

Tension Leg Platform의 Tether의 동적해석

Dynamic Analysis of Tethers of Tension Leg Platforms

片	宗	根*
Pyun,	Chong	Kun
朴	佑	善**
Park,	Woo	Sun
金	圭	漢***
Kim,	Kuy	Han

Abstract

Dynamic analysis of tethers and platforms of tension leg platforms(TLP's) subjected to wave forces is presented in this paper. The efficient platform analysis model which can adequately include the dynamic characteristics of tethers is proposed, and the platform motion analyses are mainly carried out using this model. Also, the tether analyses are performed utilizing the finite element method with geometric stiffnesses due to the pre-tension in tethers. Two different TLP's located in 1000 ft and 3000 ft waters are chosen as example structures. For the purpose of comparison, analyses are also carried out by two different models. One is the conventional model in which the tethers are idealized as weightless springs. The other is the coupled model of platform and tethers. A comparison has been made between the results obtained by three different models mentioned above. Also, effects of the conventional stiffnesses of tethers and the wave exciting forces acting on tethers for the tether responses are examined.

요 지

본 논문에서는 파랑하중에 대한 Tension Leg Platform(TLP)의 tether와 platform의 동적 거동해석에 대해서 연구하였다. tether의 동특성 효과를 적절하고도 간단히 고려할 수 있는 platform 해석모델을 제안하여 platform 운동해석을 수행하였으며, tether에 작용하는 인장력에 기인된 기하학적 강성을 고려한 유한요소법을 사용하여 tether의 거동을 해석하였다. 해석 예제 용구조물로는 설치수심이 1000 ft 및 3000 ft인 두 가상적인 TLP를 선택하였으며, 비교를 목적으로 tether의 동특성 효과를 고려하지 않은 기존모델 및 platform과 tether를 조합한 모델 등에 의한 해석도 수행하여, 그 결과를 본 연구에서 제안한 모델에 의한 platform 운동과 tether의

* 정회원 · 명지대학교 공과대학 부교수, 토목공학과

** 정회원 · 한국과학기술원 박사과정, 토목공학과

*** 정회원 · 명지대학교 석사과정 졸업, 토목공학과

거동 해석결과와 비교분석하였다. 아울러, tether의 통상적인 휨강성 및 tether에 작용하는 파랑하중이 tether의 거동에 미치는 영향정도도 고찰하였다.

1. 서 론

해저 석유개발이 점차 심해로 확장되어 감에 따라, 심해에서의 석유 생산작업에 적합한 새로운 형태의 해양구조물 개발이 필요하게 되었고, 이러한 추이에 맞춰 guyed tower와 TLP 등의 수평방향 거동에 대해서 유연성이 매우 큰 구조물이 등장하게 되었다. 이 중 TLP는 작업공간을 제공하는 상판구조(deck structure), 부력을 전담하는 선체구조(hull structure)로 이루어진 platform 본체와 이를 지지하고 있는 연직장력 부재(tension legs; tethers) 및 기초구조(foundation system)로 구성되어 있으며, 외력의 효과를 완화시킬 수 있도록 일정범위내에서 움직임을 허용하게 설계되어 동적특성이 매우 우수한 구조물이라 할 수 있다.

일반적으로 TLP의 응답해석은 platform과 tether를 분리하여 수행하는 방법이 많이 채택되고 있고, 그 결과 역시 충분히 타당한 것으로 받아들여지고 있다. 즉, platform의 운동해석은 tether를 질량을 갖지 않는 경계요소로 단순화하여 수행하고^(1,2,3), 그 결과를 이용하여 tether의 응답을 구하는 방법이다. 그러나 이와 같은 종래의 platform 해석모델은 tether의 질량이 크지 않은 천해조건에서는 비교적 타당한 결과를 줄 수 있으나, tether와 platform의 질량비가 상당한 심해에서는 tether의 동특성이 platform의 운동에 미치는 영향이 커져 불합리한 결과를 초래하게 된다⁽⁴⁾. 결국, platform과 tether를 분리하여 해석하는 방법을 사용할 때는 platform 운동의 정확한 예측이 선행되어야만, 이를 이용한 tether의 해석결과도 타당하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 [이와 같은 문제점을 간단하고도 적절히 해결할 수 있는 platform과 tether를 분리하여 해석하는 방법에 대해서 연구하였다. 구체적으로 언급하면 tether의 동특성 효과를 적절히 고려할 수 있는 간단한 plat-

form 해석모델을 제안하여 platform의 운동해석을 수행하였으며, 그 결과를 경계조건으로 하여 tether의 거동해석을 수행하였다.

