형만을 고려한 운동응답은 입사파의 영향이 지배적으로 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 1과 Fig. 2의 주파수 영역에서 변동장력 응답의 Peak 부근 주파수 $\omega = 0.5\,rad/\sec$ 인 경우의 파 입사각 $\beta = 0°$인 규칙파에 대한 파상측(F_1)과 파하측(F_2)의 변동장력 응답의 시간이력을 나타내고 있으며, 파하측의 변동 장력이 파상측보다 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8은 선형과 합·차 주파수의 비선형을 모두 고려한 경우의 주파수 $\omega = 0.8\,rad/\sec$, 파 입사각 $\beta = 0°$인 규칙파에 대한 Surge, Heave, Pitch 비선형 운동응답의 시간이력을 나타내고 있다. Surge 운동에서는 차주파수의 표류 운동의 영향으로 구조물이 입사파의 진행 방향으로 밀려진 상태에서 운동함을 알 수 있으며, 비선형의 영향으로 선형 Surge 운동에 비하여 약 35% 정도 운동이 증가하였다. Heave 운동에서는 초기 장력으로 인하여 표류 운동의 영향의 거의 나타나지 않고 있다. 또 Pitch 운동에서는 Surge 표류 운동의 영향으로 인하여 약간의 Set down 현상이 나타남을 보여주고 있다.

Fig. 9는 선형과 합·차 주파수의 비선형을 모두 고려한 경우의 파상측(F_1)과 파하측(F_2)의 변동장력 응답의 시간이력을

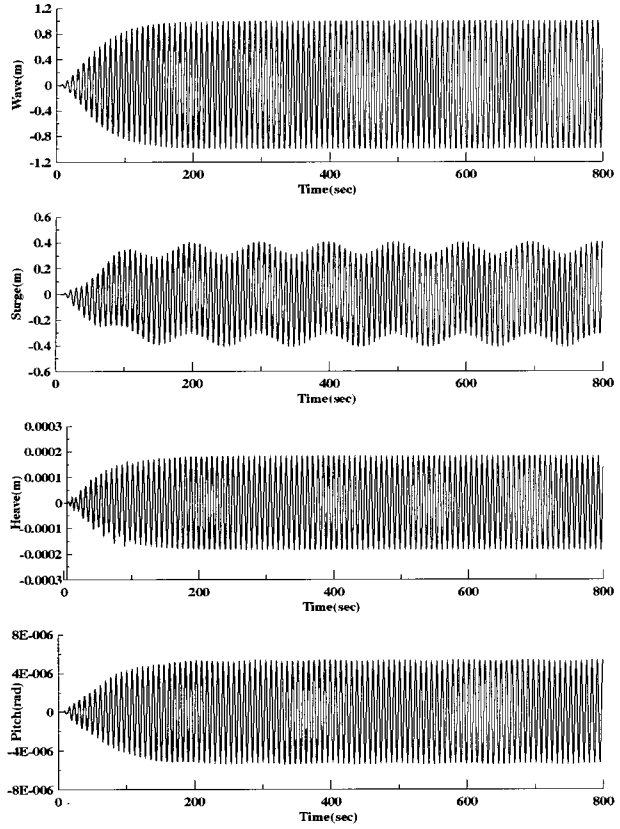

Fig. 6 Time history of linear motion responses in waves (Heading= 0 °, $\omega = 0.8\ rad/\sec$)

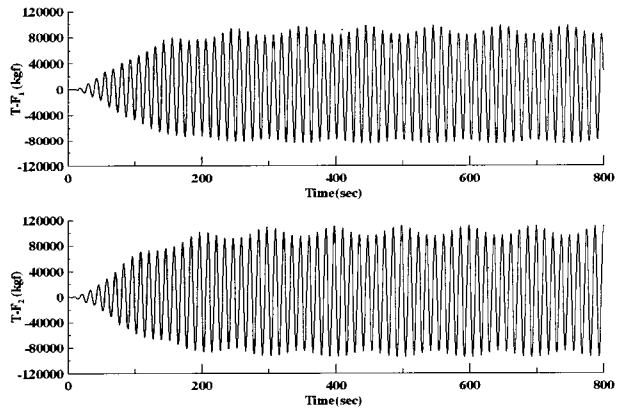

Fig. 7 Time history of linear tension variations in waves (Heading= 0 °, $\omega = 0.5\ rad/\sec$)

나타내고 있다. 선형에서와 같이 파하측의 변동 장력이 파상측보다 다소 크게 나타남을 알 수 있고, 비선형의 영향으로 파상측의 변동장력은 약 7% 정도 증가하였고, 파하측 변동장력은 약 4% 정도 감소하였다.

