

파랑하중에 대한 Guyed Tower의 동적해석

Dynamic Analysis of Guyed Tower Subjected to Wave Forces

柳	井	善*
Ryu,	Jung	Sun
尹	楨	邦**
Yun,	Chung	Bang

Abstract

Dynamic analysis of guyed tower is presented in this paper. The scope of the study is twofold. The one is to determine an efficient analysis method to include the nonlinearity of the mooring system and the nonlinear hydrodynamic wave forces. The other is to investigate the sensitivity of two major design parameters, that is the stiffness of mooring system and the fixity condition of the tower at mud line. Time history analysis method utilizing mode superposition is mainly considered. However several other methods are also used for the purpose of comparison. Analyses are carried out using the Lena Guyed Tower, which is the first structure of this kind, as a standard structure.

要 旨

본 논문에서는 최근에 개발된 심해용 구조물인 guyed tower의 동력학적 해석방법과 이의 주요 설계인자인 guying system의 강성 및 구조물기초부에서의 회전강성이 구조물의 거동에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 해석기법으로는 guying system의 초기강성을 사용하여 구한 자유진동 모우드의 중첩법을 주로 고찰하였으며, 그 결과를 몇가지의 다른방법에 의한 결과와 비교검토했다. 예제해석은 세계최초의 guyed tower인 Lena tower를 표준구조물로 택하여 수행되었다.

1. 서 론

세계 에너지수요의 급증은 해저석유 개발을 수심이 더 깊은 곳까지 확대하도록 하여 심해에서의 석유생산과정에 적합한 새로운 구조물의 개발

이 필요하게 되었다. 본 논문에서 다룬 guyed tower는 최근에 개발된 심해용 해양구조물중의 하나로서 그림 1-a에서와 같이 일정한 크기의 수평단면을 갖는 철재 tower와 이의 상부에 연결되어 수평지지를 제공하는 16~24개의 guylines으로 구성되어 있어 보통의 jacket type platform

* 정희원 · 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

** 정희원 · 한국과학기술원 부교수, 토목공학과

에 비하여 유연성이 매우 큰 구조물(compliant structure)이다. guyed tower의 개념은 1970년대 초부터 개발되기 시작하여, 첫 구조물인 Lena guyed tower가 1983년에 멕시코만의 수심 1,000 ft 되는 지점에 성공적으로 설치된 바 있다. guyed tower는 guylines로 구성된 guying system의 강성이 비선형일 뿐만 아니라, 구조적 유연성 때문에 구조물의 변위가 커서 비선형 점성 파동력의 영향이 매우 크므로 구조물의 거동을 비선형 기법으로 해석하여야 한다. 또한 구조물의 기본고유진동 주기가 설계파의 주기보다 상당히 커서 동적 증폭계수가 1보다 훨씬 작은 특성을 가지고 있으므로 동력학적 거동의 면밀한 해석이 매우 중요하다.

guyed tower에 대한 해석방법의 과거 연구현황을 살펴보면 문헌 1 및 2에서는 직접 적분법으로써 규칙파와 또는 불규칙파에 대하여 시간영역 해석을 하였으며 문헌 3에서는 규칙파에 대하여 모우드중첩법을 써서 거동해석을 하였다. 또한 문헌 4에서는 불규칙파에 대해서 파랑하중 및 강성행렬의 선형화를 통한 주파수 영역에서의 랜덤(random)해석이 제안되기도 했다. 본 연구에서는 tower의 거동을 이해하는데 효율적인 규칙파를 사용했으며 구조물의 동적해석을 문헌 3에서와 같이 초기 강성행렬을 사용하여 구한 모우드의 중첩법으로써 수행하였으며, 그 결과를 직접적분법 등의 다른 방법으로 구한 결과와 비교 검토 하였다. 아울러 guyed tower의 중요한

설계인자인 guylines의 강성과 pile 기초의 회전강성이 tower의 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

