
 論 文

大韓造船學會誌
 第24卷 第2號 1987年 6月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 24, No. 2, June 1987

Guyed Tower의 신뢰성 해석

河 太 凡* · 崔 恒 洵**

A Reliability Analysis of a Guyed Tower

by

Tae B. Ha* · Hang S. Choi**

Abstract

As offshore activities move into deeper ocean, conventional fixed-base platforms drastically increase in size and cost. One of alternatives available is a guyed tower, in which environmental loads are supported by guylines instead of structural members. The guying system of the guyed tower is designed on one hand to be stiff enough to limit the structural displacement in normal operations, but on the other hand to be soft enough to permit large slow sways during the presence of design-level storms. This compliancy provides an efficient means of withstanding harsh environment so that the disproportionate increase in size of deep water platforms can be kept to a rational limit. Novel configurations contain always some degrees of potential risks mainly due to the lack of experience. The most critical hazard inherent to a guyed tower may be the pullout of anchor piles. Once it happens, the guyline fails to function and it may eventually lead to the total collapse of the system. It is the aim of this paper to discuss and quantify the anchor-pullout risk of a guyed tower. A stochastic analysis is made for evaluating the first-upcrossing probability of the tension acting on anchor piles over the uplift capacity. Nonlinearities involved in the mooring stiffness and hydrodynamics are taken into account by using time-domain analysis. A simplified two dimensional dynamic model is developed to exemplify the underlying concept. Real hurricane data in the Gulf of Mexico spanning over 70 years are incorporated in a numerical example of which result clearly indicates highly potential risk of anchor pullout.

1. 서 론

해저유전 개발에 투입되는 해양구조물의 설계에는 육상의 구조물보다 더 많은 기술적 난제를 안고 있으

며 이를 타개하기 위한 기술 개발이 항상 요구된다. 해양구조물의 설계에 영향을 미치는 여러 요소들 중에서 가장 중요한 설계인자는 수심이다. 수심이 얇은 곳에서는 구조물이 해저면에 직접 닿아 있는 고정식 구조물을 주로 사용하고, 수심이 깊은 곳에서는 부유식

本 論文은 大韓造船學會 1987春季研究發表會에서 發表된 論文인
 接受日字: 1987年 5月 11日, 再接受日字: 1987年 6月 3日

* 學生會員, 서울大學校 大學院

** 正會員, 서울大學校 工科大學

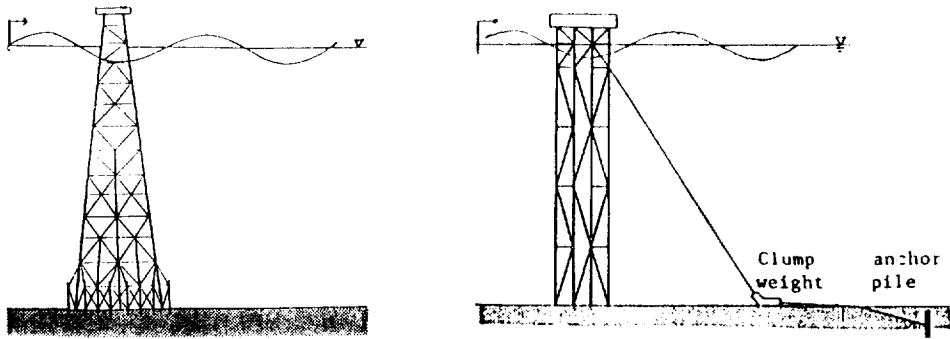


Fig. 1 Schematic illustrations of 2-D frame model of a fixed-base platform and a guyed tower

구조물을 주로 사용하게 된다. 고정식 구조물을 설치할 수 있는 해양에서 수심이 깊어질수록 구조물의 크기가 급격히 증가하고, 따라서 제작비와 설치비 및 유지비가 비싸게 된다. 이러한 이유에서 비교적 깊은 수심에서는 중전의 고정식 구조물과는 다른 새로운 해양 구조물의 개발이 요구된다.

새로이 고안된 해양구조물로 Tension Leg Platform과 Guyed Tower를 들 수 있다. 이 구조물들은 고정식 구조물과는 달리 풍력, 파랑하중등 외력에 유연한 구조물로서 외력을 주로 특수한 인장파이프나 계류삭으로 막아주는 방식이다. 이 두 구조물의 주요한 차이점은 Tension Leg Platform은 자중을 부력과 인장파이프로 지지하는 데에 반하여 Guyed Tower는 기초부분의 Pile이 받아들인다.

