

## 不規則波 중에 Turret 繫留된 浮遊體의 遷移運動解析 Transient Surge Motion of A Turret Moored Body in Random Waves

김 동 준\*  
Dong Joon Kim\*

**要 旨**: 해상에 계류된 부유체는 입사하는 파도에 의해 선형항인 파랑하중과 함께 2차항인 표류력을 받는다. 2차항의 표류력은 자유표면조건의 비선형성에 의해 서로 유사한 주파수를 갖는 2개의 선형 성분파간의 상호작용으로 발생하는 장주기 성분을 포함하고 있다. 대개의 계류계의 수평 인장력은 판성력항에 비해 아주 작은 양이고, 따라서 계류계의 설치로 나타나는 부유체의 수평운동 고유주기는 장주기이므로 때로는 공진이 일어나게 된다. 이렇게 야기된 대진폭운동은 작업조건을 악화시키는 것은 물론 계류계에 심각한 손상을 줄 수 있다. 부유체의 계류계로 최근 관심을 모으고 있는 Turret 계류계의 설계에도 이러한 장주기 표류력에 대한 고려와 함께 풍향성이 있는(weathervaning) 천이운동시 Roller Bearing에 걸리는 수평하중에 대한 해석이 필수적이다. 본 논문에서는 불규칙파중에 계류된 부유체에 작용하는 장주기 표류력을 2차 전달함수를 사용하여 계산한 뒤 장주기 표류력에 의한 전후동요를 시간기억 효과를 고려하여 시뮬레이션하였다. 계류계로는 분산된(spread) Turret형 계류계를 대상으로 하였으며 계류계의 수평인장계수를 매시간 단계마다 계산하는 방법으로 비선형성을 고려하였다.

**Abstract**□A moored body in the sea is subjected to second-order wave forces as well as to linear oscillatory ones. The second-order forces contain slowly-varying components, of which the characteristic frequency can be as low as the natural frequency of horizontal motions of the moored body. As a consequence, the slowly-varying force can excite unexpectedly large horizontal excursion of the body, which may cause a serious damage on the mooring system. In design analysis of Turret-type mooring system which is one of the interesting mooring systems for a floating body, the slowly-varying drift forces and the transient motion of the system during weathervaning are very important. In this paper the slowly-varying drift forces were calculated by using the Quadratic Transfer Function with considering the second order free-wave contributions. Additionally the transient surge motion of the moored body was simulated with including the roll of the time-memory effect. In this simulation the spring constant of the spread Turret mooring system is updated at every time step for considering the nonlinear effect.

### 1. 서 론

계류계는 부유체를 해상의 일정 위치로부터 크게 이탈하지 않도록 하기 위하여 설치한다. 그러나 부유체는 풍하중, 조류력, 시간평균 표류력과 같은 정하중에 의하여 정적 변위를 갖게되며, 또한 선형 파랑하중에 의하여 선형 조화변위를, 그리고 장주기 성분의 표류력에 의하여 시간에 따라 서서히 변화하는 표류운동을 하게 된다. 정적변위의 값은 크지만 이에

대응하는 인장력이 발생하도록 계류계를 적절히 설계함으로써 이를 제한된 범위내로 억제할 수 있다. 또한 선형 파랑하중은 매우 크지만 이로인한 변위는 상대적으로 작기 때문에 억제대상에서 제외시킨다. 그러나 장주기 성분의 표류력은 그 크기는 작지만 큰 변위를 야기시킬 수 있으므로 계류문제에서 중요한 의미를 지닌다(최, 1988).

이러한 장주기 표류력은 자유표면 경계조건의 비선형성에 의해 서로 유사한 주파수를 갖는 2개의 선형

\*釜山水産大學校 船舶工學科(Department of Naval Architecture, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

성분파간의 상호작용으로 발생하게 되고, 보통의 해상은 소위 말하는 narrow-banded spectra를 갖고 있으므로 두 주파수의 차는 매우 작을 수 있다. 한편, 계류계의 수평인장력은 관성력에 비해 아주 작은 양이므로 계류계의 설치로 나타나게 되는 부유체의 수평운동 고유진동수는 작은 값이어서 때로는 공진이 발생하게 된다. 그런데 동유체 감쇠력이 또한 아주 작기 때문에 일단 공진이 일어나면 수평변위는 매우 커져 계류삭에 엄청나게 큰 인장력을 유발시켜 예상치 못한 손상을 초래하게 된다. 이러한 점들을 생각할 때 장주기 성분의 표류력은 부유식 해양구조물의 계류설계에 매우 중요한 인자이나, 아직 이를 고려한 설계법은 정립되어 있지 못하다. 실제 응용을 위하여 Hsu와 Blenkarn(1970)이 간이계산법을 제안하여 현장에서 사용되고 있으나, 이 방법은 단지 개략적인 결과를 제공할 뿐이다. 따라서 각 선급규정에서는 장주기 표류운동의 중요성을 강조하면서도 그 영향을 단지 안전계수에 포함시키고 있는 실정이다. 최근 실제 계류계의 설치시에 계류삭의 숫자를 종전보다 늘려서 동적효과 및 장주기 표류운동에 대처하는 경향이 있다.