2. Guyed Tower의 모형화 및 운동방정식

2.1 Tower 및 Guying System의 모형화

실제 구조물은 그림 1·a와 같이 많은 부재로 이루어진 3차원 구조물이나 동역학적 해석을 위하여 그림 1·b와 같이 상응한 단면계수를 가지는 2차원 평면상의 하나의 기동형구조물로 단순화하였다. 여러개의 guylines으로 구성된 guying system은 tower의 guy node에 부착된 한개의 비선형 스프링요소로 모형화하였다. pile 기초에서의 tower의 경계조건은 수평운동은 구속되나 회전운동은 등가회전 강성을 가지는 스프링요소로 제한되어 있는 것으로 이상화하였다. 한편 파동력의 계산시에는 그림 1·c에 보인 바와 같이 실제구조물의 형상에 가깝게 4개의 기둥을 가진 구조물로 모형화하여 구조물의 각절점에 가해지는 파동력의 위상차가 적절히 고려되도록 하였다.

본 연구에서 표준 구조물로 택한 Lena tower(문헌 5)의 guyline 설계를 고찰하면, tower의 offset이 없는 상태에서는 그림 1·a와 같이 guyline 하단부에 부착된 clump weight 부분이 해저면에 자연스럽게 걸쳐 있으며 설계파의 조건에서처럼 tower의 offset이 매우 큰 상태에서는

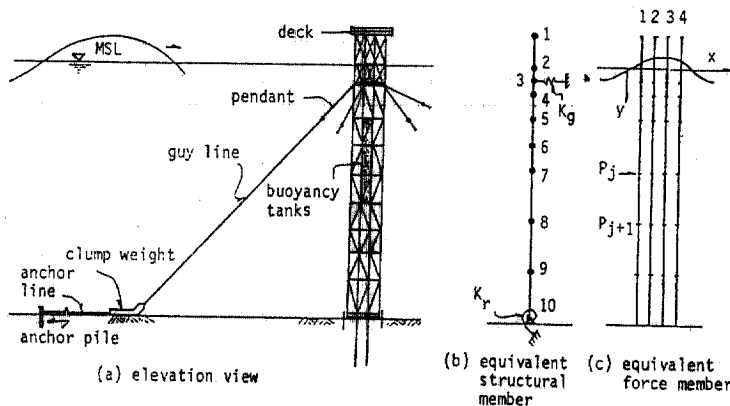


그림 1. Elevation view and models.

clump weight 가 해저면에서 완전히 들리도록 되어 있으므로, 여기서는 guyline 장력과 offset 의 관계식을 guyline, clumpweight 및 anchor line 등으로 세부분이 다른 catenary 곡선으로 구성된 연결체로 간주하여 산정하였다. Lena tower 의 guyline 재원을 사용하여 구한 하나의 guyline 의 장성곡선은 그림 2·a 와 같으며 20 개 의 guylines 로 구성된 guying system 의 장성곡선은 그림 2·b 와 같다. 이들을 보면, guyline 의 장성계수는 guynode 의 offset 이 15 ft 이내에서는 대체적으로 일정하게 유지되다가 offset 이 그 이상되면 곡선의 기울기가 급격히 감소하는 비선형성을 보이고 있다.

2.2 Tower 의 운동방정식

그림 1·b 와 같은 구조모형에서 절점의 수평운동만을 고려하면 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$[M+M_a]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K(x)]\{x\} = \{P_{wc} + P_{wn} + P_{p-d}\} \dots\dots\dots(2.1)$$

여기서

$\{x\}$, $\{\dot{x}\}$, $\{\ddot{x}\}$: tower 의 절점변위, 속도, 가속도 벡터

$[M]$: tower 의 구조적 질량행렬

$[M_a]$: 유동에 의한 부가질량행렬 $\rho(C_M-1)[V]$

$[C]$: 구조적 감쇠행렬

$[K(x)]$: 구조물 및 연계장치의 강성으로 이루어진 강성행렬

$\{P_{wc} + P_{wn} + P_{p-d}\}$: 파동과 조류에 의한 하중, 풍하중 및 deck 의 변위에 따른 $P-\Delta$ 영향에 의한 전체하중 벡터

wave 와 current 에 의해서 구조물에 가해지는 파동력 벡터 $\{P_{wc}\}$ 는 Morison 의 식을 사용하면 다음과 같이 구할 수 있다(문헌 6, 7, 8, 9).

