

불규칙파 중에서 돌핀 계류된 바이지식 해상공장에 대한 비선형 응답 해석

이호영* · 신현경* · 염재선**

*울산대학교 수송시스템공학부, **목포대학교 선박해양공학과

Nonlinear Response Analyses for a Barge-Mounted Plant with Dolphin Mooring Systems in Irregular Waves

HO-YOUNG LEE*, HYUN-KYOUNG SHIN* AND JAE-SEON YUM**

*School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

**Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Mokpo University, Chonnam 534-729, Korea

KEY WORDS: Time domain 시간영역, Retardation function 기억효과 함수, Newmark β method, 뉴마크 베타 방법, Second order wave drift forces 2차항 파표류력, Dolphin mooring system 돌핀 계류 시스템, Nonlinear responses 비선형 응답, Barge-Mounted Plant 바이지식 해상공장

ABSTRACT: The time simulation of motion responses of dolphin-moored BMP in waves is presented. The equation of motion based on Cummin's theory of impulse responses are employed, and solved in time domain by using the Newmark β method. The hydrodynamic coefficients and first order wave exciting forces involved in the equations are obtained from a three-dimensional panel method in the frequency domain. The second order wave drift forces and mooring forces for dolphin systems are taken into account. As for numerical example, time domain analyses are carried out for a BMP in irregular wave condition.

1. 서 론

한국에서 해양공간과 자원을 이용하기 위한 프로젝트가 근래에 활발하게 시작되고 있다. 최근의 한국기계연구원과 한국해양연구소에서 수행했던 BMP(해상공장) 프로젝트의 목적은 쓰레기 소각장과 같은 부유식 구조물을 설계하고 건설하려는 목적에서 출발하였다(정태영/정정훈 1996). 이런 해상 부유식 구조물은 파도중에서 거동을 반드시 조사하여야 한다. 즉 1차항 파강제력에 의한 구조물의 운동도 중요하지만 더욱 중요한 것은 2차항 파강제력에 의한 계류계와의 공진 운동 및 파도와 구조물의 운동에 의한 계류계에 작용하는 힘을 반드시 계산하여 계류계 설계에 반영하여야 한다. 기존의 현수형 계류 시스템을 장착한 해양구조물이나 FPSO 선박에 대한 비선형 응답해석은 국내외에서 많은 연구가 수행되어 왔다(최윤락 1990, 이창호의 1998). 그러나 돌핀 계류시스템을 장착한 해양 구조물에 대해서 비선형 응답인 저주파수 운동 해석과 계류시스템에 대한 힘의 산정등은 찾아보기 힘든 실정이다.

본 논문에서는 불규칙파 중에서 해상공장의 거동을 조사하기 위해 3차원 패널 방법이 사용되었고 비선형 운동은 수평방향의 3가지 운동에 대하여 계산하였다. 수평방향의 2차항 파강제력과 모우멘트는 2차항 산란 포텐셜에 의한 항을 무시하고 1차항 포텐셜에 의한 항만을 고려하여 직접 적분법을 사용하여 계산하였다(Pinkster 1980). 돌핀-펜더 계류시스템은 1자유도

를 갖는 간단한 선형 스프링으로 치환하였고 2차항 파강제력의 비선형성과 돌핀 계류시스템의 운동을 허용하기 위해 시간 영역의 천이 운동방정식을 사용하여 수치적으로 계산하였다.

본 논문의 계산 예로 한국기계연구원과 한국해양연구소가 설계한 BMP을 사용하여 3가지의 비선형 운동과 계류력을 산정하였다.

2. 시간영역에서 운동방정식

해상공장과 같은 구조물의 운동을 해석하기 위해 두가지의 좌표계가 사용된다. 하나는 물체고정 좌표계(o-xyz)이며 다른 하나는 공간고정 좌표계(O-XYZ)를 사용한다. Fig. 1은 좌표계와 해상공장에 대한 돌핀 계류에 대한 그림을 도시하였다. 시간영역에서 운동방정식은 부유체에 대한 6자유도 운동방정식을 확장하여 사용한다(Cummins, 1962). 이 방법에서 주파수영역에서 동유체력은 곱 적분에 의해 고려되고, 유체력이 선형적으로 변한다는 가정에 의해 해상 구조물에 대한 운동 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_j [(M_{ij} + A_{ij}(\infty)) \dot{x}_j + \int_0^t K_{ij}(t-\tau) \dot{x}_j(\tau) d\tau + C_{ij}x_j] = F^{(1)}_{ij} + F^{(2)}_{ij}, \quad i=1,2,6 \quad (1)$$

$$K_{ij}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty B_{ij}(\omega) \cos(\omega t) d\omega \quad (2)$$

where x_j ; the response amplitudes

M ; mass matrix,

$A(\infty)$; added mass matrix of infinite frequency

B ; wave damping matrix, C ; Mooring stiffness matrix

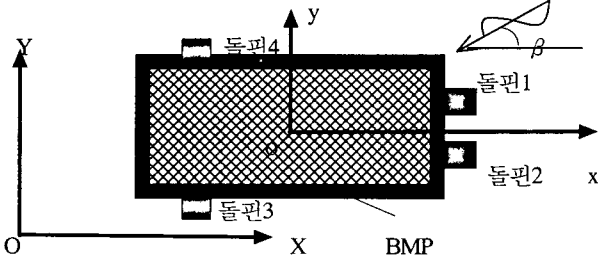


Fig. 1 Coordinate system and configuration of BMP

위에서 K_{ij} 은 기억효과 함수이고, $F_{W}^{(1)}$, $F_{W}^{(2)}$ 는 1차항·파강제력과 2차항 파강제력을 나타낸다. (1)에서 $i=1, 2, 6$ 은 전후동요, 좌우동요 및 선수동요를 나타낸다. 운동방정식의 자유도 수는 3 자유도이며, (1)에서 주파수 무한대에서 부가질량 계수 $A_{ij}(\infty)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{ij}(\infty) = A_{ij}(\omega_0) + \frac{1}{\omega_0} \int_0^{\infty} K_{ij}(t) \sin(\omega_0 t) dt \quad (3)$$

$A(\omega_0)$ 은 임의의 주파수 ω_0 에서 부가질량이다. 기억효과 함수를 계산하기 위해 부가질량과 파랑감쇠계수의 값은 모든 주파수에 대해 계산되어야 하나 고 주파수에서는 계산의 정도가 떨어진다. 그래서 본 논문은 파랑감쇠계수와 부가질량이 0에 가까운 고 주파수까지 계산하고 나머지 부분은 직선으로 외삽하였다.