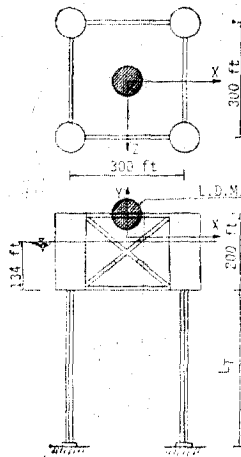
예제해석은 설치수심이 다른 두 구조물을 대상으로 수행하였으며, 각 경우에 대하여, tether의 동특성 효과를 고려하지 않은 기존모델 및 platform과 tether를 조합한 모델을 사용하여 해석을 수행한후, 그 결과를 본 연구에서 제안한 모델에 의한 platform 운동과 tether의 거동 해석결과와 비교분석하였다. 아울러, tether의 통상적인 휨 강성 및 tether에 작용하는 파랑하중이 tether의 거동에 미치는 영향정도도 고찰하였다.

2. Platform의 운동해석

2-1. 해석모델

본 논문에서 표준구조물로 선택한 TLP는 부력을 전담하는 연직축대칭 원통과 이들을 연결하고 있는 직경이 작은 부재로 이루어진 구조물로 그림 1에 그 제원과 함께 나타내었다. 효율적인 해석을 위해 상판구조는 집중질량으로 대체하였으며, 선체구조는 강체운동을 한다고 가정하였다. platform의 운동해석을 위하여, 정수압에 의한 복원력은 등가스프링(equivalent spring)으로 대체하였으며⁽⁵⁾, tether는 기존 모델과는 달리 tether의 동특성 효과를 고려한 경계요소로 대체하였다. 수평 및 수직 경계요소의 강성 $K_H^i(\omega)$ 와 $K_V^i(\omega)$ 는 tether를 하나의 beam-column 요소로 생각하여, 인장력에 기인한 기하학적 강성(geometric stiffness)이 고려된 강성행렬, 부가질량을 포함한 질량행렬 및 tether에 작용되는 점성저항력에 관련된 감쇠행렬을 구성한후, tether 양단이 hinge라는 조건을 도입, matrix condensation 기법을 사용하여, 다음과 같이 입사파의 진동수(ω)의 함수로 결정하였다.

$$K_H^i(\omega) = K_{33} - (K_{23} \cdot K_{44} + K_{34} \cdot K_{22} - 2K_{24} \cdot K_{34} \cdot K_{23}) / (K_{22} \cdot K_{44} - K_{24}^2) \quad (1.a)$$



		TLP-1		TLP-1J	
		O.D. (ft)	Mass (slugs*10 ⁵)	O.D. (ft)	Mass (slugs*10 ⁵)
PLATFORM	V.C.	70.0	4.97	120.0	4.97
	H.B.	10.0	0.11	10.0	0.11
	C.B.	5.	0.06	5.0	0.06
	L.D.M.	1.21*10 ⁶	slugs	1.21*10 ⁶	slugs
	Total Mass	3.33*10 ⁶	slugs	3.33*10 ⁶	slugs
TETHER	O.D.	1.0 ft		1.0 ft	
	L _T	866.0 ft		2866.0 ft	
	A _T	3.2 ft ²		9.6 ft ²	

Note:
 O.D. : outside diameter
 V.C. : vertical column
 H.B. : horizontal bracing
 C.B. : cross bracing
 L.D.M. : lumped deck mass
 L_T : tether length
 A_T : total cross-sectional area
 of tethers per V.C.

그림 1. Example structures

$$\begin{aligned}
 K_{11}^T(\omega) &= EA_T/L_T - \omega^2 \bar{m} L_T / 3 \quad (1. b) \\
 K_{22} &= 4EI_T/L_T + L_T(3T_1 + T_2)/30 \\
 &\quad - \omega^2(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T^3/105 - i\omega C_{22} \\
 K_{23} &= -6EI_T/L_T^2 - T_2/10 - \\
 &\quad \omega^2 13(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T^2/420 - i\omega C_{23} \\
 K_{24} &= 2EI_T/L_T - L_T(T_1 + T_2)/60 \\
 &\quad + \omega^2(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T^3/140 - i\omega C_{24} \\
 K_{33} &= 12EI_T/L_T^3 + 3(T_1 + T_2)/(5L_T) \\
 &\quad - \omega^2 13(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T/35 - i\omega C_{33} \\
 K_{34} &= -6EI_T/L_T^2 - T_1/10 + \\
 &\quad \omega^2 11(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T^2/210 - i\omega C_{34} \\
 K_{44} &= 4EI_T/L_T + L_T(T_1 + 3T_2)/30 \\
 &\quad - \omega^2(\bar{m} + \bar{m}_a)L_T^3/105 - i\omega C_{44}
 \end{aligned}$$

