

## 유연한 스커트를 가진 오일붐의 운동응답해석 The Motion Response of an Oil Boom with Flexible Skirt

성흥근\* · 조일형\*\* · 최항순\*\*

Hong Keun Sung\*, Il Hyoung Cho\*\* and Hang Soon Choi\*

**要 旨** : 스커트의 유연성을 고려한 2차원 오일붐 모델에 대한 수치해법을 개발하였다. 본 수치모델에서는 부체를 강체로, 스커트를 장력이 걸려 있는 막으로, 스커트의 아래끝엔 집중질량이 놓여 있다고 가정하였다. 유동은 포텐셜이라고 가정하였으며 부체와 스커트의 연결부에서는 변위가 연속이라는 운동학적 조건을 그리고 스커트의 아래끝에는 집중질량에 대한 동력학적인 조건을 부가하였다. 수치해법은 선형포텐셜유동 이론에 근거한 Green 함수방법에 기초를 두고 있다. 스커트의 변형을 미리 알 수 없으므로 방사 포텐셜(radiation potential)과 부체의 변위 그리고 스커트의 변형을 동시에 구하는 방식을 택하였다. Green 정리를 적용하여 얻은 적분방정식과 부체의 운동방정식 그리고 스커트의 변형 관계식을 이산화하여 방사포텐셜과 부체의 변위 그리고 스커트의 변위에 대한 선형대수 방정식을 얻었다. 수치계산결과에 의하면 스커트의 유연성이 부체의 운동응답을 다소 줄일 수 있으며 부체의 공진체계를 바꿀 수 있음을 확인하였다. 그리고 오일붐의 운동응답특성에 영향을 주는 인자들 중에서 스커트의 길이와 집중질량을 파라미터로 하여 오일붐 모델의 운동응답특성을 비교해 보았다. 스커트가 유연한 경우와 스커트가 강체인 경우의 저주파수 극한해는 거의 일치하고 있어 수치해의 타당성을 간접적으로 확인할 수 있었다.

**Abstract** □ A numerical method for a 2-D oil boom model considering the flexibility of skirt has been developed. The floater is assumed rigid and the skirt is tensioned membrane having a point mass at its end. The fluid motion is potential. The kinematic condition which demands the continuity of the displacement is imposed at the joint between the floater and the skirt. The dynamic condition for the point mass is imposed at the bottom end of the skirt. The numerical method is based on the Green's function method in the frame of linear potential theory. It finds its solution simultaneously from the total system of three equations ; integral equation, the equation of motion of the floater and the equilibrium equation of the deformation of the skirt. Integral equation is derived by applying the Green's theorem to radiation potential and Green's function. Proper discretization of those three equations leads to the system of a linear algebraic equation. Due to the flexibility of skirt, the motion of floater can be diminished in some range of wave frequency and furthermore the mechanism of resonance of the oil boom can be changed. The motion responses of various oil booms have been compared varying the length of the skirt and the point mass. The numerical method has been validated indirectly from the good correspondence between the motion responses of the flexible skirt model and the rigid skirt model in low frequency limit.

### 1. 서 론

선박의 사고등에 의해 기름이 해양에 유출되는 일이 빈번해지고 있다. 유출된 기름을 적절히 방제하지 못하면 인근 해안의 시설들이 큰 피해를 보기도 한다. 따라서 누출사고에 의한 해양오염을 최대한으로 줄

이고 이를 효율적으로 방제하기 위하여 보다 성능이 우수한 오일붐의 설계가 필요하게 되었다. 해상에 기름이 유출되면 오일붐을 이용하여 확산을 막은 후에 스커머(skimmer)로 유출된 기름을 수거하여 처리하는 방법이 널리 이용되고 있다.

오일붐이 효과적으로 기름을 봉쇄하려면 우선 운

\*서울대학교 조선해양공학과 (Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea)

\*\*선박·해양공학 연구센터 (Korea Research Institute of Ship and Ocean Engineering, Taegeon 305-343, Korea)

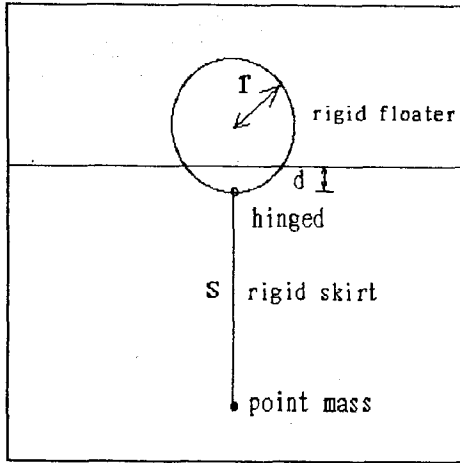


Fig. 1. A 2-D oil boom model.