식(1)을 시간 전진하기 위해 n 번째 시간 단계에서 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\sum_j (M_{ij} + A_{ij}(\infty)) \dot{x}_j + C_{ij} x_j = F_{W}^{(1)} + F_{W}^{(2)} - \sum_j \sum_{p=0}^{j-1} K_{ij}(p) \dot{x}_j(n-p) \Delta t \quad (4)$$

(4)에서 운동방정식은 각 시간 단계에서 수치 적분 기법을 사용함으로 계산되며, 본 논문에서 뉴마크-베타(Newmark- β) 방법을 사용하였다(이호영/신현경, 2000).

3. 파강제력 및 돌핀 계류력

3.1 파강제력

부유체의 6자유도 운동을 생각하면 1차항 포텐셜은 입사파, 방사 및 산란 포텐셜로 구성되며 다음과 같이 표현된다.

$$\varphi^{(1)} e^{i\omega t} = [\zeta(\varphi^{(1)}_I + \varphi^{(1)}_D) + \sum_{j=1}^6 \varphi^{(1)}_j x_j] e^{i\omega t} \quad (5)$$

where ω ; wave angular frequency

ζ ; wave amplitude

$\varphi^{(1)}$ 는 입사파 포텐셜이며 유한 수심에서는 다음과 같이 표현된다.

$$\varphi^{(1)}_I = -\frac{ig}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} e^{ik(x \cos \beta + y \sin \beta)} \quad (6)$$

여기에서 h , β 및 k 는 각각 수심, 파입사각 및 파수를 나타낸다. (5)에서 방사 및 산란 포텐셜의 경계치 문제는 Laplace 방정식, 자유표면 조건, 물체표면 조건 등으로 구성되며 일반적으로 3차원 패널 방법을 적용하여 풀면 해결될 수 있다. 선형 베르누이(Bernoulli) 방정식으로부터 부가질량, 파랑감쇠계수 및 1차항 파강제력은 다음과 같이 도출된다.

$$f_{Ri}^{(1)}(\omega) = \sum_{j=1}^6 x_j (\omega^2 A_{ij} - i\omega B_{ij}) \quad (7)$$

$$f_{W}^{(1)}(\omega) = \rho(i\omega) \int \int_{S_b} (\varphi^{(1)}_I + \varphi^{(1)}_D) n_i ds \quad (8)$$

$$A_{ij}(\omega) = -\frac{\rho}{\omega^2} \text{Re} \left[\int \int_{S_b} i\omega \varphi^{(1)}_j n_i ds \right] \quad (9)$$

$$B_{ij}(\omega) = \frac{\rho}{\omega} \text{Im} \left[\int \int_{S_b} i\omega \varphi^{(1)}_j n_i ds \right] \quad (10)$$

where S_b ; body surface

불규칙파 중에서 1차항 파강제력은 규칙파 중에서 파강제력을 (8)에서 계산하여 N 개의 규칙파의 합으로 나타내어 다음과 같이 계산하였다.

$$F_{W}^{(1)}(t) = \text{Re} \left[\sum_{m=1}^N \zeta_m f_{W}(\omega_m) e^{i(\omega_m t + \epsilon_m)} \right] \quad (11)$$

ζ_m ; wave amplitudes, ϵ_m ; phase angles of incident waves
통상적으로 불규칙파는 규칙파의 합으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\zeta(t) = \sum_{m=1}^N \zeta_m \cos(\omega_m t + \epsilon_m) \quad (12)$$

위상각은 랜덤(random) 변수이며, 인위적으로 $(-\pi, \pi)$ 구간에서 위상각을 랜덤하게 분포하였다. 파의 변위는 파도 스펙트럼으로부터 계산되며 다음과 같다.

$$\zeta_m = \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_m) \Delta \omega_m} \quad (13)$$

where $\Delta \omega$; wave frequency interval

본 논문에서는 파도 스펙트럼은 다음과 같이 ITTC 스펙트럼을 사용하였다.

$$S_{\zeta}(\omega) = A/\omega^5 \exp(-B/\omega^4) \quad (14)$$

where $A = 172.5 (H_{1/3}^2 / T_1^4)$, $B = 691 / T_1^4$

$H_{1/3}$; significant wave height, T_1 ; mean period

2차항 파강제력은 1차항 포텐셜로부터 계산된 동 유체 압력을 직접 적분함으로써 계산된다(이호영/곽영기, 1997). 천수에서 2차항 산란 포텐셜에 대한 영향은 중요할 수 있으나, 공학적인 적용을 위해 본 논문에서는 무시하였다. 2차항 파강제력에 대한 시계열은 다음 공식으로 표현된다.

$$F_{W}^{(2)} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \zeta_j \zeta_k \{ P_{jk} \cos[(\omega_j - \omega_k)t + (\epsilon_j - \epsilon_k)] + Q_{jk} \sin[(\omega_j - \omega_k)t + (\epsilon_j - \epsilon_k)] \} \quad (15)$$

여기에서 P_{jk} 와 Q_{jk} 는 차이 주파수에 대한 2차 전달함수이다. 2차 전달함수는 1차항 운동과 포텐셜에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다(최윤락 1990).