$$\{P_{wc}\} = \frac{1}{2}\rho C_D [A] \{(\dot{v}-\dot{x})|(\dot{v}-\dot{x})\} + \rho C_M [V] \{\dot{v}\} \dots\dots\dots(2.2)$$

여기서 \dot{v} , \ddot{v} 는 각각 물입자의 속도, 가속도이고 ρ 는 바닷물의 밀도이며 C_D , C_M 은 유동의 점성 및 관성계수로서 실험에 의하여 결정되는 값이다. 대각행렬로 나타낸 $[A]$, $[V]$ 은 각각 구조물의 유동방향으로의 사영면적과 구조물이 수중에서 차지하는 부피를 표시한다. 식(2.2)에서

우변의 첫 항은 파동의 점성 저항력을 나타내며 이것에 의하여 운동방정식은 비선형이 된다.

본 논문에서는 파동의 속도 및 가속도는 Airy 의 선형파이론에 의한 규칙파를 사용하였으며, 심해일 경우 다음과 같이 구할 수 있다. (문헌 8, 10).

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos(\omega_0 t - k_0 x) \dots\dots\dots(2.3.1)$$

$$\dot{v}(x, \bar{y}, t) = \frac{\omega_0 H}{2} e^{-k_0 \bar{y}} \cos(\omega_0 t - k_0 x) \dots\dots\dots(2.3.2)$$

$$\ddot{v}(x, \bar{y}, t) = \frac{-\omega_0^2 H}{2} e^{-k_0 \bar{y}} \sin(\omega_0 t - k_0 x) \dots\dots\dots(2.3.3)$$

여기서 η 는 자유수면, H 는 파고이며, ω_0 , k_0 는 각각 파도의 주파수와 파수를 나타낸다. \bar{y} 는 정수면으로부터 해저방향으로 잰 거리이다. 조류는 조수의 작용과 바람에 의해서 생성되는데, 그 속도는 물입자의 속도에 더해져서 구조물에 작용하는 것으로 해석하였다.

tower 의 갑판에 작용하는 풍하중은 단위면적당 풍압을 일반적인 항력에 대한 표현식을 사용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$P_{wn} = \frac{1}{2} \rho_a C_s V_w^2(z) \dots\dots\dots(2.4)$$

여기서 ρ_a 는 공기의 밀도이고 C_s 는 형상계수로서 overall projected area 에 대해서 1.0 을 적용하였으며 $V_w(z)$ 는 해수면위 z 의 높이에서의 풍속(sustained wind)이다.

$\{P_{p-d}\}$ 는 구조물이 기울어짐에 따라 deck weight, 부력을 고려한 tower 의 자중, clump weight 의 자중 등과 같은 수직하중에 의해서 발생하는 전복모멘트의 영향을 수평하중으로 나타낸 것으로, 다음과 같이 수식화하였다.

$$P_{p-d} = \frac{w(h)x}{h} \dots\dots\dots(2.5)$$

$w(h)$ 는 임의 절점의 수직하중이고 h 는 그 높이, x 는 수평변위를 표시한다.

3. 구조물의 동력학적 해석

Guying system 의 비선형강성을 초기치로 선형화하고 이에 따른 불균형 복원력을 하중항 $\{dP(x)\}$ 으로 보정하도록 하면 식(2.1)은 다음

과 같이 된다.

$$[M+M_g]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K_0]\{x\} = \{P_{or} + P_{un} + P_{p-d}\} + \{\Delta P(x)\} \dots\dots\dots(3.1)$$

여기서 $[K_0]$ 는 guying system의 초기강성 k_0 로 선형화된 강성행렬이며 $\{\Delta P(x)\}$ 는 guynode에만 추가로 가해지는 하중항으로서 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta P(x_r) = k_0 x_r - R(x_r) \dots\dots\dots(3.2)$$

식 (3.2)에서 x_r 는 guynode의 수평변위이며 $R(x_r)$ 는 변위 x_r 에 해당되는 guylines 전체의 실제복원력이다.