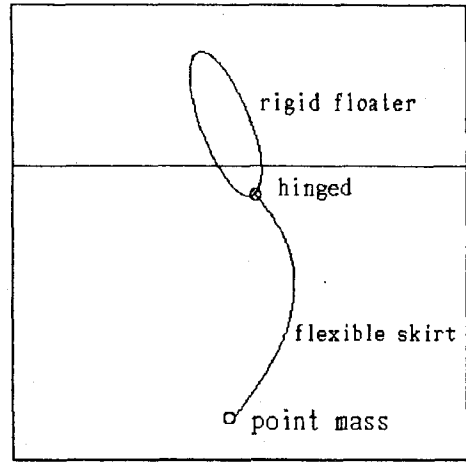


Fig. 2. Numerical model.

동성능이 좋아야 한다. 따라서 본 논문에서는 오일 붐의 운동응답성능을 해석하는 수치모델을 개발하고 오일붐의 운동응답에 영향을 주는 인자들에 대하여 고찰해 본다. 오일붐의 운동응답을 해석한 예로는 조 등(1993)의 연구가 있는데, Fig.1과 같이 부체와 스커트는 모두 강체로 그리고 두 부분이 힌지로 연결되어 있다고 가정하여 2차원 오일붐 모델에 대해 경계요소법(BEM)에 의거한 수치실험을 수행하였다. 조 등은 이것을 토대로 하여 보다 우수한 운동성능의 오일붐을 설계하고자 하였다. 이 밖에 관련된 연구로는 부유식 방파제(breakwater)에 대한 연구를 들 수 있는데, 부유식 방파제와 오일붐은 파랑에 대한 반사장치(reflector)로서의 공통점을 가지고 있다. 이에 대한 요약은 성(1995)에 기술되어 있다.

## 2. 정식화

오일붐에 대한 정확한 수치모델과 해법은 아직 개발되어 있지 않다. 현재 주로 사용되고 있는 오일붐의 부체는 강체에 가까우나 스커트는 어느 정도의 유연성(flexibility)을 가지고 있으므로 이를 고려하는 운동 해석방법이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 이를 위한 기초적 연구의 일환으로 2차원 모델을 선택하고 유체는 포텐셜 유동으로 가정하였으며 부체는 강체 운동을 하고 스커트는 장력이 걸려 있는 막으로 이상화하였다(Fig. 2). 체인의 효과는 집중질량으로 처리하였다. 스커트를 막으로 모델링한 것은 수평변형

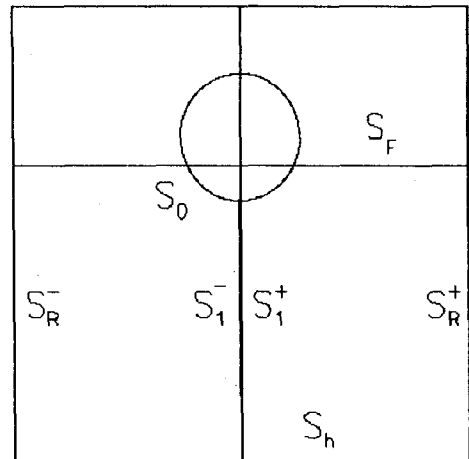


Fig. 3. Definition sketch.

(lateral motion)에 대한 강도가 장력에 비하여 비교적 작기 때문이다. 오일붐 모델의 기하학적 형상과 문자에 대한 정의는 Fig.3과 같다.

파의 기울기가 작고 부체의 운동과 스커트의 변형이 작다는 가정하에 유동장과 부체의 운동 그리고 스커트의 변형에 관한 지배 방정식과 경계조건 등을 선형화할 수 있다. 또한 단순 조화운동만을 고찰하기로 하면 선형방정식은 다음 식과 같다.  $\phi$ 는 속도포텐셜의 복소진폭이고,  $\xi_i (i=1,2,3)$ 은 각각 수평, 수직, 회전 변위에 대한 복소진폭을 나타내며,  $\psi, \eta$ 는 각각 스커트의 수평, 수직 변위의 복소진폭을 나타낸다.  $\theta$ 는 스커트면이 양의 수직축과 이루는 각도에 대한 복소진폭을 나타낸다. 유동에 대한 지배방정식과 경계조

건은 다음과 같다. 스커트면에서의 경계조건이 스커트의 변위에 관계됨을 볼 수 있다.