여기서, L_T , A_T , I_T 는 각각 tether의 길이, 단면적 및 단면 2차모멘트를, \bar{m} , \bar{m}_a , E 는 단위길이당 질량과 부가질량 및 탄성계수를, T_1 과 T_2 는 각각 tether의 하부와 상부에서의 인장력을 나타낸다. 감쇠력을 나타내는 C_{ij} 는 tether 거동속도($|\dot{X}_n|$)와 형상함수(N_i)로부터 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned}
 C_{ij} &= \frac{1}{2} \rho C_D d A \cdot \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot \int_0^{L_T} |\dot{X}_n| \cdot N_i \cdot N_j dx \\
 i, j &= 1, 2, 3, 4 \quad (2) \\
 N_1 &= 1 + 2\xi^3 - 3\xi^2 \\
 N_2 &= x(\xi - 1)^2 \\
 N_3 &= 3\xi^2 - 2\xi^3 \\
 N_4 &= x(\xi^2 - \xi), \quad \xi = x/L_T
 \end{aligned}$$

C_{ij} 에는 미지의 $|\dot{X}_n|$ 가 포함되어 있으므로, platform 운동해석을 위해서는 반복 계산과정(iterative procedure)이 필요하게 된다.

2-2. 파랑하중의 산정

연직기둥을 연결하고 있는 직경이 작은 부재에 작용하는 파랑하중은 Morison 방정식으로 구했으며, 큰 직경을 갖는 연직기둥에 작용되는 파랑하중은, Morison 방정식을 사용하되, 파의 산란효과(diffraction effect)와 기둥의 바닥에 작용하는 파랑하중을 근사적으로 고려하여 산정하였다. 즉, 연직기둥의 미소부재에 수평방향으로 작용하는 파랑하중은 다음과 같이 산정하였다.⁽⁶⁾

$$\begin{aligned}
 d\ddot{F} &= R_f \rho C_M d A \dot{V}_n + \rho(C_M - 1) d d \ddot{X}_n \\
 &\quad + \frac{1}{2} \rho C_D d A |\dot{V}_n - \dot{X}_n| (\dot{V}_n - \dot{X}_n) \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서, \dot{V}_n , \dot{X}_n =미소부재의 중심에서 물입자의 부재에 수직인 속도 및 가속도 벡터; \ddot{X}_n , \dot{X}_n =미소부재의 중심에서 부재에 수직인 속도 및 가속도 벡터; dA =미소부재의 수평방향으로 투영한 부재의 면적; dL =미소부재의 배수용량 ρ =유체의 밀도; C_M , C_D =관성 및 항력계수를 나타내며, 감쇠계수를 나타내는 R_f 는 Mac-Camy-Fuchs Diffraction Theory⁽⁶⁾의 결과로부터 결정된 계수로 연직기둥의 직경(D)과 입사파의 파장(L)의 함수로 다음과 같이 표시된다.

$$R_f = \frac{4}{\pi^3 (D/L)^2}$$

$$\cdot \frac{1}{\sqrt{(J_1'(\pi D/L))^2 + (Y_1'(\pi D/L))^2}} \quad (4)$$

$$\cdot \frac{1}{C_M}$$

여기서, $J_1(\cdot)$ 와 $Y_1(\cdot)$ 는 각각 1차 제 1종 및 2종 Bessel 함수를 나타내며, prime⁽¹⁾은 argument 에 대한 미분을 나타낸다.

연직기둥의 바닥에 작용하는 파랑하중(F_v)는 근사적으로 바닥의 중앙점에서의 압력(P_{dy})과 수직방향의 부가질량(M_a)에 관련된 항⁽⁷⁾으로 아래와 같이 산정하여 고려하였다.

$$F_v = P_{dy}\pi D^2/4 + M_a(\ddot{V}_v - \ddot{X}_v) \quad (5)$$

$$M_a = 4\rho(D/2)^3/3$$

여기서, \ddot{V}_v , \ddot{X}_v 는 연직기둥 바닥의 중앙점에서 물입자와 기둥의 연직방향 가속도를 나타낸다.

식(3)의 우변을 살펴보면, 점성저항력을 나타내는 세번째 항이 비선형임을 알 수 있다. 본 논문에서는, 주파수영역해석을 수행하기 위해서 물입자의 속도($|\dot{V}_n|$)가 미소부재의 속도($|\dot{X}_n|$)보다 상당히 작다는 가정하에 점성저항력을 다음과 같이 선형화하였다⁽⁸⁾.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}\rho C_D d A |\dot{V}_n - \dot{X}_n| (\dot{V}_n - \dot{X}_n) \\ & \cong \frac{1}{2}\rho C_D d A (|\dot{V}_n| \dot{V}_n - 2|\dot{V}_n| \dot{X}_n) \\ & \cong \frac{1}{2}\rho C_D d A (\dot{V}_n^* - 2C^* \dot{X}_n) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, \dot{V}_n^* 와 $C^* \dot{X}_n$ 는 $|\dot{V}_n| \dot{V}_n$ 와 $|\dot{V}_n| \dot{X}_n$ 를 Fourier 급수로 전개했을 때 파동의 진동수와 같은 진동수를 갖는 항이다.