한편, 종래의 생산 플랫폼을 대체할 수 있는 여러 가지 다양한 구조양식들이 제안되어 있으나 그 중에서도 유조선이나 바야지를 개조하여 생산, 저장 및 하역 등의 기능을 지닌 Floating Production, Storage 및 Offloading(FPSO)이 유망한 것으로 알려져 있다. 이 방식은 이미 1960년대에 고안되어 사용되어 왔으나, 요즘에는 경제적인 이유에서 더욱 각광을 받고 있다. FPSO는 부유식이므로 여러 가지 방식의 계류장치들이 사용되고 있는데 대부분의 경우 생산용 Riser를 지지하는 부표와 탱커를 연결하는 방식으로 Yoke를 이용한다. 이러한 Yoke방식의 경우 Yoke운동의 위상차로부터 충격하중이 발생하므로 선체에 직접 부표의 장착이 가능한 Turret 시스템이 개발되었다. Turret 계류계는 설치가 용이하고 가격이 상대적으로 저렴할 뿐 아니라, 구조적으로 단순하며 기존의 탱커나 바야지에 쉽사리 설치할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 현재 여러 가지 방식의 Turret 계류계가 특허를 받아 상품화되어 있으며 그 한 가지 예가 Universal Turret Mooring System 이다(Key et al., 1986).

이러한 Turret 계류계의 설계에 있어서 가장 중요

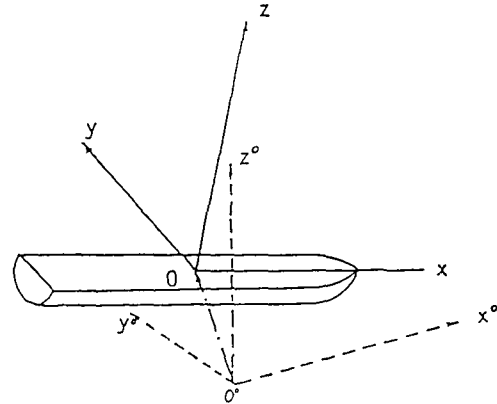


Fig. 1. Coordinate system.

한 것은 앞에서도 언급한 바와 같이 장주기 표류력을 고려하는 것과 Roller Bearing에 의해 풍향성이 있는 부유체 및 계류계의 천이운동시 Roller Bearing에 작용하는 최대 수평하중을 추정하여 용량을 결정하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 Pinkster(1980)의 방법에 따라 불규칙파중에 계류된 부유체에 작용하는 장주기 표류력을 2차 전달함수(Quadratic Transfer Function)을 사용하여 계산하였으며 2차항의 입사파의 효과를 포함시켰다. 그리고 장주기 표류력에 의한 전후동요를 시간기억 효과를 고려하여 시뮬레이션하였다. 이 과정에서 계류계의 수평 인장력계수를 매 시간 단계마다 계산하는 방식으로 계류계의 비선형성을 고려하였다.

## 2. 장주기 표류력 및 계류해석

### 2.1 장주기 표류력

문제를 기술하기 위한 좌표계로 Fig. 1과 같이 정수면에 원점을 갖고 위쪽 방향을 양으로 택한 우수 좌표계를 사용하였다. 포텐셜이론을 이용하여 기술하기 위하여 유체는 이상유체로, 유동은 비회전운동으로 가정하였다. 이러한 가정에 따라 기술된 경계치 문제를 살펴보면 자유표면에서 비선형 경계조건을 가지고 있으므로 엄밀해를 구할 수가 없다는 것을 알 수 있다. 여기서 미소변위를 갖는 파를 가정하면 작은 매개변수로서 파의 기울기( $\epsilon$ )를 도입할 수 있으며 이 작은 매개변수에 대해 포텐셜 등의 미지함수를 점근 전개(Asymptotic Expansion) 시키면 근사해를 구할 수 있게 된다. 1차항의 경계치 문제는 선박유체역학

에서 잘 알려진 이미 3차원 물체의 선형 조화운동에 대한 문제로서 이미 여러 가지 해법으로 풀어진 바 있다. 일관된 해석방법에 따라 2차항의 외력을 구하면 다음과 같다(Pinkster, 1976).