$$\nabla^2\phi=0 \quad \text{in fluids} \quad (1)$$

$$\phi_y - \frac{\sigma^2}{g}\phi=0 \quad \text{on } S_F \quad (2a)$$

$$\phi_y=0 \quad \text{on } S_h \quad (2b)$$

$$\text{Radiation condition} \quad \text{on } S_R \quad (2c)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = (-i\sigma)(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2 + \xi_3 n_3) \quad \text{on } S_0 \quad (2d)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = (-i\sigma)(\mp\psi) \quad \text{on } S_{1^\pm} \quad (2e)$$

한편 오일층의 운동방정식은 아래와 같다. 스커트의 기울기가 부체의 운동에 영향을 주는 것을 알 수 있다 (성, 1995).

$$\begin{aligned} &[-\sigma^2[\bar{M}] + [C]] \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T\theta \\ 0 \\ dT\theta \end{pmatrix} = \\ &i\rho_w\sigma \int_{S_0} (\phi_D + \phi_R) \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix} ds_{\xi} \end{aligned} \quad (3)$$

스커트의 변형식은 현의 방정식과 동일하고 부체와 스커트가 만나는 점에서는 변위가 연속이라는 조건을 스커트의 아래 끝에는 집중질량에 대한 동력학적인 조건을 주어야 한다.

$$\frac{d}{dy}(T\theta) + \rho_s\sigma^2\psi = -i\rho_w\sigma[\phi_R + \phi_D] \quad \text{in skirt face} \quad (4a)$$

$$\psi = \xi_1 + d\xi_3 \quad \text{at } y=y_f \quad (4b)$$

$$T\theta + \sigma^2 m_c \psi = 0 \quad \text{at } y=y_E \quad (4c)$$

$$\eta = \xi_2 \quad (4d)$$

여기서  $\theta = \frac{d\psi}{dy}$ ,  $T = [m_c + \rho_s(y - y_E)]g$

$$y_f = -d, \quad y_E = -(d+s)$$

d = 부체 깊이, s = 스커트 길이

### 3. 수치 해법

파랑에 의한 강체의 운동응답은 문제의 선형성을 이용하여 물체의 자유도에 따라 기본문제로 분리하여 용이하게 구할 수 있다. 그러나 강체와 변형체의 결합인 본 문제는 그와 같은 분리가 적합하지 않다. 오냐하면 방사포텐셜과 부체의 운동변위 그리고 스커트의 변형을 동시에 풀어야 하기 때문이다. 본 논문에서 택한 해법의 내용은 대략 다음과 같다. 우선 포텐셜을 산란포텐셜과 방사포텐셜로 분리한 다음 먼저 산란포텐셜을 구한다. 그 다음에는 Green 함수와 방사포텐셜에 대하여 Green 정리를 적용하여 적분 방정식을 얻는다. 부체면의 경계조건은 부체의 운동 변위로 표현되고, 스커트면의 경계조건은 스커트의 변형으로 나타낼 수 있으므로  $\phi_R$ ,  $\xi_j$ ,  $\psi$ 에 대한 방정식을 얻게 된다.

$$\frac{1}{2}\phi_R(\bar{x}) = \int_{S_B} \left\{ \phi_R(\bar{\xi}) \frac{\partial g}{\partial n}(\bar{x}; \bar{\xi}) - g(\bar{x}; \bar{\xi}) \frac{\partial \phi_R}{\partial n}(\bar{\xi}) \right\} ds_{\xi} \quad \text{for } \bar{x} \text{ on } S_B \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\phi_R(\bar{x}) = & \int_{S_B} \phi_R(\bar{\xi}) \frac{\partial g}{\partial n}(\bar{x}; \bar{\xi}) ds_{\xi} - \int_{S_0} g(\bar{x}; \bar{\xi}) \frac{\partial \phi_R}{\partial n}(\bar{\xi}) ds_{\xi} \\ & \int_{S_f} g(\bar{x}; \bar{\xi}) \frac{\partial \phi_R}{\partial n}(\bar{\xi}) ds_{\xi}, \quad S_B = S_0 \cup S_1 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\phi_R(\bar{x}) = & \int_{S_B} \phi_R(\bar{\xi}) \frac{\partial g}{\partial n}(\bar{x}; \bar{\xi}) ds_{\xi} - \int_{S_0} g(\bar{x}; \bar{\xi})(-i\sigma)\xi_j \\ & n_j(\bar{\xi}) ds_{\xi} - \int_{S_f} g(\bar{x}; \bar{\xi})(-i\sigma)(\mp)\psi(\bar{\xi}) ds_{\xi} \end{aligned} \quad (7)$$