2.3. 운동방정식 및 거동해석

각 부재에 작용하는 힘들을 platform의 무게 중심에 위치한 전체좌표계로 변환시켜 조합하면 다음과 같은 선형운동방정식을 얻게된다.

$$\begin{aligned} [M^p + M_a^p] \{X_p\} + [C^p] \{\dot{X}_p\} + \\ [K_T^p(\omega) + K_B^p] \{X_p\} = \{F_p(\omega)\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $\{X_p\}$, $\{\dot{X}_p\}$, $\{\ddot{X}_p\}$ =전체좌표계에 대한 platform의 6-자유도 변위, 속도 및 가속도 벡터; $[M^p]$, $[M_a^p]$ =platform의 질량 및 부가질량행렬; $[C^p]$ =점성저항력에 기인한 감쇠행렬; $[K_T^p(\omega)]$, $[K_B^p]$ =tether 및 정수압에 의한 강성행렬; $\{F_p(\omega)\}$ =파랑 기진력벡터이다.

식(7)에서, 파랑 기진력벡터와 이에 의한

platform의 변위벡터를 다음과 같이 조화진동의 형태로 나타낼 때,

$$\{F_p(\omega)\} = \{\bar{F}_p(\omega)\} e^{-i\omega t} \quad (8. a)$$

$$\{X_p(\omega)\} = \{\bar{X}_p(\omega)\} e^{-i\omega t} \quad (8. b)$$

platform의 운동은 다음과 같은 연립방정식으로 부터 구할 수 있다.

$$[K^p(\omega)] \{\bar{X}_p(\omega)\} = \{\bar{F}_p(\omega)\} \quad (9)$$

여기서, $[K^p(\omega)]$ 는 동적강성행렬(dynamic stiffness matrix)로 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} [K^p(\omega)] = -\omega^2 [M^p + M_a^p] - i\omega [C^p] \\ + [K_T^p(\omega) + K_B^p] \end{aligned} \quad (10)$$

3. Tether의 거동해석

3.1 해석모델 및 파랑하중

tether의 거동해석을 위해서, tether는 각 절점당 6개의 자유도를 갖는 beam-column 요소로 모형화하였다. 인장력에 기인한 기하학적 강성행렬은 tether의 초기인장력, 자중 및 부력의 효과를 고려하여 구성하였으며, 동적거동에 의한 장력변화의 영향은 무시하였다. 질량행렬은 consistent mass matrix로 구성하였다.⁽⁹⁾

tether에 적용하는 파랑하중은 platform의 직경이 작은 부재의 경우와 같이 morison 방정식을 사용하여 산정하였다. 그러나, tether에 적용하는 비선형 점성저항력의 선형화는, tether의 거동($|\dot{X}_n|$)이 상당히 크므로, tether의 거동에 대한 상대유속항으로 다음과 같이 선형화하였다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}\rho C_D d A |\dot{V}_n - \dot{X}_n| (\dot{V}_n - \dot{X}_n) \\ & = \frac{1}{2}\rho C_D d A |\dot{V}_{nr}| (\dot{V}_n - \dot{X}_n) \\ & \cong \frac{1}{2}\rho C_D d A (\dot{V}_{nr}^* - C^* \dot{X}_n) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, \dot{V}_{nr} 는 상대유속으로서 미지의 tether의 거동에 관련되므로, 선형화는 반복계산과정을 통하여 수행된다.

3.2 운동방정식 및 거동해석

각 부재에 분포하여 작용하는 파랑하중을 등가절점하중(equivalent nodal force)으로 환산⁽¹⁰⁾한 후, 전체좌표계로 변환시키면, 다음과 같은 선형운동방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} [M^t + M_0^t] \{\dot{X}_t\} + [C^t] \{\dot{X}_t\} + \\ [K_B^t + K_0^t] \{X_t\} = \{F_t(\omega)\} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $\{X_T\}$, $\{\dot{X}_T\}$, $\{\ddot{X}_T\}$ = 절점의 변위, 속도 및 가속도 벡터; $[M^T]$, $[M_T^T]$ = tether의 질량 및 부가질량행렬; $[C^T]$ = 점성저항력에 기인한 감쇠행렬; $[K^T]$, $[K_T^T]$ = 동상적인 보의 강성 및 기하학적 강성행렬; $\{F_T(\omega)\}$ = 파랑 기진력벡터를 나타낸다.