운동방정식 (3.1)은 비선형 파랑하중과 불균형 복원력으로 인하여 비선형이지만 근사해법으로서 $[K_0]$ 를 사용한 구조계의 비감쇠 자유진동 모우드들을 구하여 이들의 중첩법으로 아래와 같이 해를 구할 수 있다.

$$\{x\} = [\Phi]\{q\} \dots\dots\dots(3.3)$$

여기서 $[\Phi]$ 는 최초 l 개의 모우드만으로 구성된 모우드 행렬로서 일반진량 행렬이 unit matrix로 되도록 정규화한 것이며, $\{q\}$ 는 크기가 l 인 일반모우드 좌표벡터이다. 본 논문에서는 구조물의 동력학적 거동해석시 higher mode의 영향이 매우 작으므로 기본이 되는 제한된 수의 모우드만 사용하였다.

식 (3.3)을 식 (3.1)에 대입하고 $[\Phi]^T$ 를 각항의 앞에 곱하면 다음의 식을 얻는다.

$$\{\ddot{q}\} + [2\zeta_i \Omega_i]\{\dot{q}\} + [\Omega_i^2]\{q\} = [\Phi]^T(\{P_{or} + P_{un} + P_{p-d}\} + \{\Delta P(x)\}) \dots\dots\dots(3.4)$$

여기서 Ω_i 는 guyed tower의 i 번째 자유진동수이고 ζ_i 는 구조감쇠율로서 논문에서는 각 모우드에 대해서 2%로 가정하였다.

수치해법으로 식 (3.4)의 해를 얻고 이를 식 (3.3)에 대입하면 구조물의 변위가 구해지며 이로부터 구조물의 각 부재의 부재력 및 응력을 구할 수 있다.

4. 예제 해석과 검토

4.1 표준구조물에 대한 해석

본 연구에서 표준구조물로 택한 세계 최초의 guyed tower인 Lena tower의 구조적 data와 파동력산출을 위한 유동계수 및 등가직경(drag,

inertia diameter)은 표 1에 요약하였다. guyline의 초기장력을 450kips로 하여 구한 한개의 guyline에 대한 offset-tension 곡선은 그림 2·a와 같으며 이에 의하면 guyline의 offset이 약 15ft 이상이 되면 clump weight가 완전히 들러 곡선의 기울기가 급격히 저하됨을 보여 주었다. 20개의 guyline들로 구성된 guying-system의 강성곡선을 구한 결과는 그림 2·b(CW=2900lb/ft)에 보였으며, 이를 살펴보면 guynode의 offset이 15ft까지는 강성계수가 약 200kips/ft의 값을 유지하다가 이후 기울기가 급격히 감소하여 약 60kips/ft 정도로 됨을 알 수 있었다. 이 강성곡선에 따르면 guyed tower는 변위가 작은 정상운영조건에서는 구조물의 강성이 비교적 크나 변위가 큰 설계과조건에서는 상당히 유연한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

tower의 offset이 zero 일 때의 guying system의 강성을 사용한 비감쇠 자유진동해석 결과로부터 얻은 처음 4개의 자유진동모우드를 사용하여 해석을 수행하였는데 그 진동주기들은 각각 22.6 sec, 3.02 sec, 1.00 sec, 0.46 sec이었다. 제 1진동모우드는 guyline의 강성에 주로 지배를 받는 모우드이며, 그 진동주기가 설계과의 주기 13 sec의 약 1.74배로 크고, 반면에 제 2 및 제 3진동모우드는 tower의 휨강성에 주로 영향을 받는 모우드로서 그 진동주기들은 설계과의 주기보다 훨씬 작음으로서 설계과 조건에서 매우 유리한 동적특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

표 2는 본 연구에서 적용한 3종류의 해상상태를 보여주고 있는데 이중 해상상태 III이 Lena tower에 대한 실제 해상상태이다. 해상상태 III($H=72ft$)에 대한 해석결과를 그림 3에 보였는데 최대감판변위는 36.7ft이며 진폭이 23ft인 규칙운동을 하였다. 비슷한 파고조건의 불규칙파에 대해서($H_s=41ft$, $H_{max}=72ft$) 문헌 5에서는 최대변위를 41ft, 진폭을 27ft로 산정하고 있어, 본 연구의 결과가 대체로 타당함을 알 수 있었다. 같은 해상 조건에서 최대 휨모멘트는 tower 중앙부(node 7)에서 발생하고 그 값이 $69.0 \times 10^4 kips \cdot ft$ 로 구해졌는데 그림 3에서 보인 휨모멘트의 시계열을 살펴보면 파주기(13 sec)에