$$\vec{F}^{(2)} = \int_{wz} 1/2 \rho g \zeta^{(1)2} \vec{n} dS \quad (I)$$

$$- \iint_{S_m} 1/2 \rho \nabla \Phi^{(1)} \cdot \nabla \Phi^{(1)} \vec{n} dS \quad (II)$$

$$- \iint_{S_m} \rho (\vec{X}^{(1)} \cdot \nabla \Phi_i \vec{n} dS) \quad (III) \quad (1)$$

$$+ \vec{\alpha}^{(1)} \times M \ddot{\vec{X}}^{(1)} \quad (IV)$$

$$- \iint_{S_m} \rho \Phi_i^{(2)} \vec{n} dS \quad (V)$$

여기서,

- $\rho$  = water density
- $g$  = gravitational acceleration
- $\zeta$  = linear relaive surface elevation
- $\vec{n}$  = normal vector on the body surface
- $\Phi^{(1)}$  = linear velocity potential
- $\Phi^{(2)}$  = second-order velocity potential
- $S_m$  = mean position of the body
- $X^{(1)}$  = linear translational motion
- $\alpha^{(1)}$  = linear rotational motion
- $M$  = body mass matrix

이다. 식(1)에서 각 항별로 물리적 해석을 하면 첫 번째 항은 물체의 운동과 파고의 상대 위치에 의한 유체정력학적 힘을, 두번째 항은 유체속도의 제곱에 의한 힘을, 세번째 항은 선형운동과 압력의 변화율의 곱에 의한 힘을, 네번째 항은 선형 회전운동에 따른 법선벡타의 변화에 의한 힘을, 다섯번째 항은 2차항 포텐셜에 의한 힘을 의미한다. 모우먼트에 대해서도 같은 방식으로 유도가 가능하다. 여기서 2차항 표류력을 살펴보면 1차항들의 곱으로 구성되어 있고 2차항 포텐셜에 대한 경계조건들도 1차항의 곱으로 표현되어진다. 따라서  $\omega_i$ 와  $\omega_j$ 의 진동수를 가진 두 파(Bichromatic waves)가 입사했을 때 나타나는 2차항의 표류력은  $|\omega_i - \omega_j|$ 의 조화항(Difference Frequency),  $\omega_i + \omega_j$ 의 조화항(Sum Frequency)과  $2\omega_i$ ,  $2\omega_j$ 의 4부분으로 나누어진다. 앞에서 언급한 바와 같이 대

개의 계류계의 고유 진동수는 비교적 낮은 저진동수 이므로  $|\omega_i - \omega_j|$ 의 진동수를 가진 장주기 표류력은 계류계의 공진을 야기시켜 대진폭 표류운동을 유발시킬 수 있다. 이러한 이유로 4가지 2차항 표류력 중에서  $|\omega_i - \omega_j|$ 의 진동수를 가진 장주기 성분만을 고려하기로 한다.

불규칙파의 자유표면을 여러 가지의 진동수를 갖는 파의 합성으로 표시하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\xi^{(1)} = \sum_i |\xi_i^{(1)}| \cos(-\omega_i t + \varepsilon_i) \quad (2)$$

여기서  $\varepsilon_i$ 는 위상차를 의미한다. 따라서 장주기 성분의 2차항 표류력은 2차 전달함수를 이용하여 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$F = \sum_i \sum_j |\xi_i^{(1)}| |\xi_j^{(1)*}| P_{ij} \cos(-(\omega_i - \omega_j)t + \varepsilon_i - \varepsilon_j) + \sum_i \sum_j |\xi_i^{(1)}| |\xi_j^{(1)*}| Q_{ij} \sin(-(\omega_i - \omega_j)t + \varepsilon_i - \varepsilon_j) \quad (3)$$

여기서 상첨자 \*는 공액복소수를 의미하며  $P_{ij}$ ,  $Q_{ij}$ 는 2차 전달함수로서 입사파와의 위상차에 의해 구분되며 복소수의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$H_{ij} = P_{ij} + iQ_{ij} \quad (4)$$

따라서 (1)식의 네번째 성분까지의 2차 전달함수는 다음과 같다.