식(12)로부터, tether의 거동은 platform의 응답해석할 때와 같은 방법으로 구할 수 있으며, tether 각 부재의 부재력($\{\bar{R}\}$)은 각 부재에 대한 변위벡터($\{F_T\}$), 동적강성행렬($[K^T(\omega)]$) 및 고정단하중($\{F_T(\omega)\}$)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\{\bar{R}\} = [K^T(\omega)] \cdot \{X_T\} - \{F_T(\omega)\} \quad (13)$$

여기서, (\cdot) 는 각 부재의 국부좌표계에 대한 값을 나타낸다.

4. 해석결과와 비교분석

본 논문에서 예제해석용으로 선택한 TLP는 1000 ft 수심에 위치한 TLP-I와 3000 ft 수심에 위치한 TLP-II 등으로 그림 1에 그 제원과 함께 나타내었다. 각 경우의 tether 질량은 platform 질량의 약 5%와 50%가 되도록 가정하였다. platform에 대한 관성계수(C_M) 및 항력계수(C_D)는 DnV 에서 권장하는 방법을 사용하여 결정하였으며⁽¹¹⁾, tether에 대해서는 각각 2.0, 1.0을 적용했다. 본 논문에서 제시한 tether의 동특성효과를 고려한 platform 운동 해석모델(model-II)의 타당성을 알아보기 위하여, 그림 2에 보인 바와 같은 platform과 tether를 조합한 모델(model-III)에 의한 해석을 수행하였으며, 아울러 비교를 목적으로, tether의 동특성을 고려치 않은 기존모델(model-I)에 의한 해석도

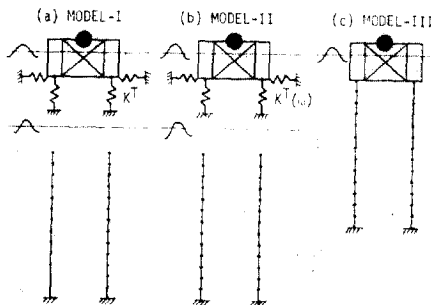


그림 2. Three different analysis models of TLP

수행하였다.

4-1. Platform의 운동해석 결과분석

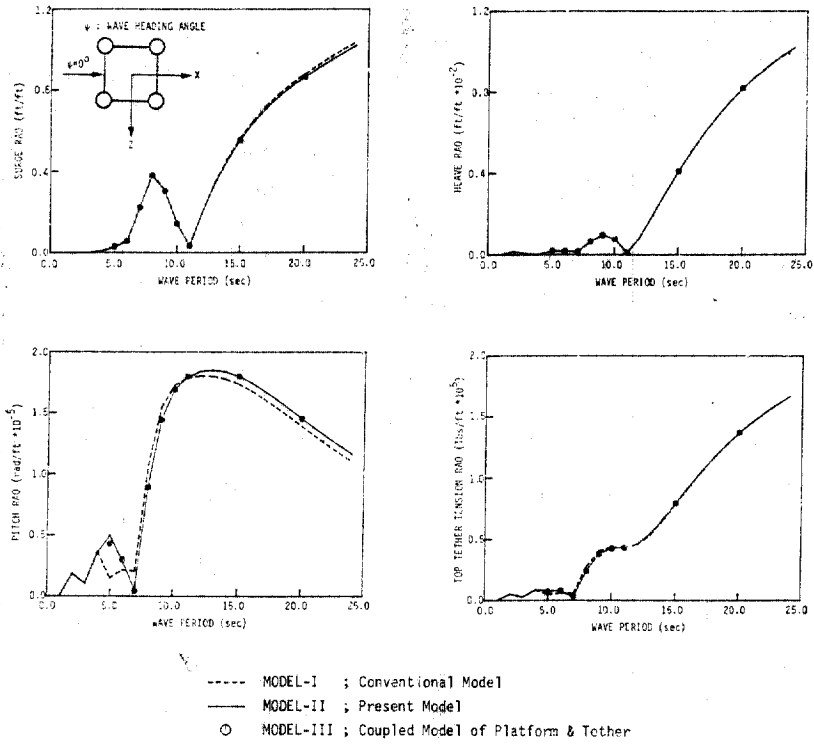
그림 3은 각 해석모델에 의한 platform의 운동 및 tether의 상부인장력 변동의 전달함수(RAO: response amplitude operator)를 보이고 있다. 본 논문에서 제시한 해석모델에 의한 결과와 platform과 tether를 함께 해석한 결과를 살펴보면, TLP-I의 5초와 TLP-II의 9초인 경우(tether의 횡모우드에 대한 자유진동주기)의 pitch운동을 다소 크게 예측한 것을 제외하고는 서로 잘 일치하고 있는 반면, tether의 동특성을 고려하지 않은 기존모델에 의한 해석결과를 살펴보면, tether와 platform의 질량비가 증가할수록 또 입사파의 진동주기가 증가할수록 두 결과와의 차이가 더욱 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 기존모델은 tether의 횡모우드에 대한 자유진동주기 부근에서 pitch운동의 동적증폭현상을 적절히 예측하지 못하고 있음을 알 수 있는데, 이는 pitch운동의 증폭현상이 tether의 질량(또는 길이)이 증가할수록 실제 해상상태에서 파에너지가 집중되어 있는 영역으로 이동하고 있다는 사실과 pitch운동이 tether의 인장력변동(tension variation)에 직접적으로 관련된다는 사실로 볼때 상당히 중요한 의미를 지닌다고 하겠다.