Fig. 10은 시간영역에서의 불규칙파의 시간이력과 불규칙파에 대한 선형 파강제력만 고려한 경우에 대한 ISSC TLP 실선의 파상측과 파하측의 변동 장력 응답을 나타내고 있다.

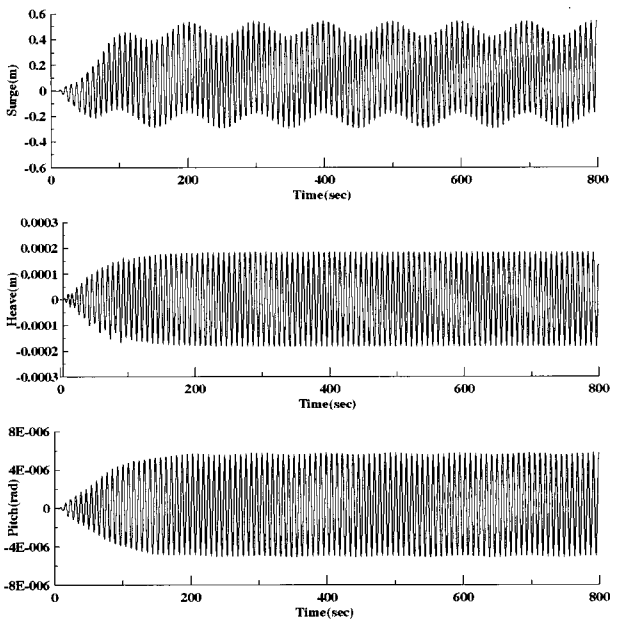

Fig. 8 Time history of nonlinear motion responses in waves (Heading= 0 °, $\omega = 0.8\ rad/\sec$)

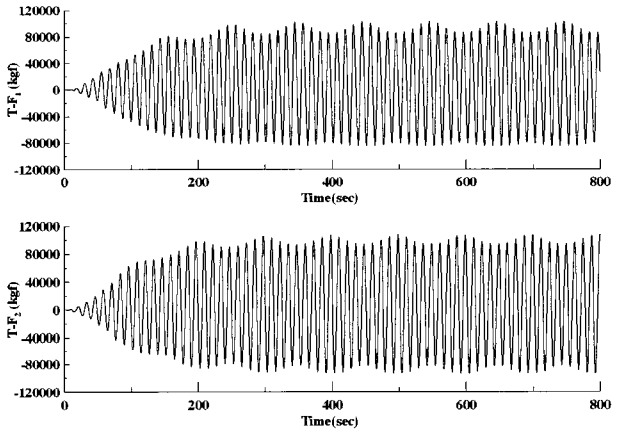

Fig. 9 Time history of nonlinear tension variations in waves (Heading= 0 °, $\omega = 0.5\ rad/\sec$)

본 논문에서 사용된 불규칙파의 스펙트럼은 유의파고 9.8m, 유의주기 13.7 sec 인 ISSC 스펙트럼이고, 시간은 1600 sec 까지 0.1 sec 씩 증분 시키면서 계산을 수행하였다. 파하측보다 파상측에서 변동장력의 Peak 치가 자주 발생하며, 최고 Peak 치는 파하측에서 더 큰 값으로 나타남을 알 수 있다.

Fig. 11은 합·차 주파수의 비선형 파 강제력을 모두 고려한 경우의 파상측과 파하측의 변동장력 응답을 나타내고 있다. 비선형 파강제력의 영향으로 변동장력이 크게 나타남을 알 수 있으며, 변동장력의 최고 Peak 치를 비교해 보면 파상측의 경우에는 약 48% 정도 크게 나타나고, 파하측의 경우에는 약 15% 정도 크게 나타났다.

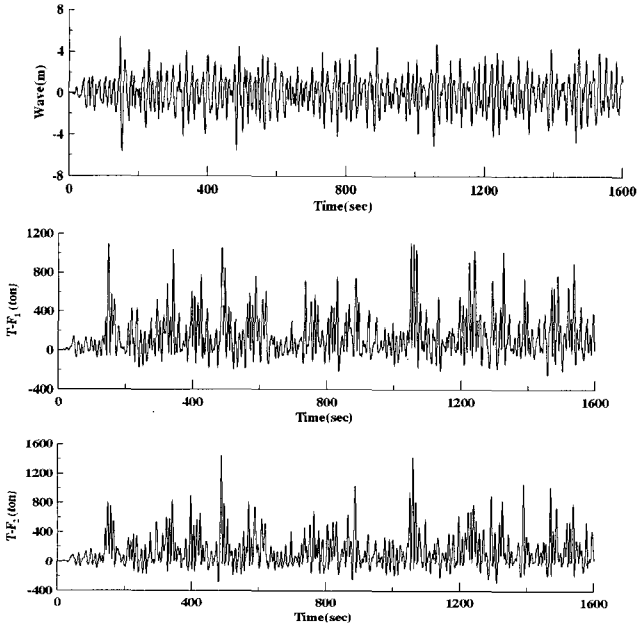

Fig. 10 Time history of linear tension variations in irregular waves (Heading=0°)