I성분 :

$$H_{ij} = 1/4 \rho g \int_{wz} \xi_i^{(1)*} \xi_j^{(1)} \vec{n} dS,$$

II성분 :

$$H_{ij} = -1/4 \rho g \iint_{S_m} \nabla \phi_i^{(1)*} \cdot \nabla \phi_j^{(1)} \vec{n} dS, \quad (5)$$

III성분 :

$$H_{ij} = -1/4 \rho \iint_{S_m} (-i\omega_j \vec{X}_i^{(1)*} \cdot \nabla \phi_j^{(1)} + i\omega_i \vec{X}_j^{(1)} \cdot \nabla \phi_i^{(1)*}) \vec{n} dS,$$

IV성분 :

$$H_{ij} = 1/4 \rho (-\omega_j^2 \vec{\alpha}_i^{(1)*} \times M \vec{X}_j^{(1)} - \omega_i^2 \vec{\alpha}_j^{(1)} \times M \vec{X}_i^{(1)*}).$$

V성분을 구하기 위해서는 2차항의 포텐셜을 풀어야

하나, 이는 매우 어려운 문제로 3차원 문제에 대한 완전한 해는 구해지지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 단지 2차항의 입사파만을 고려하여 선형문제의 파랑하중을 구하는 문제로 근사시켰다. Bowers (1976)에 의해 다음과 같은 2차항 입사파의 포텐셜이 유도되어 있다.

$$\Phi^{(2)} = \text{Re}[-i\xi_i^{(1)} \xi_j^{(1)*} A_{ij} \cdot \frac{\cosh\{(k_i - k_j)(z+h)\}}{\cosh\{(k_i - k_j)h\}} \cdot \exp(i(k_i - k_j)x - i(\omega_i - \omega_j)t)], \quad \omega_i > \omega_j \quad (6)$$

여기서

$$A_{ij} = \frac{g^2}{2} \frac{B_{ij} + C_{ij}}{(\omega_i - \omega_j)^2 - g(k_i - k_j) \tanh\{(k_i - k_j)h\}},$$

$$B_{ij} = \frac{k_i^2}{\omega_i} \frac{1}{\cosh^2 k_i h} - \frac{k_j^2}{\omega_j} \frac{1}{\cosh^2 k_j h},$$

$$C_{ij} = \frac{2(\omega_i - \omega_j) k_i k_j \{1 + \tanh(k_i h) \tanh(k_j h)\}}{\omega_i \omega_j}.$$

이다.

Pinkster(1980)는 분산관계(Dispersion Relation)를 만족시키기 위해 중력가속도  $g$ 를 변화시키는 방법을 사용하여 선형 문제에서와 같은 과정으로 2차항 입사파에 의한 힘을 근사시켰다. 이 방법을 따르면  $V$ 항의 2차 전달함수는 다음과 같다.

$$H_{ij} = \frac{1}{2} \frac{A_{ij}(\omega_i - \omega_j)}{g} F_{ij}^{(1)*} \quad \omega_i > \omega_j \quad (7)$$

여기서  $F_{ij}^{(1)}$ 는 단위진폭에 대한 등가(Equivalent) 선형 파랑강제력의 진폭함수이다.

### 2.2 계류해석

계류계는 해양구조물의 형상, 계류계의 목적, 작업 해상에서의 해상조건에 따라 결정된다. 본 연구에서는 계류계로서 다지계류계(Spread Mooring System)를 선택하였다. 다지계류계는 6개의 계류삭이 선대칭으로 배치되어 해저면에서 파일로 고정되어 있으며, 계류삭의 전체 길이는 수심 76 m에서 700 m로 가정하였으며 수중에서의 단위 길이당 무게는 550 kgf/m이다.

계류계의 해석 방법으로는 계류계에 항력이나 조류력이 가해지지 않는다고 가정하여 각각의 계류삭에 대하여 Catenary 방정식으로 해석하였으며, 다지계류계에 대해서는 가정한 변위에 대해 계류계의 복원력을 벡터 해석법에 따라 구하였다. 즉 주어진 수심과 계류삭의 성질에 대해 수면에서의 수평인장력을 가정하여 Catenary 방정식으로부터 하나의 계류삭에 대하여 Suspended Length, Touchdown Point로부터 거리, Anchor 위치로부터의 거리, 인장력 등의 관계를 미리 계산한 다음 임의의 초기장력(Pretension)을 가정하여 정적 평형상태에서의 계류삭에 필요한 수치를 보간법으로 구한다. 이 상태에서 변위를 가정하여 이 변위를 만족하는 새로운 평형상태에 대한 각 계류삭의 필요한 수치를 보간법으로 구한 뒤, 각 계류삭의 수면에서의 수평방향 인장력을 벡터 합성하여 계류계 전체의 복원력을 계산하였다.

계류 부유체의 해석에서는 매시간 단계에서 얻어진 변위에 대하여 앞의 과정에 따라 다음 단계의 복원력을 계산하는 방법으로 계류계의 비선형을 고려하였다.