4.2 Tether의 거동해석 결과분석

본 연구수행중 작성된 tether해석 프로그램의 검증은 위하여, 본 프로그램에 의한 결과와 참고문헌(6)의 결과와 비교하였다. 참고문헌(6)의 결과는 정수중에 위치한 tether의 상부가 수평방향으로 조화운동을 할 때, 비선형 점성저항력, 부가질량력 및 기하학적 강성을 고려하여 비선형 운동방정식을 시간영역(time domain)에서 풀 것으로 그림 4에 나타낸 바와 같이 본 프로그램에 의한 결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 채택하고 있는 Fourier 급수를 이용한 비선형 점성저항력의 선형화 방법이 타당하며, 이를 이용한 선형 tether해석 프로그램이 타당한 결과를 줄 수 있음을 시사하는 것이라 할 수 있다.

그림 5는 model-II의 platform 운동 해석결과로부터 구한 tether의 상부운동을 입력운동

(a) TLP-I



(b) TLP-II

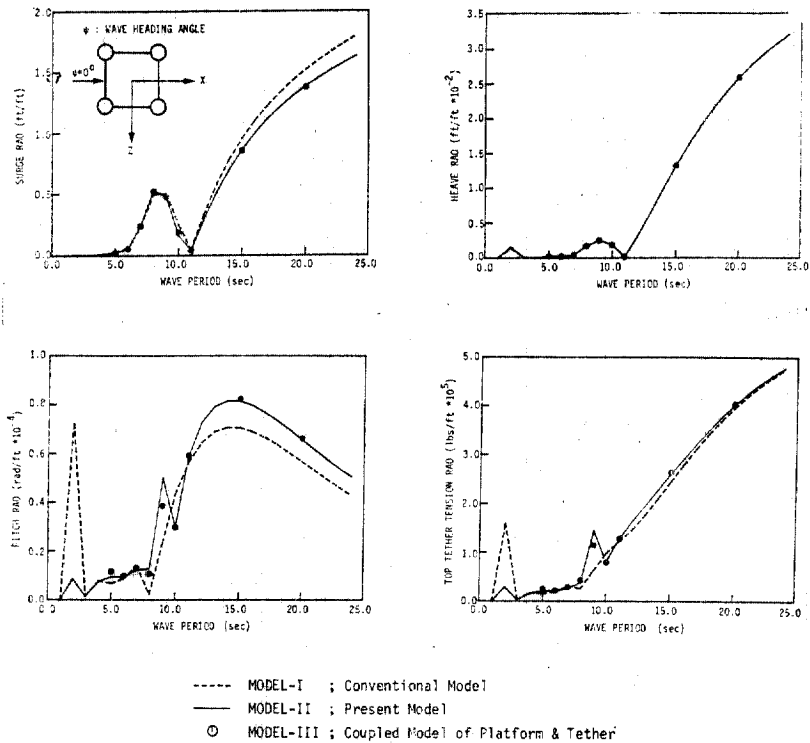


그림 3. Comparisons of platform motions by three different models

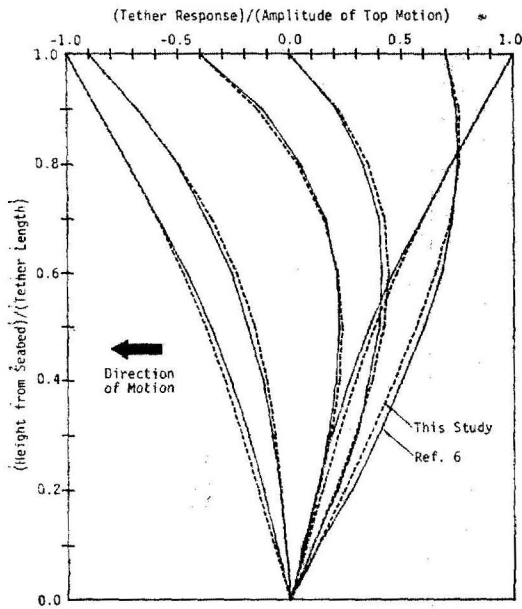


그림 4. Tether shapes for various platform positions
 으로하여 구한 휨응력과 platform 과 tether 를
 조합한 model-III 으로부터 구한 휨응력의 전달
 함수를 나타내고 있다. 두 모델에 의한 결과가
 서로 아주 잘 일치하고 있음을 볼 수 있는데,
 이는 그림 3 에 보인 결과와 함께 본 논문에서
 채택하고 있는 platform 과 tether 를 분리하여
 해석하는 방법이 타당한 결과를 줄 수 있음을
 나타낸다고 하겠다. 아울러, 파동의 진동주기에

따른 휨응력의 분포변화를 살펴보면, 휨응력은
 파진동주기가 길어질 수록 균일한 분포를 가지
 게됨을 볼 수 있다.