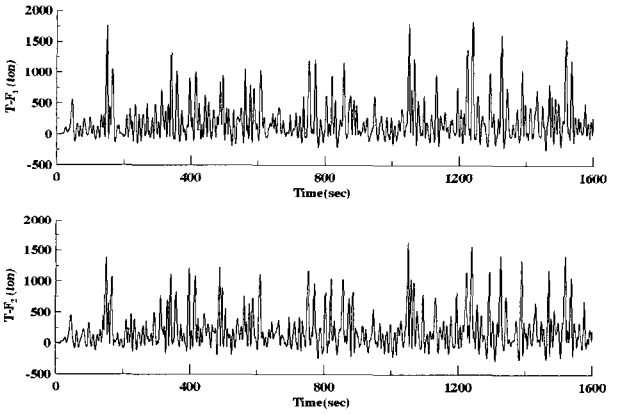

Fig. 11 Time history of nonlinear tension variations in irregular waves (Heading=0°)

4. 결 론

본 논문에서는 ISSC TLP 실선 구조물에 대한 불규칙파 중에서의 비선형 시간영역 운동응답 및 변동장력 응답 특성을 평가하였으며, 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

(1) ISSC TLP 실선 구조물에 작용하는 합·차 주차수 성분의 비선형 파강제력을 산정하고, 시간영역에서 비선형 운동응답 및 변동 장력응답 특성을 평가하였으며, 주파수 영역에서의 계산결과를 MARIN의 실험치와 KRISO의 계산치 및 시간영역에서의 계산 결과를 비교·검토함으로써 본 계산 방법의 타당성을 확인하였다.

(2) 규칙파중에서 비선형 파강제력 성분을 고려한 Surge 운동 응답에서는 차주파수의 비선형 파강제력에 의해 표류 운동이 나타남을 확인하였고, 선형 운동응답에 비하여 약 35% 정도 운동이 증가하였다. Pitch 운동 응답에서는 ISSC TLP의 Set down 현상이 나타남을 확인하였다.

(3) 규칙파 중에서 비선형 파강제력 성분을 고려한 변동 장력 응답에서는 비선형에 의해 파상측의 변동장력 응답은 약 7%정도 증가하였고, 파하측의 변동장력 응답은 약 4% 정도 감소하였으며, 불규칙파 중에서 변동장력 응답은 파상측에서 강한 인장력의 Peak 치가 자주 발생하며, 비선형 성분을 고려한 결과 선형 변동장력에 비하여 인장력의 Peak 치가 파상측에서는 약 48% 정도 증가하였고, 파하측에서는 약 15% 정도 증가하였다. 이러한 비선형에 의한 변동 장력의 변화는 계류부재의 강도설계에서 충분히 고려되어야 할 것이다.

(4) 본 연구에서의 비선형 응답 해석법은 반잠수식 해양구조물 및 원유생산저장하역선(FPSO) 등의 실선 구조물에 대해서도 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김병완, 경조현, 홍사영, 조석규 (2005). "강성분포의 변화가 초대형 부유식 해양구조물의 유탄성응답에 미치는 영향 고찰", 대한조선학회 논문집, 제42권, 제3호, pp 220-232.

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

이창호, 구자삼, 조효제, 홍봉기 (1998). "불규칙파중의 인장계류식 해양구조물의 비선형 응답 해석", 한국해양공학회지, 제12권, 제2호, pp 33-42.

최윤락, 김진하, 김용수 (2005). "바아지형 FPSO의 횡운동 성능에 대한 해석", 한국해양공학회지, 제19권, 제3호, pp 25-30

Kato, S., Teng, B. and Saito, M. (1995). "Nonlinear Response of a Tension Leg Platform -Characteristics of Second-order Sum Frequency Force and Higher Order Force-", SNAJ, Vol 178, pp 245-258.

Kato, S., Teng, B. and Ando, H. (1996). "Ringing Response of a Tension Leg Platform -Theoretical and experimental Analyses of Third-order Force on TLP-", SNAJ, Vol 180, pp 175-192.

Kim, M.H. and Yue, D.K.P. (2000). "The Nonlinear Sum-frequency Wave Excitation and Response of a Tension Leg Platform," BOSS

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.

2006년 8월 22일 원고 접수
2006년 9월 25일 최종 수정본 채택