표 1. Structural Data(kips, ft)

No.	Node		I	D _d		D _i	
	El.	Mass		1, 4	2, 3	1, 4	2, 3
1	-100	360	I ₁	60	98	12	16
2	0	235	I ₁	60	98	12	16
3	50	243	I ₁	60	98	12	16
4	100	453	I ₂	46	116	11	32
5	200	678	I ₂	46	116	11	32
6	300	678	I ₂	46	116	11	32
7	400	765	I ₂	46	76	11	15
8	600	853	I ₂	46	76	11	15
9	800	853	I ₂	46	76	11	15
10	1000			C _D =0.7, C _M =2.0			

I=cross sectional moment

I₁=38,000

I₂=30,000

D_d=drag diameter

D_i=inertia diameter

표 2. Environmental Conditions

	SEA STATE I	SEA STATE II	SEA STATE III
WIND *	25 mph	50 mph	90 mph
WAVE **	H = 18 ft T = 7.5 sec	H = 36 ft T = 10 sec	H = 72 ft T = 13 sec
CURRENT VELOCITY PROFILE FROM SURFACE	<p>2.4 FT/SEC</p>	<p>3.2 FT/SEC</p>	<p>4.4 FT/SEC</p>

* hourly mean wind

** H;wave height T;wave period

의한 강제진동 성분과 휨에 대한 자유진동주기 (3.02 sec)에 의한 성분이 중첩된 형태로 나타날 수 있었다.

4.2 해석기법에 대한 고찰

본 논문에서는 앞 절에서 설명한 모우드중첩 이외에 몇가지의 다른 해석기법을 사용하여 guyed tower의 거동을 해석한 후 그 결과들을 비교 검토하였다(표 3).

첫째로, 가장 정확한 방법이라 판단되는 guying system의 비선형강성을 그대로 사용한 직접적 분법을 사용했으며 그 결과(표 3의 DYN2)를 본 연구의 표준방법인 모우드 중첩법의 결과(DYN 1)와 비교하였다. 이를 보면 deck의 변위와 최대 휨모멘트가 1% 내외의 차이를 보이고 있어 여기서 사용한 모우드 중첩법이 타당한 결과를 주고 있음을 입증하였다.

두번째로, 고정 해양구조물의 해석시 가장 많이 이용되는 간단한 방법인 정역학적 해법을 사용하였는데, 이는 파동의 관성력을 무시하고 점성력은 물입자의 절대속도를 사용하여 산정하는 기법이다. 이에 의한 결과(표 3의 STATIC)는 동력학적 결과에(DYN1) 비해 deck의 변위를 2 배 이상으로 크게 예측하였다. 더욱이 설계해상 상태에서는 Lena guyed tower의 설계상의 최대 허용변위(약 60 ft)를 훨씬 초과하는 불합리한 결과를 주었다. 이 최대 허용변위는 guyline의 anchor pile에 수직하중이 작용하지 않게 하기