이제 위의 적분방정식을 이산화하면  $\bar{u} = \{\phi_{Ri}, \xi_i, \psi_i\}^T$ 에 대한 선형방정식이 얻어진다. 위에서  $S_{1^\pm}$ 는 각각 스커트의 양의 면과 음의 면을 나타낸다.

$$\begin{aligned} & A_{ij}\phi_{Rj}(\bar{x}_i)|_{e_j \in S_B} + B_{ij}n_k(\bar{x}_i)\xi_k|_{e_j \in S_0} + (\mp)B_{ij}\psi(\bar{x}_i)|_{e_j \in S_{1^\pm}} \\ & = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,

$$A_{ij} = \frac{1}{2}\delta_{ij} - \int_{e_j} \frac{\partial g}{\partial n}(\bar{x}_i; \bar{\xi}) ds_{\xi}$$

$$B_{ij} = -i\sigma \int_{e_j} g(\bar{x}_i; \bar{\xi}) ds_{\xi}$$

$e_j$ 는  $j$ 번째 요소를 의미한다. 다음으로 부체의 운동 방정식을 이산화하면 부체의 자유도 수(여기서는 3개)에 해당하는 이산식을 얻는다.

**Table 1.** Principal dimension of the basic model designed by Cho (in MKS unit)

	$r$	$d$	$s$	$\rho_s$	$m_f$	$m_s$	$m_c$	$m$	$s/r$	$m_c/m$
M00	0.210	0.070	0.680	0.921	6.474	0.626	8.900	16.000	3.24	0.566

$$\begin{aligned}
 & -i\sigma\rho_w n_i(\bar{x}_j)l_j \phi_R(\bar{x}_j)|_{e_j \in S_0} + D_{ij}\xi_j + E_{ij}\psi(x_j)|_{e_j \in S_1^+} \\
 & = i\sigma\rho_w n_i(\bar{x}_j)l_j \phi_D(\bar{x}_j)|_{e_j \in S_0} \tag{9}
 \end{aligned}$$

여기서  $l_j$ 는  $j$ 번째 길이이다.

$$D_{ij} = -\sigma^2 \bar{M}_{ij} + K_{ij}$$

위에서  $E_{ij}$ 는 부체와 스킨트가 만나는 점에서의 스킨트의 각도를 인접하는 절점에서의 스킨트의 변형으로 표현하기 위한 행렬이다.

이제 스킨트의 변형식과 경계조건을 이산화하면 스킨트면위에 정의되어 있는 절점 수 만큼의 이산식을 얻는다.

$$\begin{aligned}
 & -i\rho_w\sigma\{\phi_R(\bar{x}_j) - \phi_R(\bar{x}_j^*)\} + a_j\psi(\bar{x}_{j-1}) + b_j\psi(\bar{x}_j) + c_j\psi(\bar{x}_{j+1}) \\
 & = i\rho_w\sigma\{\phi_D(\bar{x}_j) - \phi_D(\bar{x}_j^*)\} \quad e_{j-1}, j, j+1 \in S_1^+ \tag{10}
 \end{aligned}$$

$$\psi_0 = \xi_1 + d\xi_3 \tag{11}$$

$$a_M\psi_{M-1} + b_M\psi_M + c_M\psi_{M+1} = 0 \tag{12}$$

여기서 \*는 해당되는 요소의 반대면을 의미한다.

이렇게하여  $\bar{u} = \{\phi_{Ri} \ \xi_j \ \psi_k\}^T$ 에 대한 선형 대수 방정식  $H\bar{u} = \bar{b}$ 이 얻어진다. 여기에서  $H$ 는 각 이산식들의 행렬을 블록으로 조합한 것이고,  $\bar{b}$ 는 산란포텐셜에 의한 영향을 나타낸다. 이 대수방정식은 미지수의 개수와 식의 개수가 같다.

물체표면위의 점들을 택하고 이웃하는 점을 이어서 만들어진 선분으로 물체를 근사표현하고 모든 식들을 근사된 위치에서 적용한다. 본 문제에 있어서는 포텐셜의 적용점(collocation point)은 요소(이웃하는 두 점으로 이루어진 선분)의 중앙점으로 하고 스킨트면에서는 경계조건의 적합한 처리를 위해 절점(node point)으로 한다. 요소내에서는 포텐셜의 변화는 없다고 가정하고 스킨트변형의 기울기는 인접하는 세 절점에서 변형값으로 이산화하였다.