통상적인 휨강성이 tether 의 응답에 미치는
 영향을 나타낸 그림 6 을 살펴보면, tether 의
 거동(변위)은 통상적인 휨 강성을 고려하나 안
 하나 거의 차이가 없는 반면, 휨응력은 그 차이
 가 심각할 정도로 큼(특히, TLP-I 의 경우)을
 볼 수 있다. 이는 tether 의 거동해석시에는 통
 상적인 휨강성을 무시하여도 좋으나 휨응력 계
 산시에는 반드시 고려하여야 된다는 것을 보여
 주고 있다고 하겠다. TLP-II 의 경우를 살펴보
 면 그 차이가 TLP-I 의 경우보다 현저히 작음
 을 볼 수 있는데, 이는 tether 를 TLP-I 에 대
 해서는 한 보요소의 길이가 66.6ft 로, TLP-II
 에 대해서는 220.5ft 로 모형화한데서 발생한 전
 체 휨강성에 대한 통상적인 휨강성의 기여정도
 에 기인한 것이다. 다시 말하면, 통상적인 휨강
 성은 보요소 길이의 3 층에 반비례하고, 기하학
 적 강성은 1 층에 반비례하므로 보요소의 길이
 가 짧아질 수록 통상적인 휨 강성이 휨응력에
 미치는 영향은 증가한다고 하겠다.

그림 7 은 tether 에 작용하는 파랑하중이 teth-
 er 의 거동에 미치는 영향을 나타내고 있는데,
 그림을 살펴보면, 그 영향이 무시할 수 있을 정
 도로 작음을 알 수 있다. 이는 tether 의 거동해
 석시, 파동장에 위치한 tether 를 정수중에 위치

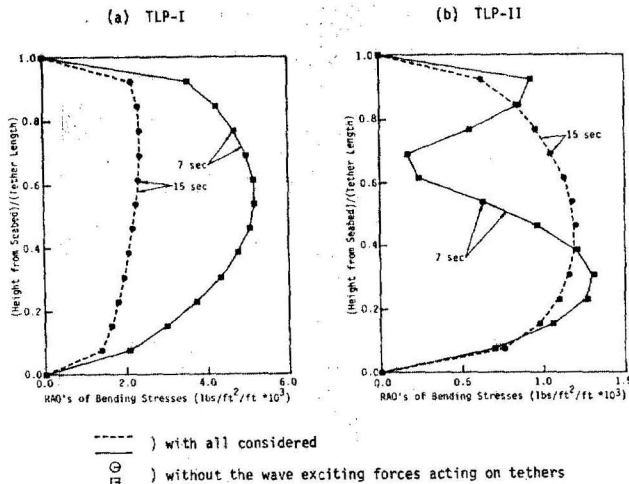
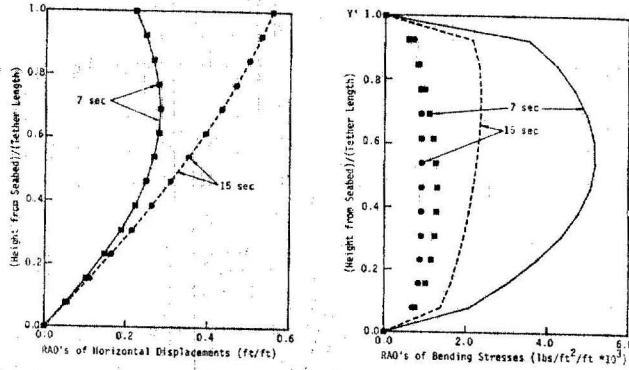
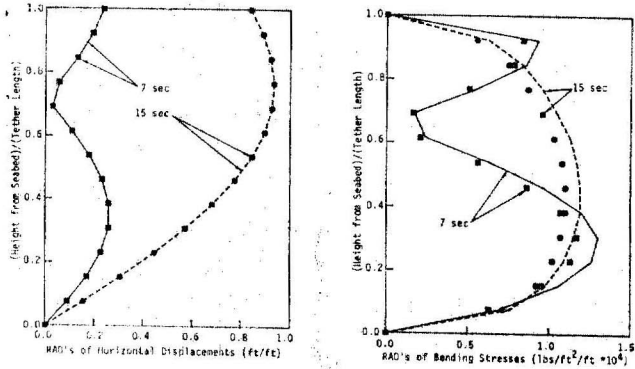