### 3. 천이운동

계류 부유체의 전후동요(Surge Motion)는 다음의 적미분방정식으로 표현된다(Wehausen, 1971).

$$\{M + a(\infty)\} \ddot{X}(t) + \int_{-\infty}^t L(t-\tau) \ddot{X}(\tau) d\tau + C(t) X(t) = F(t), \quad (8)$$

여기서  $M$ 은 질량을,  $a(\infty)$ 는 무한 진동수에서의 부가질량을,  $C$ 는 복원력 계수를 의미한다.  $L(t)$ 는 시간기역 함수로서 부가질량 및 동유체 감쇠계수와 Fourier 변환관계를 가진다.

$$a(\omega) - a(\infty) = \int_{-\infty}^0 L(t) \cos \omega t dt \quad (9)$$

$$b(\omega)/\omega = \int_{-\infty}^0 L(t) \sin \omega t dt \quad (10)$$

본 연구에서는 진동수 0과 무한대의 양 극한에서 0의 값을 가지는 동유체 감쇠계수의 성질을 고려하여 식 (10)을 이용함으로써 수치계산에 있어서 부정확을 피하였다.

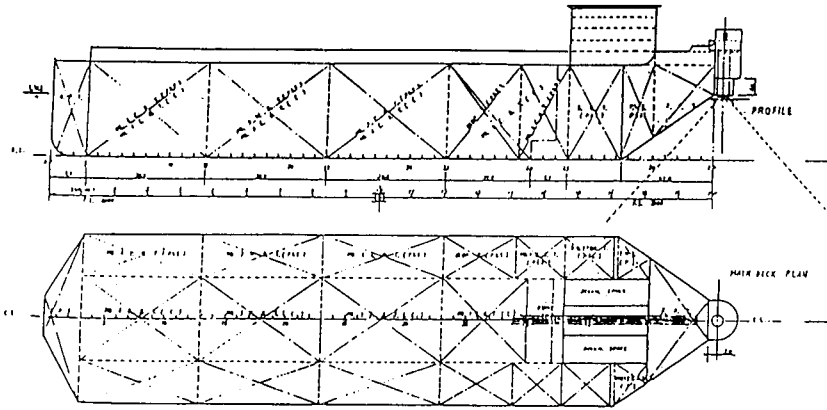


Fig. 2. General arrangement of barge.

Table 1. Particulars of barge

Length B.P.	165.0 m
Breadth	42.0 m
Depth	22.9 m
Draft	15.0 m
Storage Capacity	550,000 lbs

#### 4. 수치계산

본 연구의 수치계산에 사용된 모델은 Fig. 2와 같은 Turret Moored Barge로서 기본제원은 Table 1과 같다(Choi *et al.*, 1988). 선형 포텐셜은 Irregular Frequency를 제거할 수 있는 Improved Green Integral Method(Hong, 1987)을 사용하여 계산하였으며, 요소분할은 Fig. 3에서와 같이 수면하부는 172개로 수선면은 4개의 요소로 나누었다. Fig. 4에서는 Quadratic Transfer Function의 절대치를 5가지의 성분별로  $1/2\rho g B^2/L$ 로 무차원화된 결과를 도시하였다. 가로축 및 세로축은 주파수(rad/sec)이다. 두 주파수의 차이가 그리 크지 않을 경우 두 주파수의 차이가 0인 결과로 근사시킬 수 있다는 Newman(1974)의 결과를 확인할 수 있다. 또한 V성분의 경우 Diagonal 부분의 값이 다른 성분에 비하여 변화가 작다는 것을 알 수 있으며, 상대 파고에 의한 항(I 성분)의 기여도가 가장 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 5에는 시간-기억함수(Time-Memory Function)를 보여주고 있는데 이것은 동유체 감쇠계수로부터 계산된 결과로서 고주파수 영역에서의 수치계산의 부정확함을 피하기 위하여 고주파수 영역의 동유체 감쇠계수의 결과를  $C_1 \tanh(C_2 X) + C_3$ 의 함수형태로 Fitting 시킨 값을 사용하

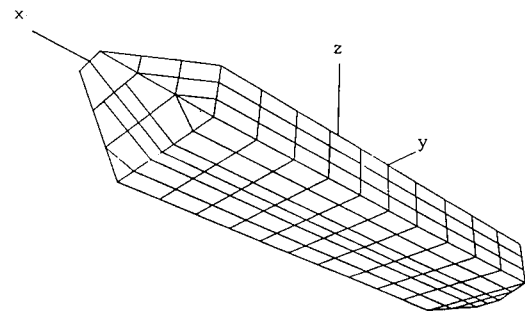


Fig. 3. Facet representation of barge.