#### 4. 수치 결과

수치모델로 채택한 오일봄의 주요치수는 Table 1과 같다. 이는 제 2저자(조일형)에 의해 개발된 모델로서 이미 시제품까지 나온 상태이다. Fig. 4(a), (b), (c)는 스킨트가 유연한 경우와 강체인 경우에 대한 부체의 운동응답을 비교하고 있다. 실선은 스킨트를 장력이 걸려있는 막으로 모델링하여 계산한 결과이고, 점선은 동일한 형상에 대하여 스킨트를 강체로 모델링하고 부체와 힌지로 연결되어 있다고 가정하여 수치계산을 수행한 결과이다. 여기에서 수평동요, 수직동요 그리고 횡동요 운동응답곡선의 수평축은 무차원화된 파수이고 수직축은 입사파의 파고에 의해 무차원화된 값이다(각각  $|\xi_1/A|$ ,  $|\xi_2/A|$ ,  $|r\xi_3/A|$ 이다). 수평운동과 횡동요의 경우에는 두모델이 큰 차이를 보이고 있으나 저주파수에서는 유연한 스킨트는 강체처럼 운동하므로 두 모델의 거동은 거의 비슷을 볼 수 있다. 운동응답곡선의 극값은 부체의 질량과 복원력, 그리고 스킨트의 영향과 더불어 유체동력학적 상호작용에 의해 정해지는 것이다. 스킨트가 유연한 경우 첫번째 극값은 강체모드에 가까우나 스킨트의 유연성에 의해 공진이 다소 지연됨과 동시에 스킨트가 부체에 대하여 상대적으로 기울어짐에 따라 공진의 크기도 줄어듦을 확인하였다. 그러나 수평운동의 두번째 극값은 강체인 경우보다 더 크게 나왔으며 더 넓은 범위에서 큰 응답을 보인다. 수직 응답의 경우 선형의 결과는 모델의 결과가 같아야 하는데, Fig. 4(c)에서 보듯이 수치적인 오차에 의해 다소의 차이를 지니고 있지만 수치결과는 이를 잘 반영하고 있다.

Fig. 5는 파주파수에 따른 스킨트 변형의 진폭을 나타낸다. 수평축은 단위 입사파에 대한 변형으로서  $|\psi/A|$ 이다. 저주파수에서는 거의 강체와 같이 직선 형태의 변형을 보이고 고주파수대로 옮겨 가면서 점차 고차모드로 변화하는 것을 볼 수 있다.

수치해에 의하면 스킨트의 유연성이 부체의 운동에 많은 영향을 줄 수 있음을 알았다. 이는 스킨트의 변형에 의해 파랑 에너지가 다소 흡수되기 때문인 것으로 추정된다. 물입자의 궤도 운동이 발달하면서

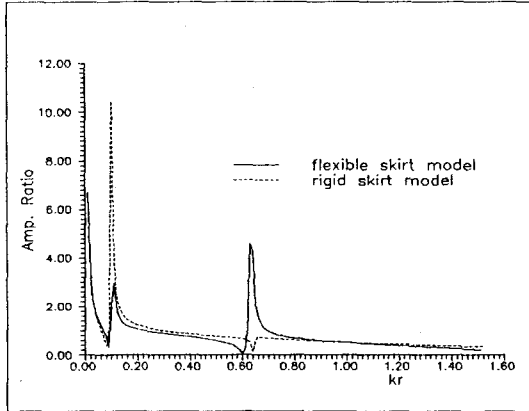


Fig. 4. (a) Surge amplitude ratios.

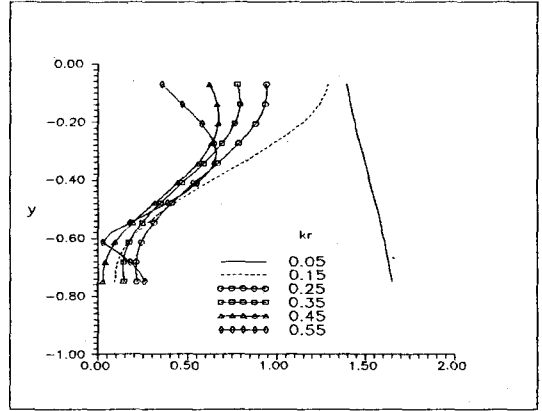


Fig. 5. Amplitude ratio of skirt deformation.