$$H_{jk} = P_{jk} + iQ_{jk} = -\frac{1}{4} \rho g \oint_{C_w} \overline{\xi_{r_j}^{(1)}} \xi_{r_k}^{(1)} n dc \quad (16)$$

$$+ \frac{1}{4} \int \int_{S_w} \overline{\nabla \varphi^{(1)}}_j \nabla \varphi^{(1)}_k n ds$$

$$+ \frac{1}{4} \rho \int \int_{S_w} [i\omega_k \overline{u^{(1)}}_j \nabla \varphi^{(1)}_k - i\omega_j u^{(1)}_k \nabla \varphi^{(1)}_j] n ds$$

$$+ \frac{1}{4} [\overline{\alpha_j} \times F^{(1)}_k - \alpha_k \times F^{(1)}_j]$$

where C_w ; the waterline of body

$\xi_{r_j}^{(1)}$; 수직운동과 입사파, 산란파 및 방사파의 선형합에 의한 파와의 상대진폭

(16)에서 모든 항은 단위 진폭의 규칙파에 대응되는 것이며 직선 운동변위 $u^{(1)}$ 와 각운동 α 및 $F^{(1)}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$u^{(1)} = (x^{(1)}_1, x^{(1)}_2, 0) + (0, 0, x^{(1)}_6) \times r \quad (17)$$

$$F^{(1)} = F^{(1)}_W + F^{(1)}_R \quad (18)$$

$F^{(2)}_W$ 는 시간평균 표류력, 저진동 표류력 및 모우멘트로 2 가지 성분으로 구성된다.

3.2 돌핀 계류력

부유체와 돌핀 모두 강체라고 생각하고 각지점의 링크(link)의 변위는 1자유도 운동만 고려하면 링크와 부유체의 접속점에서 변위는 다음과 같이 표현된다.

$$u_j = x_1 + \xi_j x_6 \quad (19)$$

$$v_j = x_2 + \xi_j x_6 \quad (20)$$

where ξ_j ; x축 방향으로 설치된 돌핀의 y 좌표,

ξ_i ; y축 방향으로 설치된 돌핀의 x 좌표

돌핀 i 지점과 j 지점에서의 외력과 부유체 및 돌핀간의 힘의 평형 방정식은 다음과 같다.

$$F^y_i + kv_i = 0 \quad (21)$$

$$F^x_j + ku_j = 0 \quad (22)$$

부유체의 전체 운동방정식 (1)로부터 각 지점의 돌핀에서 외력을 고려하여 돌핀 계류계의 탄성 행렬은 다음과 같이 도출된다.

$$[C_{ij}] = \begin{bmatrix} nk & 0 & k \sum_{j=1}^n \xi_j \\ 0 & mk & k \sum_{i=1}^m \xi_i \\ k \sum_{j=1}^n \xi_j & k \sum_{i=1}^m \xi_i & k(\sum_{i=1}^m \xi_i^2 + \sum_{j=1}^n \xi_j^2) \end{bmatrix} \quad (23)$$

여기에서 n 은 y축과 평행한 면에서 돌핀의 개수이고 m은 x축과 평행한 면에서 돌핀의 개수를 나타내고 돌핀 링크의 강성계수 k는 모든 지점에서 같은 것으로 취급하였다.

4. 계산결과 및 고찰

본 계산에 사용된 모델은 한국기계연구원과 한국해양연구소에서 설계한 바이지 형태이며 기본 제원은 다음과 같다(Choi et al, 2000). BMP의 실제 설치될 수심은 15m 이나 본 계산에 사용된 수심은 10m 이다.

구조물의 비선형 운동을 해석하기 위해 요소의 분할은 구조물의 밑면은 x 방향으로 22개 y 방향으로 16개로 분할하였고, 옆면은 x 방향으로 22개 z 방향으로 1개 그리고 y 방향으로 16개 z 방향으로 1개로 분할하였다. 그리고 불규칙파수 현상을

Table 1 Main particulars of barge-mounted plant

L × B × Depth	30 × 22 × 6m
Draft	1.8m
Water depth	10m
Displacement	1188m ³
KG	2.54m
kxx	5.79m
kyy	7.35m
kzz	8.72m

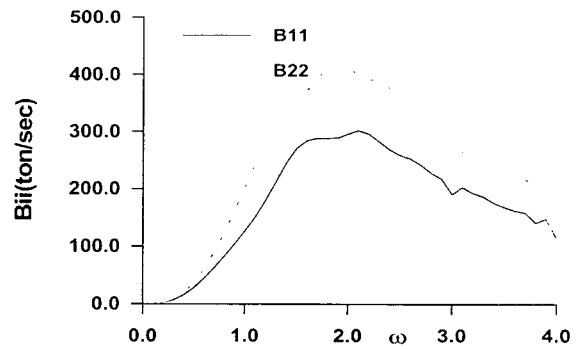


Fig. 2 Damping coefficients

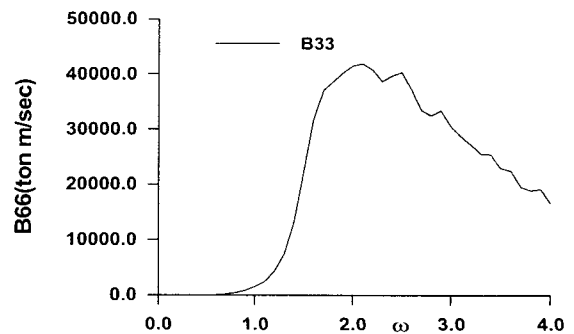


Fig. 3 Damping coefficients

제거하기 위해 뒷면에 x 방향으로 5개 y 방향으로 3개의 요소로 분할하였다(Hong 1987).

돌핀계류는 Fig. 1에서 알 수 있듯이 x축을 따라 오른쪽 면에 2개(y=-6, 6)를 설치하였고, y축에 따라 양쪽에 2개(x=-9)를 설치하였다.

운동 방정식 (1)의 해를 계산하기 위해 주파수 무한대에서 부가질량과 파랑감쇠계수를 주파수 응답함수로 계산해야 한다. 파랑감쇠계수의 주파수응답함수로서 얻어진 계산 결과를 Fig. 2, 3에서 나타내었다. 그림의 B_{ij} 에서 i, j는 j 방향의 운동에 의한 i 방향의 파랑감쇠계수를 나타낸다.