였다. Fitting 시키는 방법으로는 Marguardt의 BSO-LVE Algorithm을 이용하였다(James *et al.*, 1973). 운동의 시작된 시각이  $t=0$ 이라면 시간  $t$ 에서의 Convolution 적분의 구간이 0에서  $t$ 까지이므로 계산을 위해서는  $t=0$ 에서의 초기조건이 필요하다. 본 연구에서는 천이운동이 빨리 사라지도록 하기 위하여 초기변위 및 속도를 0으로 하였으며, 천이운동의 해석은 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하였다. Fig. 6에는 다지계류계의 수평방향 변위에 대한 수평방향 복원력을 도시하였다. 실선은 초기장력이 200 ton에 대한 결과를, 점선은 초기장력이 150 ton에 대한 결과를 보여주고 있다. 초기장력 200 ton의 경우 수심의 10%(7.6 m)에 대하여 약 600 ton의 장력이 Turret Mooring의 Roller Bearing에 걸리게 된다는 것을 알 수 있다. Fig. 7에는 시간에 대하여 파열(Wave Train)과 저진동 표류력을 도시하고 있다. 유의 파고 6 m, 평균 주기 8.5초의 ISSC 스펙트럼을 사용하였으며,  $\Delta\omega=0.01$  rad/sec의 간격으로 119개의 진동수에 대하여 이산

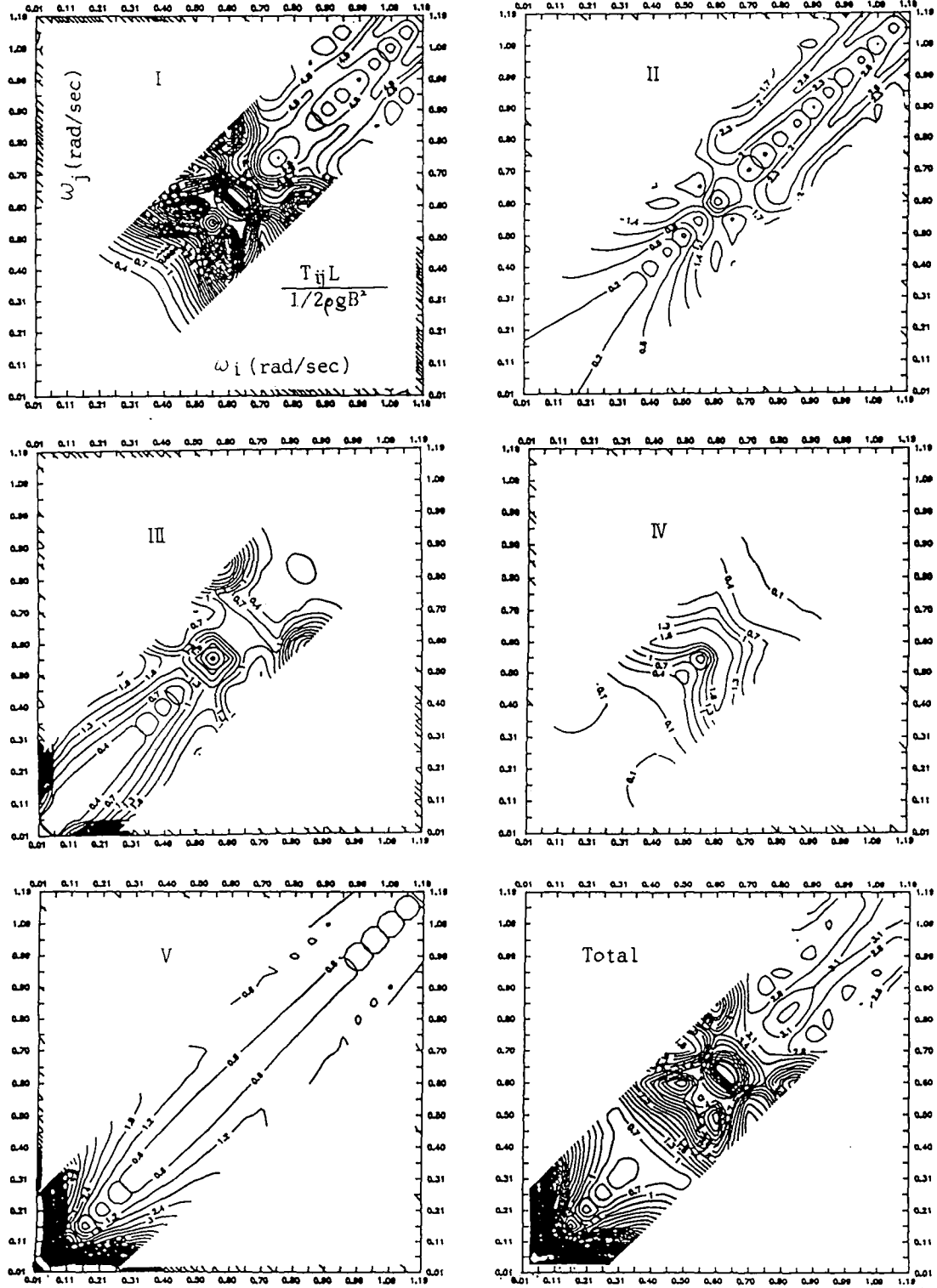


Fig. 4. Amplitude of quadratic transfer function.