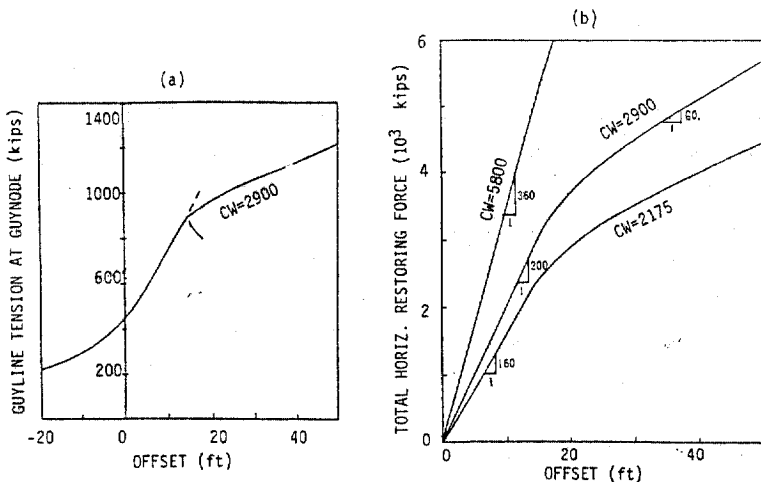


그림 2. Guyline tension and total restoring force vs guynode offset

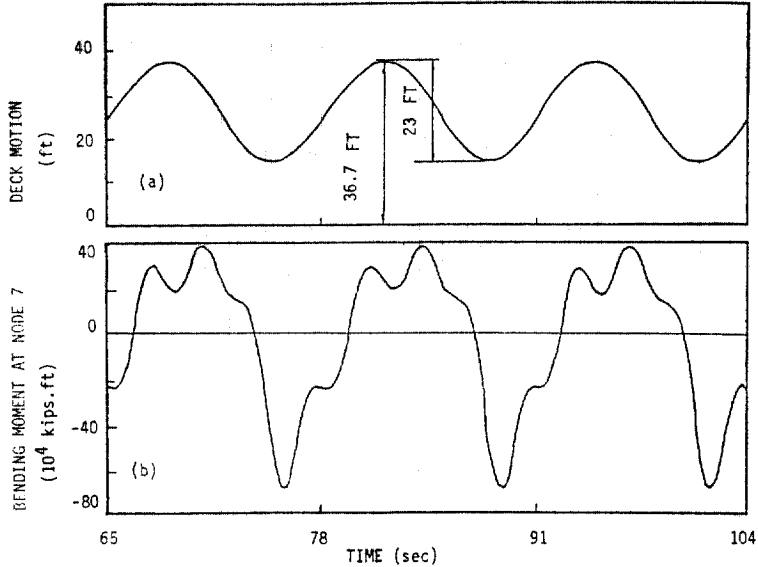


그림 3. Time histories for deck motion and bending moment at node 7 ($H=72\text{ft}$, $T=13\text{sec}$)

표 3. Maximum Responses from Different Analyses

	SEA STATE I		SEA STATE II		SEA STATE III		REMARK
	RA*	RB**	RA	RB	RA	RB	
STATIC	8.6	6.2	35.7	25.8	>60	—	static
DYN1	5.6	14.0	12.9	32.6	36.7	69.0	mode superposition
DYN2	5.7	14.3	12.9	33.0	36.9	69.8	direct integration
DYN3	7.0	19.7	20.7	52.1	>60	—	absolute wave velocity
NO $P-\Delta$	4.6	12.5	10.9	35.9	30.4	77.7	no $P-\Delta$ effect

*RA; deck displacement(ft)

**RB; bending moment(10^4 kips-ft)

위한 조건이다.

세번째로, 간단한 동력학적 해법으로서 파동력의 산출시 유동의 절대속도를 사용하여 얻은 결과를 표 3의 DYN3란에 보였는데 이 방법도 구조물의 거동을 매우 크게 산정함을 알 수 있었다. 이는 실제 guyed tower는 구조적으로 유연하여 변위가 크기 때문에 hydrodynamic damping 효과가 매우 중요한데 유동의 절대속도를 사용함으로써 이 효과를 적절히 나타내지 못한 때문으로 판단된다.

마지막으로 표 3의 NO $P-\Delta$ 란은 부력을 포함한 구조물의 무게에 의한 전복력의 영향($P-\Delta$ effect)을 고려하지 않은 경우의 구조물의 거

동이다. 이를 표준해석 결과와 비교해 보면 전복력의 기여도는 약 17%정도 됨을 알 수 있었다. 이로부터 만약 guyed tower에 부력 탱크가 설치되지 않았을 시 설계해상 상태에서 큰 변위로 인한 전복력의 영향이 심각했을 것으로 추산된다.