Fig. 4, 5는 (2)로부터 계산된 충격 응답함수를 도시하였다. 전후동요, 수평동요 및 선수동요에 대한 충격응답함수는 5초정도 지나면 거의 0의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 입사파각 $\beta=45\text{deg}$ 인 경우에 수평운동을 주파수가 변환에 따른 운동을 도시하였다. 주파수에 따른 운동은 주파수가 0.9에서 2.2까지 계산한 값을 도시하였다. 주파수가 0.9 근처의 선수 운동값이 큰 이유는 수심이 10m 이므로 천수효과에 의해 물체 근처의 파입자 운동이 무한수심의 경우보다 훨씬 커지므로 운동이 과도하게 표현되었다.

Fig. 7은 2개의 주파수($\omega_1, \omega_2=2.0, 2.05$), 파진폭($\zeta_1, \zeta_2=0.5\text{m}$)인 경우에 시간에 따른 입사파의 파의 높이를 도시하였다. 부유체의 초기조건에 의한 과도효과를 없애기 위해 파진폭을 50주기동안 선형적으로 증가 시켰다.

Fig. 8~10은 Fig. 7의 과도 조건에서 돌핀 스프링 상수를 변화시켜가면서 계산한 전후운동, 수평운동 및 선수운동을 도시하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이 스프링 상수에 따른 운동의 주파수는 변하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 2차항 파강제력의 주파수($\omega=0.05$)는 계류시스템의 주파수와는 일치하지 않기 때문에 1차항 파강제력의 주파수와 2차항 파강제력에 의한 주파수 성분만 그림에서 도시된다. 또한 본 계산의 경우에 스프링 상수에 따른 운동 변화의 특성은 $k=10\text{tonf/m}$ 에서 $k=20\text{tonf/m}$ 으로 증가시킨 경우에 운동을 크게 줄이지만, 스프링 상수를 더욱 증가시킬 경우에 운동을 크게 줄이지 않는 것을 보여주고 있다.

Fig. 11는 해상공장이 설치되는 해역에 대해 반복주기 100년 인 경우의 과도조건($H_{1/3}=1.26\text{m}, T_1=3.26\text{sec}$)인 경우에 파입사각 ($\beta=45\text{deg}$)에 대해 IITC 스펙트럼을 사용하여 과도에 대한 스펙트럼을 주파수 0.9에서 2.2까지 주파수 간격 0.05로 27개의 과도 성분에 대하여 스펙트럼을 도시하였다.

Fig. 12은 Fig. 11에 도시된 과도 스펙트럼에 대하여 불규칙파를 시간에 따라 도시하였다. 도시된 불규칙파의 특징은 Freak 파도와 비슷한 형태인데 파고가 갑자기 2m이상으로 증가한 특이한 파를 시간 310sec 부근에 임의적으로 넣어 주었다.

Fig. 13, 14는 돌핀 계류의 스프링 상수($k=10\text{tonf/m}$)인 경우에 따른 전후운동, 수평운동 및 선수운동을 도시하였다. 그림으로부터 전후동요의 주기가 수평운동 및 선수운동의 주기보다 짧게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 운동값은 계류 스프링 상수가 커지면 저주파수 운동주기도 짧아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 15~17은 돌핀 계류의 스프링 상수에 대한 값의 변화에 따른 전후운동, 수평운동 및 선수운동을 도시하였다. 스프링

상수값이 작은 경우에 표류운동을 잘 보여주고 있으며, 스프링 상수가 어느 정도 증가하면 운동을 크게 줄이지 못하는 것을 알 수 있다.

Fig. 18~20은 돌핀 계류의 스프링 상수의 값의 변화에 따른 전후운동, 수평운동 및 선수운동에 대한 속도를 도시하였다.