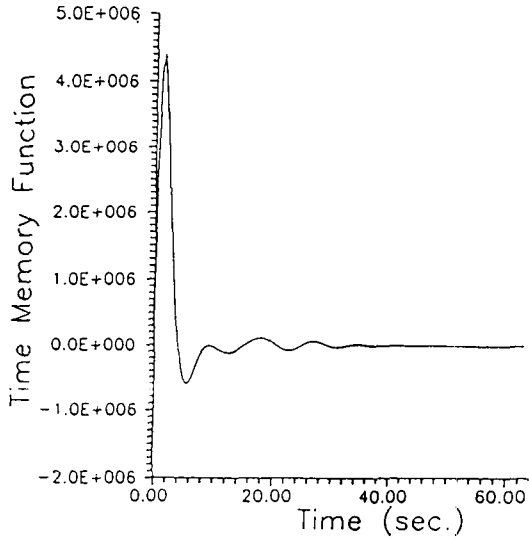


Fig. 5. Time memory function.

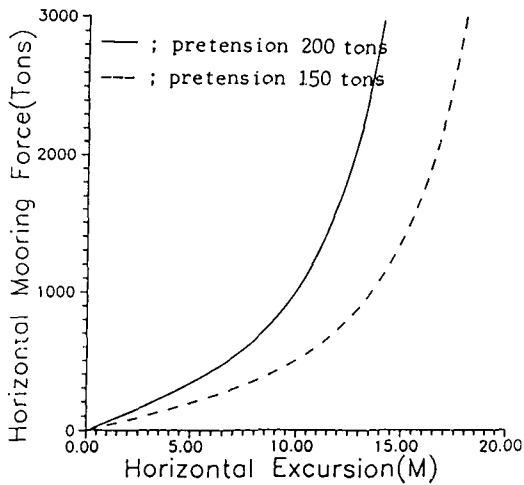


Fig. 6. Restoring force of the spread mooring system.

화하였다. 저진동 표류력의 그림에서 점선은 앞의 V 성분을 제외한 것으로 이미 예측한 것과 마찬가지로 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. Fig. 8에는 Barge의 장주기 성분의 전후운동(Surge Motion)이 도시되어 있다. Fig. 8a에는 다지계류계의 복원력계수가 시간에 무관하게 상수로 하였을 때(점선)와의 결과가 비교되어 있다. 초기장력 200 ton의 경우에 대하여 계산하였으며 변위가 커짐에 따라 변위 및 주기가 상당히 달라짐을 알 수 있다. 장주기 표류운동의 경우 대개 계류계와의 공진으로 인하여 대변위 운동을 생각할 때 계류계의 비선형성을 무시한다는 것은

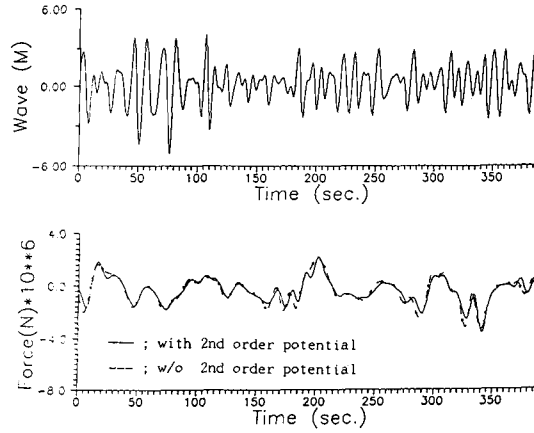


Fig. 7. Simulation of slowly varying drift force.

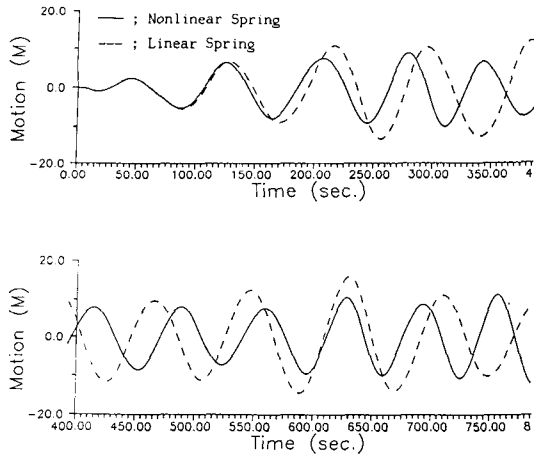


Fig. 8a. Motion simulation.