본 논문에서 논하고자 하는 대상 구조물인 Guyed Tower는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 구조물 자체는 철제 플랫폼과 유사하여 자중은 Pile에 의해서 지지된다. 그러나 바람과 파랑 및 조류등 외력은 구조물과 해저면을 연결하는 20여개의 Guyline에 의해서 지지되는 방식이다. 이 구조물은 처음에 시험적으로 300ft 수심의 멕시코 만에 설치하여 (Finn and Young, 1978) 성능을 평가하고 경험을 축적한 후 실물의 Guyed Tower를 1983년에 멕시코만 Lena지역 1,000ft 수심에 설치하였다(Boening and Howell, 1984). 이 지역의 비슷한 수심에 세워졌던 고정식 구조물인 Cognac

(Sterling et al., 1979)과 증량 및 기초너비를 비교하면 Guyed Tower가 상당히 발전된 해양구조물이라는 사실을 바로 알 수 있다(Table 1 참조).

해양구조물의 설계초기에 고려해야 될 사항 중의 하나는 구조물의 고유 진동수이다. 동적 증폭 계수를 줄이기 위해서는 구조물의 고유 진동수가 구조물 설치 지역의 파스펙트럴중 파에너지가 밀집된 주파수 영역 밖에 있어야 한다. 이런 이유에서 중전의 고정식 구조물은 강성을 크게 해서 파에너지가 밀집된 주파수보다 더 높은 고유 진동수를 갖게 설계된다. 그러나 Guyed Tower는 이것과는 정반대로 이 조건을 만족한다. 즉, 이 구조물은 통상적으로 해양파의 주기 7~15초 보다 훨씬 긴 고유 진동 주기 25초를 갖도록 설계한다. 일반적으로 이 정도 크기의 고정식 구조물은 고유주기가 대략 4초 근처이다. Guyed Tower의 이러한 유연성은 고정식 구조물보다 훨씬 유연한 Pile 기초와 Guying System의 특별한 기능 때문이다.

Guyed Tower가 다른 고정식 구조물과 다른 가장 중요한 차이점은 Guying System이다. Guying System은 정상 해상 상태에서는 충분한 강성을 유지하여 구조물 수평 변위를 제한하고 설계수준의 폭풍같은 거친 해상 상태에서는 충분히 유연하여 어느 정도의 수평 변위를 허용하게 된다.

이러한 두가지 서로 다른 강성을 유지하기 위해서 설치된 장치가 Guyline과 Anchor Line 사이에 위치한 Articulated Clump Weight이다. 구조물의 작은 변위에서는 System의 강성을 유지하기 위해서 Clump Weight가 해저 바닥에서 점차적으로 들어어 Guyline에 큰 장력이 걸린다. 경사가 점점 증가함에 따라서 Clump Weight가 완전히 해저 바닥에서 부상하게 되던 Guying System의 강성이 약하게 되어 구조물의 횡방향 고유 주기가 증가하게 된다(Power et al., 1984).

Table 1 Comparison of the Lena Tower with the Cognac Platform

	Lena Tower	Cognac Platform
Base Section	120' × 120'	380' × 400'
Structural Weight*	42,000 tons	52,000 tons

* excluding facilities of drilling rigs

이러한 Guyed Tower의 장점에도 불구하고 아직 충분한 경험이 축적되지 않아 Guying System에 불확실한 요소들이 있다. 한가지 생각 할 수 있는 극한 경우는 Guyline에 큰 장력이 걸려서 이 장력이 Anchor Pile의 임계지지력을 넘어서면 Anchor Pile이 뽑히게 된다. 만일 이런 경우가 발생하게 되면 Guying System이 재기능을 발휘하지 못하는 것 뿐만 아니라, 궁극적으로 전체 구조물이 붕괴하게 된다.

본 논문에서는 이러한 위험성이 어느 정도인지를 신뢰성 해석을 통해서 고찰하고자 한다.

2. 신뢰성 해석

설계자들이 신뢰성 해석 기법의 원리와 중요성을 인식함에 따라 복잡한 공학 구조물에 이 방법을 적용하고자 하는 경향이 점점 더 늘어나고 있으며, 신급에서도 일부 이러한 해석법을 수용하게 되었다.

해양환경과 그에 따른 구조물의 응답등 확률적 특성에 비추어 볼 때 적절한 해양구조물의 신뢰성 모형을 개발함으로써 구조물의 설계가 보다 더 체계적이고 경제적으로 될 수 있다.

여기서는 확률적 모형을 간단히 하기 위해서 Anchor Pile에 작용하는 장력이 Anchor Pile의 지지력보다 커지는 First Passage Probability만을 고려하고자 한다. 구조물이 설계폭풍같은 불규칙파를 맞을 동안 계류사와 구조물 운동 사이의 상호작용을 고려해서 힘을 계산하고, 이것을 미선형 확률적 진동, 계류 동역학, First Passage 통계해석을 수행한다. 이에 관한 문헌으로는 Penzien and Liu (1969) 등을 예로 들 수 있다.