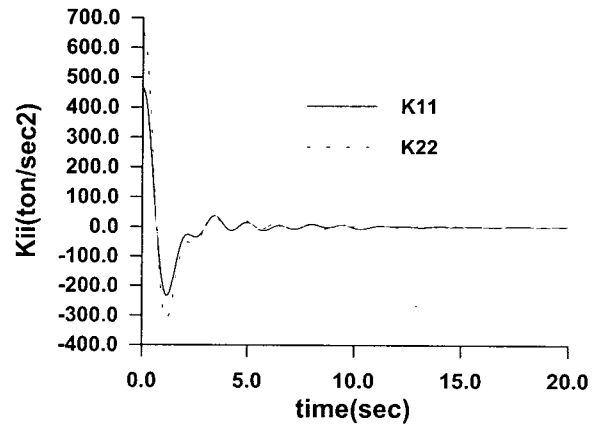


Fig. 4 Retardation function

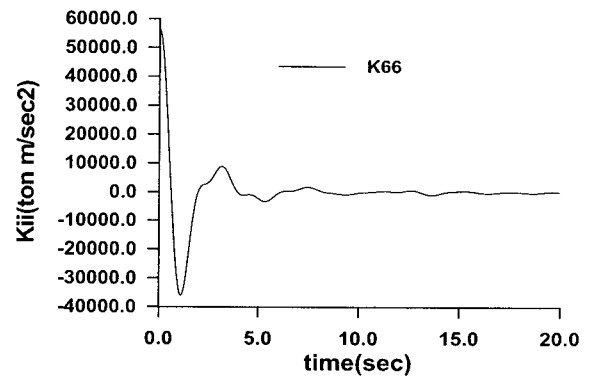


Fig. 5 Retardation function

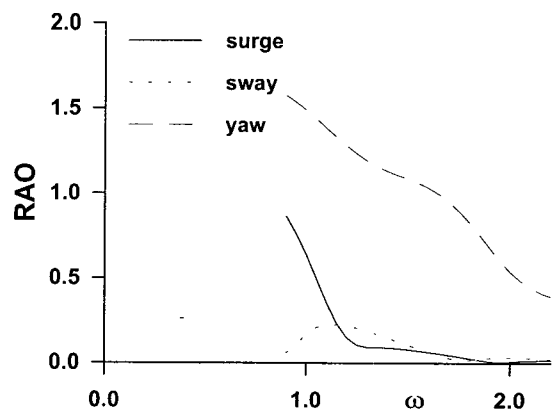


Fig. 6 Lateral motion of BMP

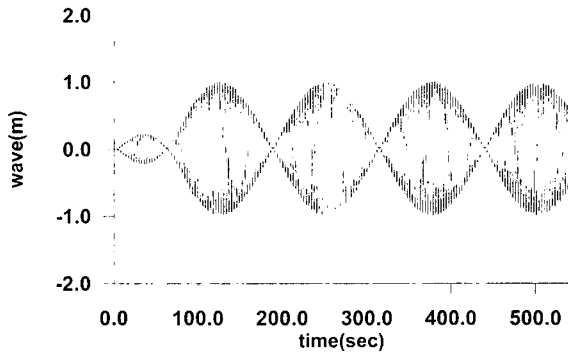


Fig. 7 Time histories of bi-chromatic waves ($\omega=2.0, 2.05, \beta=45\text{deg}$)

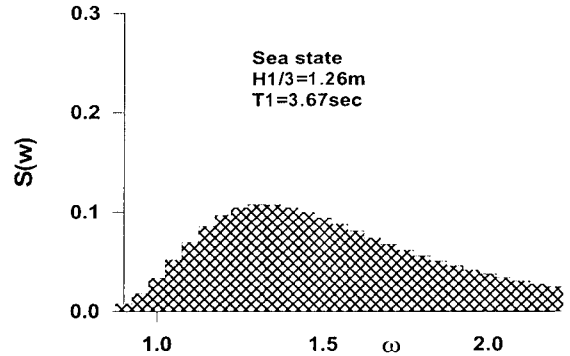


Fig. 11 ITTC wave spectrum

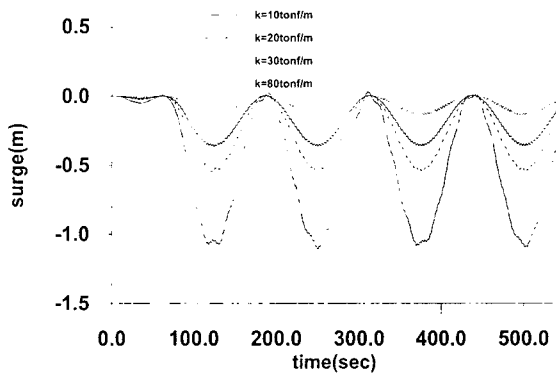


Fig. 8 Time histories of surge motion ($\omega=2.0, 2.05, \beta=45\text{deg}$)

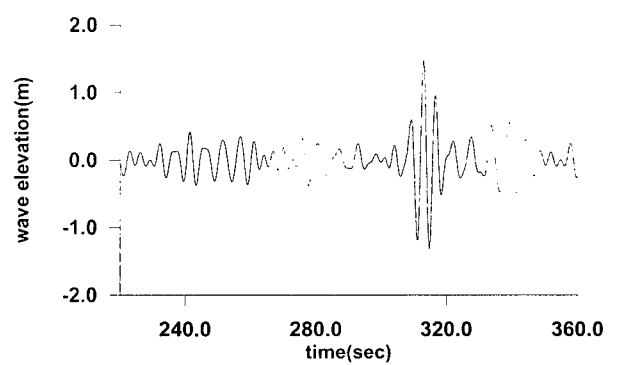


Fig. 12 Time histories of irregular waves ($H_{1/3}=1.26\text{m}, T_1=3.67\text{sec}$)

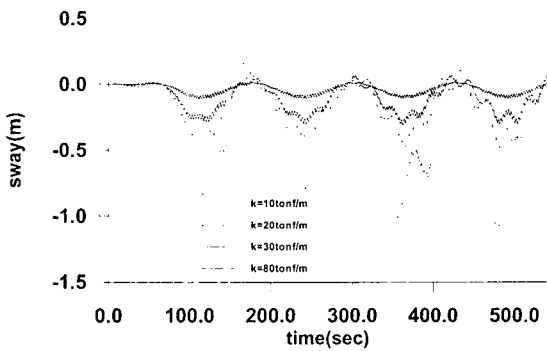


Fig. 9 Time histories of sway motion ($\omega=2.0, 2.05, \beta=45\text{deg}$)

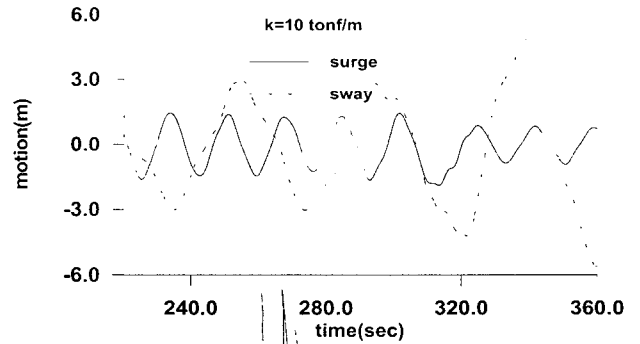


Fig. 13 The predicted motion histories ($\beta=45\text{deg}$)

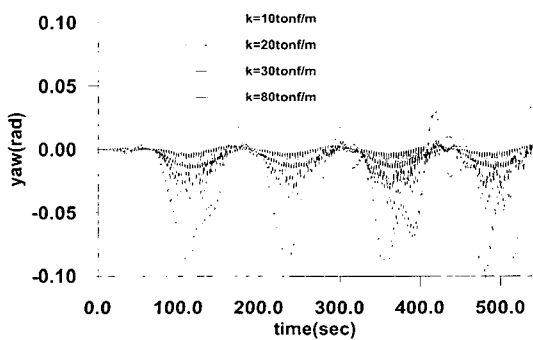


Fig. 10 Time histories of yaw motion ($\omega=2.0, 2.05, \beta=45\text{deg}$)