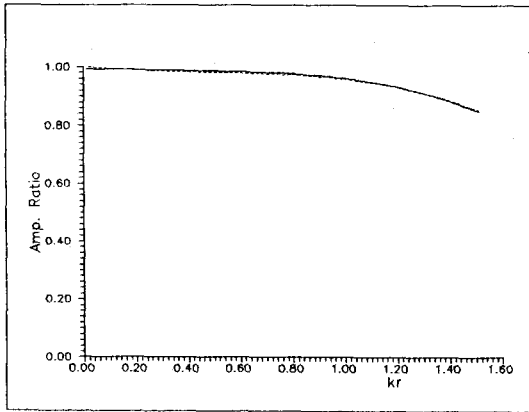


Fig. 4. (b) Heave amplitude ratios.

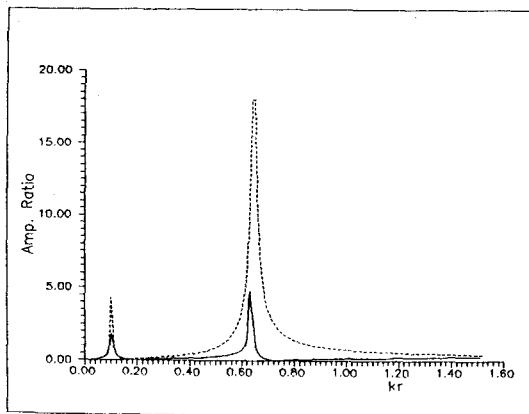


Fig. 4. (c) Roll amplitude ratios.

일부의 작업 조건에서는 강제인 경우보다는 운동성 능이 다소 우수함을 알 수 있다. 그러나 스커트의 유연성이 공진특성을 크게 바꿀 수 있음을 확인할 수 있다.

### 5. 매개변수 연구

오일부의 운동응답에 영향을 주는 무차원수를 구 하고 각 무차원수에 따른 영향을 알아보기 위하여 관련된 모든 독립변수와 종속변수를 해당되는 특성 량으로 무차원화한다. 즉, 변수를 다음과 같이 무차 원화하여

$$(\alpha^*, y^*, t^*, \Phi^*, \Psi^*, X_1^*, X_2^*, X_3^*, T^*) = \left( \frac{x}{l}, \frac{y}{l}, \frac{t}{\sqrt{gl}}, \frac{\Phi}{l\sqrt{gl}}, \frac{\Psi}{l}, \frac{X_1}{l}, \frac{X_2}{l}, \frac{X_3}{l}, \frac{T}{T_m} \right)$$

$$Q^* = Re\{q^* e^{-i\omega^* t^*}\}, Q = \Phi, \Psi, X_1, X_2, X_3$$

선형식에 대입하면 모든 식을 무차원화시킬 수 있다. 여기서 \*는 해당량의 무차원화된 값이며  $l$ 은 특성길 이를,  $T_m$ 은 특성장력을 나타낸다. 다만 여기에서  $l$ 은 부체의 반경  $r$ 로 하고,  $T_m$ 은 오일부의 총무게  $mg$ 로 택하면 관련된 무차원항들은 다음과 같다.

$$\frac{\rho_s g l}{T_m} = \frac{\rho_s g r}{mg} = \frac{\rho_s s}{m} \frac{r}{s} = \frac{m_s}{m} \frac{r}{s}, \frac{\rho_w g l^3}{T_m l} = \frac{\rho_w r^2 g}{mg}$$

$$\frac{d}{l} = \frac{d}{r}, \frac{m_c g}{T_m} = \frac{m_c g}{mg} = \frac{m_c}{m}$$

스커트의 변형이 활발하게 일어나고 이에 의해 부체의 운동이 다소 줄어드는 것을 알 수 있다. 대체로 오

$$[M^*] = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \frac{m_{13}}{r} \\ m_{21} & m_{22} & \frac{m_{23}}{r} \\ \frac{m_{31}}{r} & \frac{m_{32}}{r} & \frac{m_{33}}{r^2} \end{bmatrix}$$

$$[C^*] = \frac{r}{mg} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \frac{c_{13}}{r} \\ c_{21} & c_{22} & \frac{c_{23}}{r} \\ \frac{c_{31}}{r} & \frac{c_{32}}{r} & \frac{c_{33}}{r^2} \end{bmatrix}$$

따라서 무차원수는 다음과 같다.