그림 5. Comparisons of tether bending stresses by the coupled & the uncoupled models

(a) TLP-I



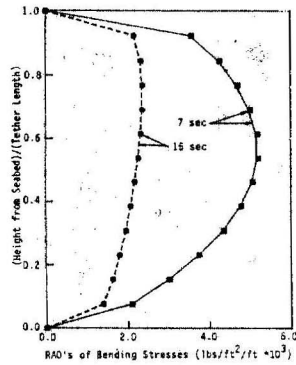
(b) TLP-II



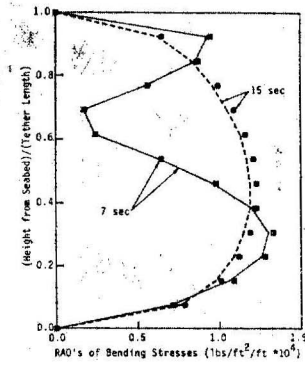
-----) with all considered
 ○) without the conventional flexural stiffness
 □

그림 6. Effects of the conventional flexural stiffnesses on tether responses

(a) TLP-I



(b) TLP-II



-----) MODEL-II (Uncoupled Model of Platform & Tether)
 ○) MODEL-III (Coupled Model)
 □

그림 7. Effects of the wave exciting forces on tether bending stresses

한 것으로 간주하여도 충분히 타당한 결과를 얻을 수 있음을 나타내는 것이라 하겠다.

참 고 문 헌

5. 결 론

본 연구에서는 TLP의 거동해석방법으로 platform과 tether를 분리하여 해석하되, tether의 동특성이 platform의 거동에 미치는 영향을 적절히 고려할 수 있는 간단한 platform 운동해석모형을 제안하여 platform 운동 및 tether의 거동해석을 수행하였으며 예제해석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 논문에서 제시한 platform 해석방법은 platform과 tether를 동시에 해석하는 방법과 비교해볼때 충분히 타당한 결과를 준다.

(2) Platform의 heave 운동은 tether의 질량 변화에 거의 영향을 받지않는 반면, surge와 pitch 운동은 tether와 platform의 질량비가 증가할 수록 더욱 많은 영향을 받게된다.

(3) tether의 거동해석시, tether에 작용하는 파랑하중은 무시하여도 좋다. 즉, 파동장에 위치한 tether를 정수중에 위치한 것으로 간주하고, platform의 운동해석으로 부터 구한 tether의 상부운동을 가하여 해석한다면 충분히 타당한 결과를 얻을 수 있다.

(4) tether의 거동(변위)해석시에는 통상적인 휨강성의 영향을 무시하여도 좋으나 휨응력 산정시에는 반드시 고려하여 주어야 한다.

(5) tether에 걸리는 휨응력분포는 파진동주기가 길어질 수록 균일해지는 경향을 보인다.

감사의 말

본 연구는 1986년도 한국과학재단 연구비의 지원으로 수행된 것이며, 이에 감사의 뜻을 전한다.

1. J.R. Paulling and E.E. Horton, "Analysis of the Tension Leg Stable Platform," *OTC*, 1263, 1970.
2. K. Yoshida, T. Yonega and N. Oka, "Response Analysis of Tension Leg Platform," *AMD-Vol.* 37, ASME, 1980.
3. R.T. Hudspeth, C.K. Pyun, T. Nakamura and B. Kruchoski, "User's Manual for Marathon TLP for Vertically Axisymmetric Buoyant Pontoons and Slender Member Cross Bracing," Ocean Engineering Program, Dept. of Civil Engineering, Oregon State Univ., 1982.
4. C. Oran, "Overall Dynamic Characteristics of Tension Leg Platforms," *OTC*, 4640, 1983.
5. C.K. Pyun, W.S. Park and C.B. Yun, "Dynamic Analysis of the Tension Leg Platform Subjected to Wave Forces," *5th Congress APRD-IAHR*, August, 1986
6. R.C. MacCamy and R.A. Fuchs, "Wave Forces on Piles: A Diffraction Theory," Tech. Memo. No. 69, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board,
7. J.P. Hoofst, *Advanced Dynamics of Marine Structures*, John Wiley and Sons, New York, 1982.
8. 박우선, "파랑하중에 대한 Tension Leg Platform의 동력학적 연구", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1986.
9. J.S. Prezeminiecki, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw-Hill, 1968.
10. R.H. Gallagher, *Finite Element Analysis; Fundamentals*, Prentice-Hall, 1975.
11. Det Norske Veritas, *Rules for the Construction and Classification of Mobile Offshore Units*, 1975, pp. 69~70.

(接受: 1987. 8. 27)