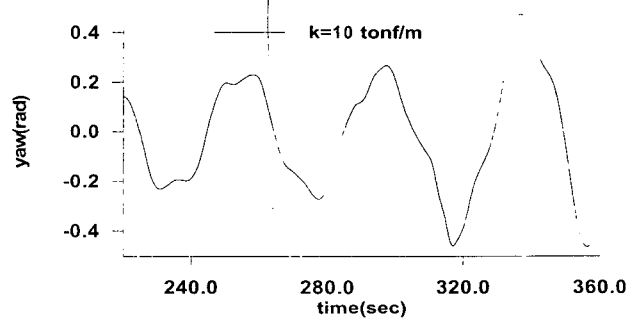


Fig. 14 The predicted yaw motion histories ($\beta=45\text{deg}$)

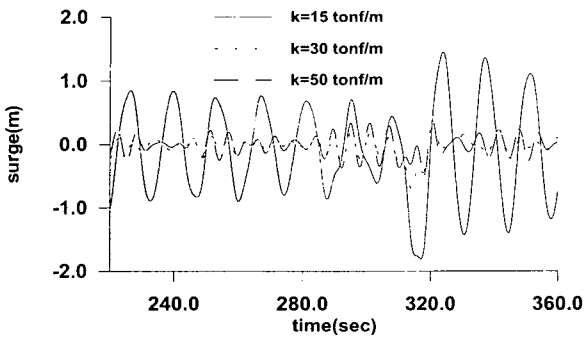


Fig. 15 Time histories of surge motion ($\beta=45\text{deg}$)

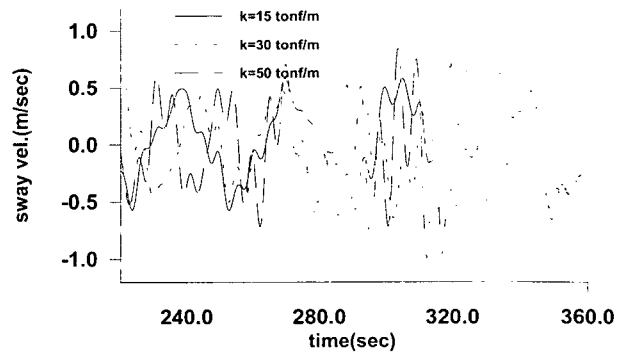


Fig. 19 Time histories of sway velocity ($\beta=45\text{deg}$)

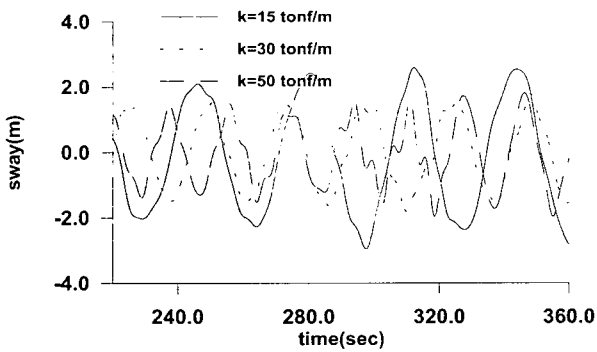


Fig. 16 Time histories of sway motion ($\beta=45\text{deg}$)

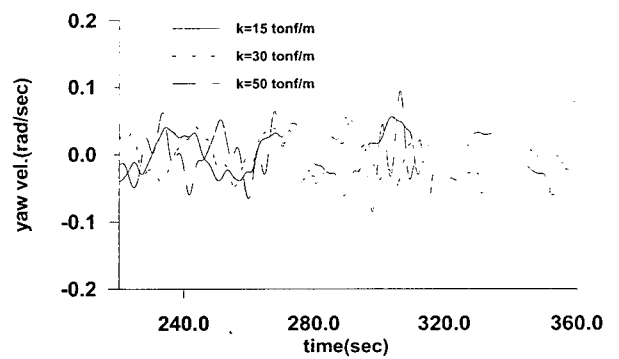


Fig. 20 Time histories of yaw velocity ($\beta=45\text{deg}$)

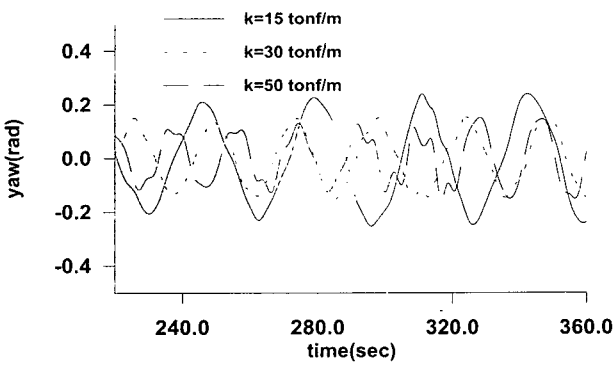


Fig. 17 Time histories of yaw motion ($\beta=45\text{deg}$)

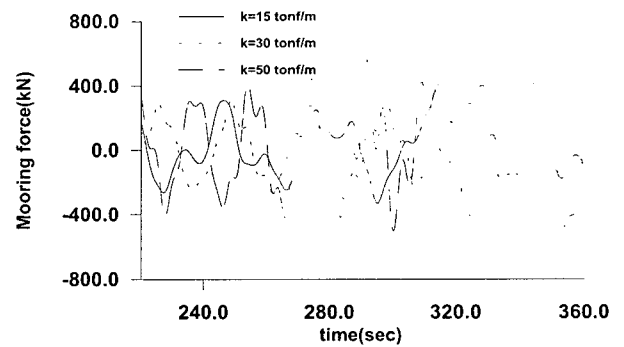


Fig. 21 The predicted time histories of mooring forces (Dolphin 1, $\beta=45\text{deg}$)