4.3 Guying System 강성에 대한 고찰

Guying system 강성이 구조물의 거동에 미치는 영향을 검토하기 위하여 clump weight의 무게를 변화시켜 가며 해석을 수행하였으며 그 결과를 그림 4에 보였다. clump weight의 무게를 표준구조물 경우의 2배인 5,800lb/ft로 증가시켰을 때 Guying system의 강성은 그림 2-b(CW

=5800)에서 처럼 초기의 큰 강성치가 tower의 offset가 20 ft 이상될 때 까지 지속됨을 보였으며, 이때 deck의 최대변위는 표준치에 비하여 25% 감소하나(그림 4·a), 변위의 진폭(dynamic amplitude)은 약 40% 증가하였고(그림 4·b), tower의 최대 휨모멘트는 약 30% 증가함을 보였다(그림 4·c). 한편 clump weight의 무게를 2,175lb/ft로 감소시킬 경우는 guying system의 강성이 약 20% 감소하며 이 경우 구조물은 설계하중하에서 허용치 이상의 과도한 변위를 겪게 되었다. 따라서 guying system의 수평강성이 충분치 못하면 tower에 과도한 변위가 일어날 수 있으나, 필요이상으로 강하게 되면 풍하중, 조력 등의 정적하중에 대해서는 유리할지라도 그림 4·b처럼 파동의 동적하중에 대해서 민감하게 됨을 알 수 있었다. 후자의 경우에는 보통의 해상운영 상태에서 많이 발생하는 비교적 작은 파도로 인해서 guyline 및 tower의 피로파괴가 문제될 수 있고 그림 4·c와 같이 tower의 휨모멘트도 증가되는 불리한 상태를 초래할 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 여건 때문에 guying system의 강성에 대해서는 최적설계가 이루어져야 할 것이다.

4.4 기초부의 회전강성에 대한 고찰

Guyed tower의 기초는 설치의 용이성 때문에 pile에 의한 기초가 주로 고려되고 있는데 tower의 기초부에서의 회전강성은 pile의 갯수나 배치상태에 따라 변하게 된다. 본 연구에서는 pile 기초의 표준 회전강성을 8.0×10^6 kips·ft/rad로 택했는데 이는 직경 54in의 pile 8개가 tower

의 중심부에 원형으로 모아 설치된 Lena tower의 기초부에서의 회전강성이다. 그림 5는 여러 회전강성값에 따른 tower의 거동을 비교한 것인데, 기초부의 회전강성을 무시한 경우(활절조건) 제 1 고유진동주기는 23.1sec로서 표준 모델과 거의 유사했고, deck의 변위는 표준 모델에 비해 약 10% 증가하였으나 그 진폭이나 최대 휨모멘트는 별로 변화가 없음을 보여주었다.

Pile 기초의 회전강성을 10배로 증가시켰을 때 deck의 변위는 20% 감소하나 그 진폭은 25% 증가하였으며 최대 휨모멘트는 tower의 기초부에서 약 160% 더 증가되어 구조적으로 바람직하지 못함을 알 수 있었다. 기초부의 회전변위를 고정시켰을 때 제 1 고유진동주기는 11.8 sec로 설계파의 주기(13 sec)와 근사하게 접하고 있어 동력학적으로 불합리한 거동이 예상되는 바, deck 운동의 진폭은 제 1 고유진동주기 전후에서 급격히 증가되어 설계파에 대해서 표준모델의 경우보다 약 150% 더 증가되었으며 또한 tower의 기초부에서 발생하는 최대 휨모멘트는 작은 해상상태에서도 매우 큰 값을 나타내었다. 위의 해석결과로부터 기초부의 회전을 크게 제한할수록 구조물의 거동이 점점 불리하게 나타나므로 기초조건은 활절조건에 가깝게 설계함이 타당함을 알 수 있다.