$\frac{m_s}{m}$  ; 봄전체의 무게에 대한 스킨트 무게의 비

$\frac{m_c}{m}$  ; 봄전체의 무게에 대한 집중질량의 비

$\frac{\rho_w r^2 g}{mg} \approx$  총부력과 봄전체 무게의 비

$\frac{d}{r}$  ; 부체반경에 대한 부체홀수의 비

$\frac{s}{r}$  ; 부체반경에 대한 스킨트길이의 비

$[M^*]$  ; 무차원화된 질량행렬

$[C^*]$  ; 무차원화된 강성행렬

여기에서 스킨트의 선밀도와 부체의 반경 그리고 단위 길이당 질량은 대체적으로 일정한 값이므로, 본고에서는 스킨트의 길이와 체인의 질량을 파라미터로 생각하고 이들에 따른 운동응답의 변화를 고찰한다. 곧, 조일형에 의하여 개발된 오일봄을 기본모델로 하고

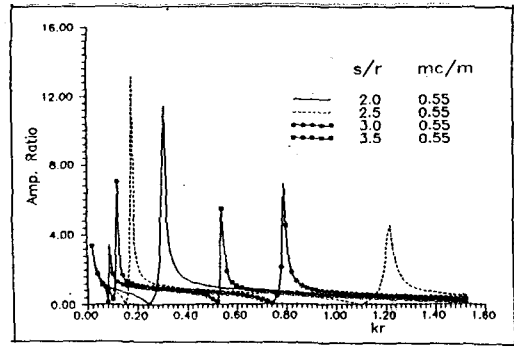


Fig. 6. (a) Effect of the skirt length-surge amplitude ratios.

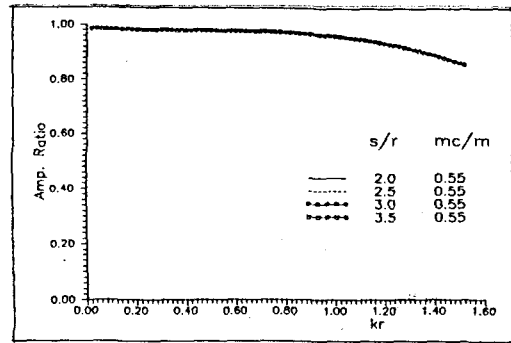


Fig. 6. (b) Effect of the skirt length-heave amplitude ratios.

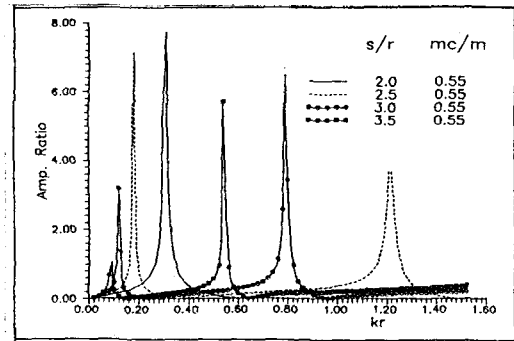


Fig. 6. (c) Effect of the skirt length-roll amplitude ratios.

Table 2. Principal dimension of the models of variation from basic model (in MKS unit)

	$r$	$d$	$s$	$\rho_s$	$m_f$	$m_s$	$m_c$	$m$	$s/r$	$m_c/m$
M14	0.210	0.0691	0.420	0.921	6.474	0.387	8.385	15.246	2.00	0.550
M24	0.210	0.0693	0.525	0.921	6.474	0.484	8.504	15.461	2.50	0.550
M34	0.210	0.0704	0.630	0.921	6.474	0.580	8.622	15.676	3.00	0.550
M44	0.210	0.0710	0.735	0.921	6.474	0.677	8.740	15.891	3.50	0.550
M54	0.210	0.0717	0.840	0.921	6.474	0.774	8.858	16.106	4.00	0.550
M31	0.210	0.0577	0.630	0.921	6.474	0.580	4.703	11.757	3.00	0.400
M32	0.210	0.0612	0.630	0.921	6.474	0.580	5.772	12.826	3.00	0.450
M33	0.210	0.0655	0.630	0.921	6.474	0.580	7.054	14.108	3.00	0.500
M35	0.210	0.0763	0.630	0.921	6.474	0.580	10.581	17.636	3.00	0.600

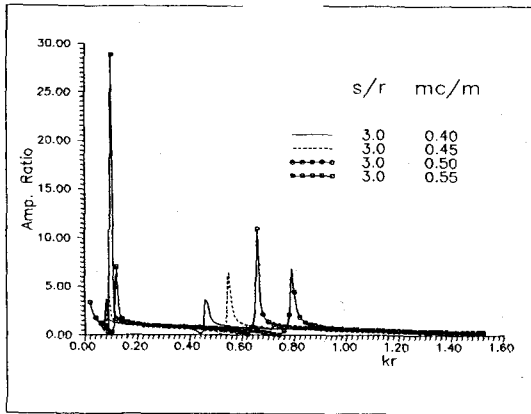


Fig. 7. (a) Effect of the chain mass-surge amplitude ratios.