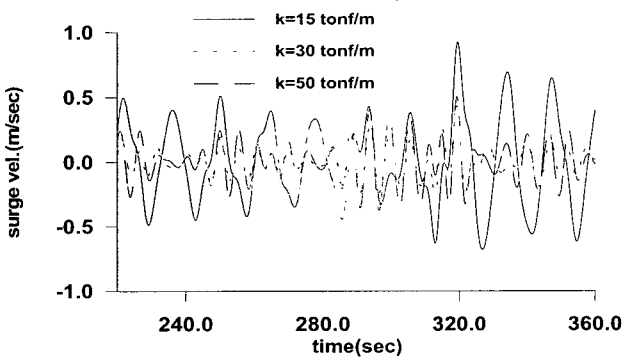


Fig. 18 Time histories of surge velocity ($\beta=45\text{deg}$)

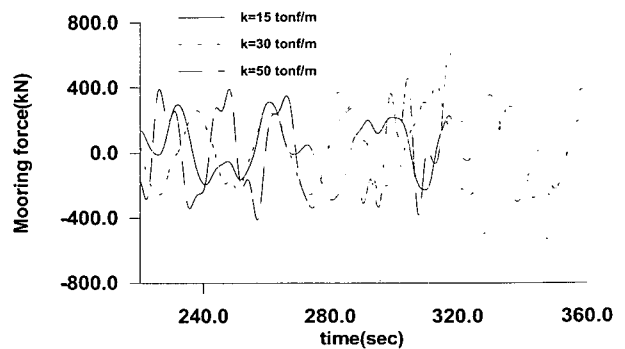


Fig. 22 The predicted time histories of mooring forces (Dolphin 2, $\beta=45\text{deg}$)

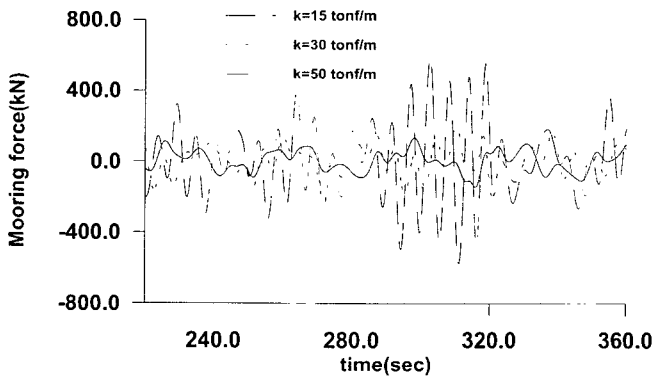


Fig. 23 The predicted time histories of mooring forces (Dolphin 3, $\beta=45\text{deg}$)

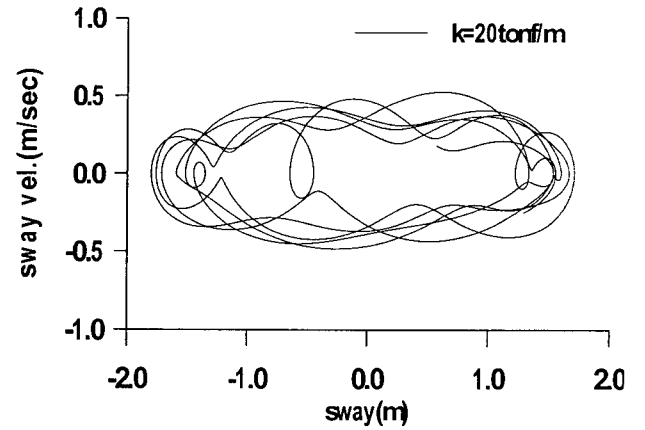


Fig. 26 Phase diagram of sway motion ($\beta=45\text{deg}$)

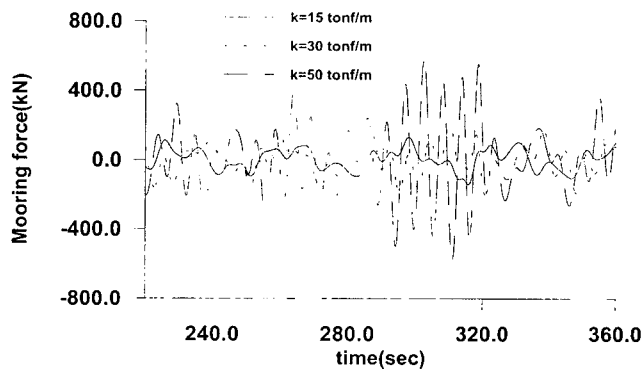


Fig. 24 The predicted time histories of mooring forces (Dolphin 4, $\beta=45\text{deg}$)

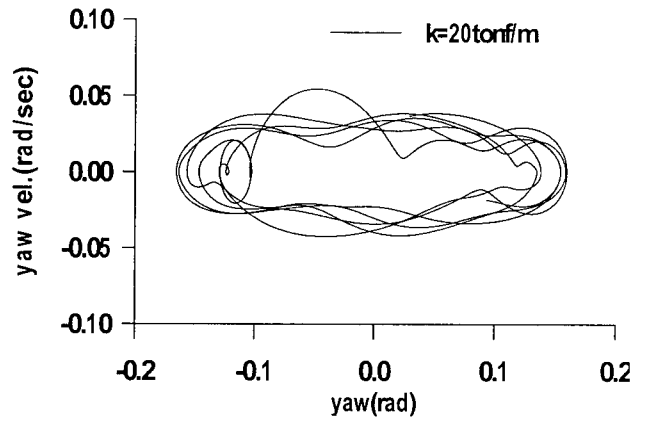


Fig. 27 Phase diagram of yaw motion ($\beta=45\text{deg}$)

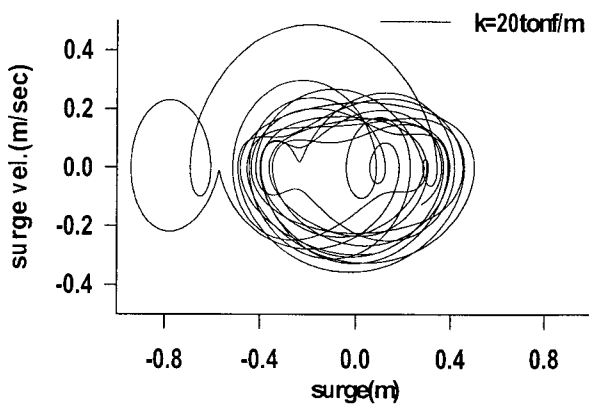


Fig. 25 Phase diagram of surge motion ($\beta=45\text{deg}$)