5. 결 론

1) Guyed tower와 같은 compliant structure를 해석할 때는 파랑하중은 물입자의 구조물에

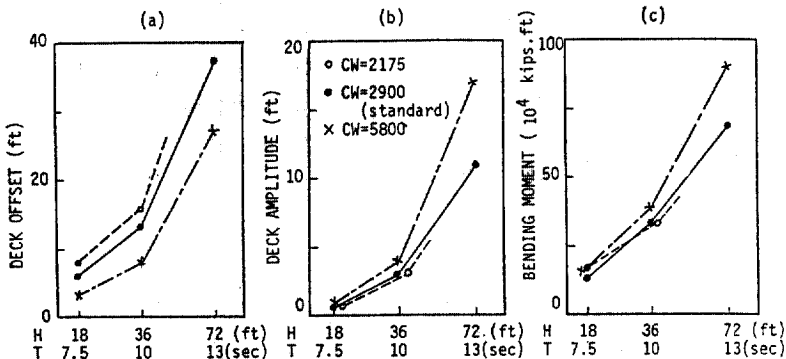


그림 4. Sensitivity study on stiffness of guying system (CW=clumpweight in lb/ft, H=wave height, T=wave period)

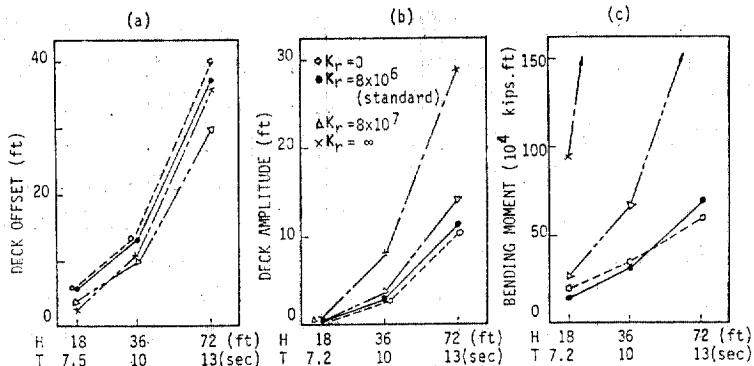


그림 5. Sensitivity study on rotational stiffness of pile foundation (K_p =rotational stiffness in kips-ft/rad)

대한 상대속도를 사용해야 하고 아울러 동력학적 해석을 수행하여야 타당한 결과를 얻을 수 있다.

2) 선형화한 구조계의 자유진동 모우드를 이용한 모우드 중첩법은 guyed tower와 같이 비선형성이 큰 구조물의 해석에도 합리적인 방법이다.

3) Guying system의 강성은 정적으로는 풍력, 조력등의 정적 외력을 지지할 수 있도록 충분히 강하여야 하나, 동적으로는 구조물의 기본진동주기가 파동력의 주기의 범위를 훨씬 초과하는 compliant 구조계를 이루도록 적절히 유연해야하므로 최적화기법을 통하여 강성을 설정하는 것이 요망된다.

4) Tower의 기초부는 될수록 활절경계 조건에 가깝게 설계하는 것이 유리하며 tower의 중심부에 조밀히 배치한 원형 group pile 기초는 이러한 활절조건에 근사한 결과를 준다.

참 고 문 헌

1. L.D. Finn, "A New Deep Water Offshore Platform-The Guyed Tower", OTC 2688, 1976.

2. A. Mangiavacchi and P.A. Abbott, "Design Criteria of A Pile Founded Guyed Tower", OTC 3882, 1980.

3. A.K. Basu and A. Dutta, "Dynamic Behavior of Guyed Towers", BOSS, Vol. 1, 1982.

4. E. Smith, et al., "Nonlinear Stochastic Analysis of Compliant Platforms", OTC 3801, 1980.

5. M.S. Glasscock, and J.W. Turner, "Design of the Lena Guyed Tower", OTC 4650, 1984.

6. Morison, J.R. et al., "The Forces Exerted by Surface Wave on Piles", AIME Vol. 189, 1950.

7. M. Shinozuka, C. Yun and R. Vaicaitis, "Dynamic Analysis of Offshore Structures Subjected to Wind Generated Waves", J. of Structural Mechanics, 1977.

8. 한남수, 윤정방, 해저자원개발을 위한 Riser의 동력학적 연구, 대한토목학회논문집, 4권 2호, 1984.

9. 윤정방, 최정호, 류정수, "불규칙파에 대한 고정해양구조물의 동적해석" 대한토목학회논문집, 5권 2호, 1985.

10. Sarpkaya, Isaacson, "Mechanics of Wave forces on Offshore Structures", Van Nostrand Reinhold, 1981.

(接受: 1985. 10. 18)