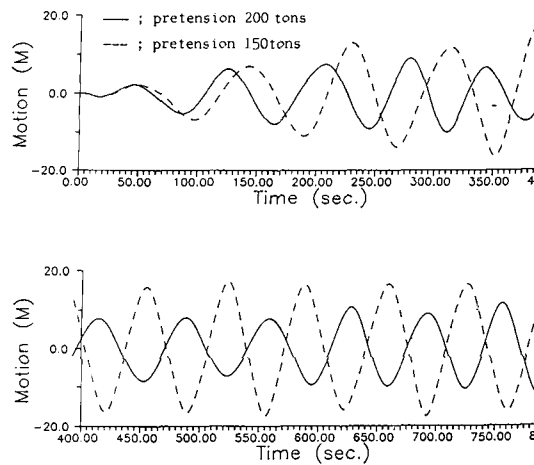


Fig. 8b. Motion simulation.

많은 오차를 유발할 수 있음을 이 결과로부터 알 수 있다. Fig. 8b에는 초기장력이 200 ton인 경우와 150 ton인 경우에 대하여 결과가 도시되어 있다.

## 5. 결 론

2차항의 입사파의 효과를 포함하여 Turret Moored Barge에 미치는 장주기 표류력을 2차 전달함수를 사용하여 계산하였다. 2차항의 입사파에 의한 장주기 표류력에 대한 기여는 그리 크지 않았으며 시간평균 표류력과 마찬가지로 상대파고에 의한 성분이 가장 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Turret 계류계의 설계를 위해서는 천이운동시 Roller Bearing에 걸리는 장력에 대한 해석이 매우 중요하므로 시간기억 효과 다지계류계의 비선형성을 고려하여 천이운동을 해석하였다. 장주기 표류운동의 경우 감쇠력이 매우 작음에도 불구하고 대진폭운동의 크기가 유한한 값을 보여주는데 이는 시간기억 효과를 고려함에 기인한 것으로 생각된다. 그리고 다지계류계의 해석에 의하면 변위가 커짐에 따라 계류계의 복원력 계수가 급격히 달라지므로 대진폭운동인 장주기 표류운동의 해석시에는 계류계의 비선형성을 무시할 수 없다는 것을 알 수 있다.

앞으로의 연구과제는 2차항 포텐셜의 엄밀한 해석과 대진폭운동에 의한 계류삭의 동적거동에 대한 고려이며 실제 계류계의 설계시에는 점성에 의한 감쇠력을 포함하여야 한다.

## 사 사

본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 1990년

도 지방대학 육성과제인 “장주기 표류력을 고려한 Turret 계류계의 설계에 관한 연구”의 일환으로 수행한 연구결과의 일부임을 밝히면서 상기 재단에 심심한 사의를 표합니다.

## 참고문헌

- American Petroleum Institute, 1984. Recommended practice for the analysis of spread mooring systems for floating drilling units.
- Bowers, E.C., 1976. Long period oscillations of moored ship subject to short wave seas. *Trans. Royal Inst. Naval Architects*, **118**: 181-191.
- Choi, H.S. and Park, I.K., 1988. A feasibility study on a turret-type mooring system, *Proc. Techno-Ocean 88 International Symposium, Kobe*, **1**: 273-279.
- Hong, D.C., 1987. On the improved Green intergral equation applied to the water wave radiation diffraction problem. *J. Soc. Naval Architects Korea*, **24**(1): 1-8.
- Hsu, F.H. and Blenkarn, D.A., 1970. Analysis of peak mooring forces caused by slow vessel drift oscillations in random waves. *Proc. 2nd OTC*, **1**: 135-146.
- James, L.K. and Joe, H.M., 1973. Optimization techniques with FORTRAN. McGraw-Hill.
- Key, J.W. et al., 1986. Design and analysis of turret mooring systems for tanker-based storage or production facilities. *Proc. 18th OTC*, Paper No. 5250: 241-248.
- Newman, J.N., 1974. Second order slowly varying forces on vessels in irregular waves. *Proc. Intern. Symp. on Dynamics Marine Vehicles and Offshore Structures in waves*, London: 182-186.
- Pinkster, J.A., 1976. Low frequency second order wave forces on vessels moored at sea. *Proc. 11th Symp. on Naval Hydrodyn*: 603-615.
- Pinkster, J.A., 1980. Low frequency second order wave exciting forces on floating structures. *Netherlands Ship Model basin*. Publ. No. 650.
- Wehausen, J.V., 1971. The motion of floating bodies. *Annual Rev. of Fluid Mech.*, **3**: 237-268.
- 최형순, 1988. 비선형 파랑하중과 구조물의 구조응답. 해양공학연구회 제 21차 Workshop 논문집: 5-19.