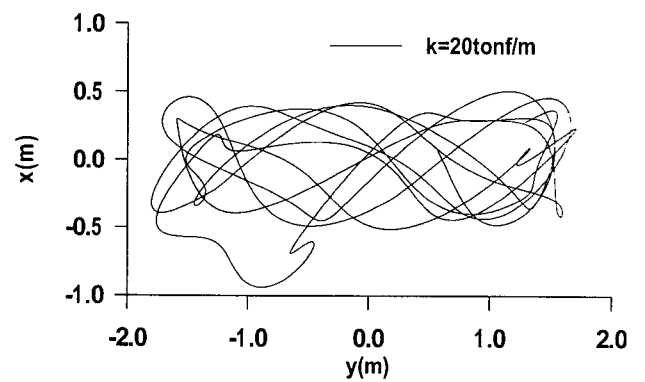


Fig. 28 x-y trajectories of BMP ($\beta=45\text{deg}$)

스프링 상수값에 따른 속도 변화는 전후운동에서 크게 나타나고 나머지 운동은 스프링 상수의 변화에 따른 속도의 변화는 보이지 않는다.

Fig. 21, 22는 x 방향으로 계류된 돌핀 시스템(돌핀1, 2)에 대한 계류력을 도시하였다. 두 지점에서 계류력 크기는 비슷하고 스프링 상수가 15, 30tonf/m 인 경우에 계류력 크기가 가장 작고, 50tonf/m인 경우가 계류력 크기가 약간 크게 도시되었다.

Fig. 23, 24는 y 방향으로 계류된 돌핀 시스템(돌핀3, 4)에 대한 계류력을 도시하였다. 두 지점에서 계류력 크기는 같고 스프링 상수가 15, 30tonf/m 인 경우에 계류력 크기가 작게 되고, 50tonf/m인 경우는 상대적으로 계류력 크기가 굉장히 크게 도시되었다.

Fig. 25~27은 3가지 운동에 대한 변위-속도관계를 도시하였다. 대략 수평운동과 선수운동은 규칙적으로 보이나 전후운동에서 좌측으로 약간 튀어나온 부분이 생긴다. 이는 310sec 부근의 갑자기 높은 파도의 영향인 듯하다.

Fig. 28은 입사파각($\beta=45\text{deg}$)인 경우에 해상공장의 수평면에서의 위치를 도시하였다. y 축에 대한 변위는 대략 3.5m이내이고 x 축에 대한 변위는 1.4m안에서 움직이는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 3차원 패널 방법이 불규칙파 중에서 해상공장의 거동을 조사하기 위해 사용되었고, 비선형 운동은 수평방향의 3가지 운동에 대하여 수치 모사하였다. 수평방향의 표류력과 표류 모우먼트는 직접적분법을 사용하여 계산되었고, 파 표류력의 비선형성과 돌핀 계류시스템의 운동을 허용하기 위해 시간영역의 운동방정식을 사용하여 수치적으로 계산하였다. 이상의 연구로부터 다음 결론을 도출할 수 있다.

- (1) 시간영역의 운동방정식으로 계산된 저주파수 운동은 잘 표현되었으며, 돌핀 계류계의 설계를 위한 계류력의 크기를 시간에 따라 계산하였다.
- (2) 계류계의 스프링 상수가 커지더라도 운동을 많이 줄이지 못하며, 작업 조건에 따라 스프링 상수에 대한 최적의 값이 있다는 것을 확인하였다.
- (3) 불규칙파 중에서 저주파수운동은 파강제력과 계류계의 공진에 의해 일어나며, 계류계의 공진 주파수와 파 강제력의 주

파수 값이 일치하지 않으면 파강제력의 주파수로 구조물은 운동하는 것을 확인하였다.

- (4) 앞으로 2차항 파강제력의 계산에서 유탄성 운동에 대한 고려와 2차항 산란 포텐셜 및 표류감쇠계수를 고려하여 저주파수 운동을 해석할 필요성이 대두된다.

참 고 문 헌

- 이창호, 구자삼, 조효재, 홍봉기(1998). “불규칙파중의 인장계류식 해양구조물의 비선형 응답해석”, 한국해양공학회지, 제12권, 제2호, pp 43~56.
- 이호영, 광영기(1997). “파중에서 전진하는 선박의 부가저항 해석”, 한국해양공학회지, 제11권, 제2호, pp 91~99.
- 이호영, 신현경(2000). “시간영역에서 초대형 부유식 해양구조물에 대한 유탄성 운동 해석”, 한국해양공학회지, 제14권 제3호, pp 29~34.
- 최윤락(1990). “불규칙파중에 계류된 부유체에 작용하는 저진동 표류력”, 서울대학교대학원 공학석사학위논문.
- Choi, Y. R. et al.(2000). “Experimental Study on Wave Loads and Responses of a Barge-Mounted Plant with Dolphin-Fender Mooring System”, Proc. ISOPE, Seattle, America, Vol. I, pp 204~210.
- Chung, T. Y. and Chung, J. H.(1996). “Introduction of Barged-Mounted Plant Project in Korea”, Proc. Int. Workshop Very Large Floating Structure, Hayama, Japan.
- Cummins, W. E.(1962). “The Impulse Response Function and Ship Motions”, Schifftechnik Bd, pp 101~109.
- Hong, D. C.(1987). “On the Improved Green Integral Equation Applied to the Water-wave Radiation-Diffraction Problem”, Journal of SNAK, Vol. 24, No. 1, pp 1~8.
- Pinkster, J. A.(1980). “Low Frequency Second Order Wave Exciting Forces on Floating Structure”, Netherland Ship Model Basin, Publ. No. 650.

2000년 7월 17일 원고 접수

2000년 10월 20일 수정본 채택