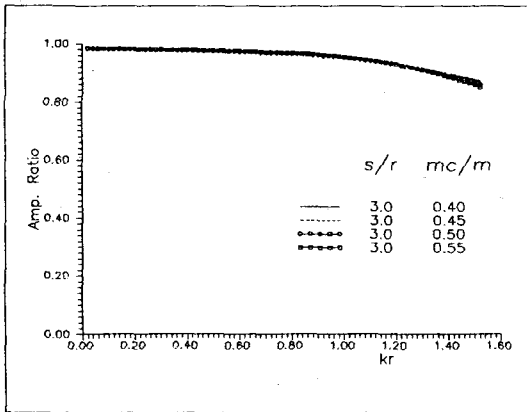


Fig. 7. (b) Effect of the chain mass-heave amplitude ratios.

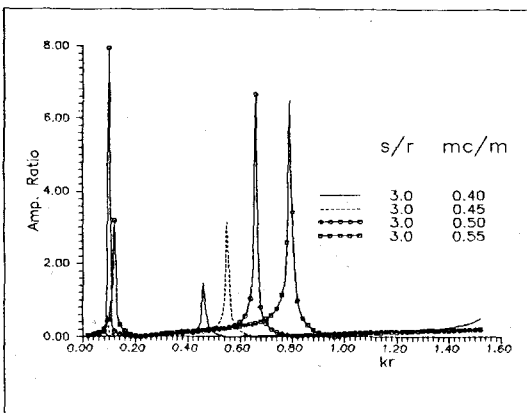


Fig. 7. (c) Effect of the chain mass-roll amplitude ratios.

다. 계산된 모델은 Table 2와 같다. 기본모델의 부체 반경에 대한 스킵트 길이비는 3.238이고, 붕질량에 대한 체인질량비는 0.556인데 계산한 모델은 이와 유사한 값을 택하였다.

Fig. 6은 스킵트길이가 오일붐의 운동응답에 미치는 영향을 보여주며, Fig. 7은 체인질량의 영향을 보이고 있다. 스킵트의 변형관계식을 정성적으로 고찰하면 해가 유일하게 결정되지 않는 주파수가 존재하는데, 이 주파수는 대략적으로 다음식과 같이 추정된다.

$$\frac{(2n-1)\pi}{2s} \sqrt{\frac{mg}{\rho_s}} < \sigma_n < \frac{2n\pi}{2s} \sqrt{\frac{mg}{\rho_s}}, n=1,2,\dots$$

여기에서  $\rho_s$ 는 유체동력학적인 영향을 고려한 선밀도이다. 곧 정성적으로 보면 Fig. 6(a)와 Fig. 7(a)에서 보듯이 스킵트의 길이가 길어지면 고유치는 감소하고, 인접하는 고유치 사이의 거리가 짧아지게 된다. 따라서 스킵트길이가 과도하게 길어지면 수평운동에 의한 공진가능성이 높아진다. 또한 체인질량을 적절히 크게하여 고유진동수를 높여주어야 한다. 한편 Fig. 6(b)와 Fig. 7(b)에서 보듯이 수직운동응답은 대략적으로 1 근처의 값을 보이고 있다. 또한 Fig. 6(c)와 Fig. 7(c)에서 보듯이 극값의 위치가 수평운동과 같은 것으로 보아 횡동요 응답은 수평운동과의 연성에 의해 크게 영향받는다고 생각된다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 스킵트의 유연성과 체인의 효과를 고려한 2차원 오일붐 모델의 수치해법을 개발하였다. 수치계산에 의하면 스킵트의 유연성에 의해 부체의 운동응답이 많이 바뀔을 확인하였다. 본 수치모델의 유효성을 검증하기 위해서는 유연한 스킵트의 모델에 대한 정밀한 실험이 요구된다. 그리고 다양한 형상의 오일붐과 실제 해상 상태까지 고려한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

성흥근, 1995. 2차원 오일붐 모델의 운동응답해석, 서울대학교 공학석사 학위논문.  
 조일형, 김장환, 현범수, 1993. 파랑중 2차원 오일붐의 운동성능 평가, 추계연구발표논문집, pp. 513-518.

이에 대하여 부체의 무게와 스킵트의 선밀도를 고정하고 스킵트의 길이와 체인의 무게를 변화시켜 보았