여기서는 해양구조물의 작업수명 동안 발생하는 폭풍의 숫자뿐만 아니라, 폭풍의 기간, 폭풍의 세기등도 포함해야 하므로 선계폭풍을 표시하기 위해 Filtered

Poisson Process (Parzen, 1962)를 적용한다. 폭풍의 발생과 영향함수 사이에 통계학적 독립성을 가정하면 사건(Event)은 다음의 형태로 표시된다(Fig. 2 참조).

$$W(t) = \sum_{n=1}^{N(t)} A_n(t) [H(t-t_n) - H(t-t_n-\tau_n)] \quad (1)$$

여기서 H 는 단위계단함수인 Heaviside Step Function을 표시한다. 시간 t 동안에 발생횟수 $N(t)$ 의 확률은 Poisson 분포함수로서 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$P_N(n, t; \mu) = \frac{(\mu t)^n e^{-\mu t}}{n!} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

여기서 μ 는 평균 발생율(Mean Occurrence Rate)을 말한다.

실제 상황에서 식 (1)에 주어진 모형에 사용할 파도의 자료는 매우 부족하다. 그러므로 영향함수(Influence Function)의 평균값을 취함으로 확률 모형을 간단히 할 수 있다.

$$E[A] = \bar{A} [H(t) - H(t-\bar{\tau})] \quad (3)$$

여기서 \bar{A} 와 $\bar{\tau}$ 는 각각 폭풍의 세기, 폭풍지속시간의 평균값을 뜻한다.

식 (3)은 폭풍발생의 통계적 특성이 발생 시간에 무관한 Stationary Process로 가정함을 의미한다.

폭풍의 평균세기는 폭풍의 평균 유의파고와 평균 폭풍지속시간으로 표시할 수 있다. Anchor Pile에 작용하는 장력이 지지력 F_p (Pullout Capacity)를 넘을 확률은 다음과 같다.

$$p_f \cong 1 - \exp \left\{ -2\nu \bar{v} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{F_p}{\sigma_F} \right)^2} \right\} \quad (4)$$

여기서 ν 는 단위시간당 Mean Upcrossing Frequency이고, σ_F 는 장력의 표준편차이다(Crandall, 1970).

끝으로 신뢰성은 신뢰성모형함수(Freudenthal et al., 1966)를 사용해서 계산할 수 있다.

$$L_T(t) = 1 - F_T(t) \cong \exp(-\mu t p_f) \quad (5)$$

여기서 F_T 는 붕괴확률이며 신뢰성의 여현이다.

3. 파랑 하중

해양구조물은 바람, 조류, 파랑 또는 특별한 지역에서는 유빙, 지진등의 여러가지 종류의 하중을 받는다. 이들 중에서 일반적으로 파랑하중이 가장 크며 구조물의 설계인자 선택에 있어서 중요한 역할을 한다. 파랑 하중 성분에는 여러가지 요소들이 서로 연성되어 있다. 파의 강제력뿐만 아니라 구조물의 응답에 의한 반력등도 포함해야 한다. 더 나아가서 이런 현상들은 확률적

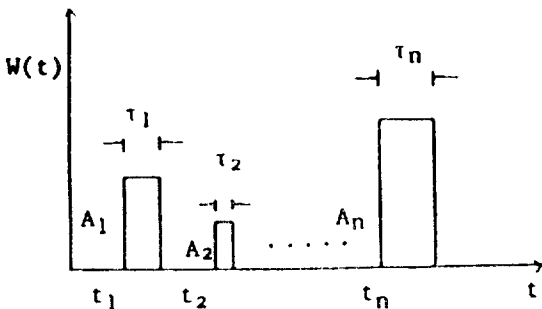


Fig. 2 Stochastic model of storms

해양환경에서 일어나므로 일반적인 문제의 정식화가 어렵게 된다. 그러나 이 논문에서는 Anchor Pile에서 계류삭의 극한응답을 평가하기 위해 수반되는 구조해석을 위한 중간 단계로서 파랑하중을 사용하게 된다.

Morisson 공식은 그것의 효율성에 관한 논란이 지속되고 있음에도 불구하고 간단한 표현 방식 때문에 설계자들이 해양구조물의 파랑하중을 산정하는데 보편적으로 사용하고 있다. 여기서는 문제를 간단히 하기 위하여 파랑하중의 산정에서 통계적인 불확실성을 포함시키지 않으며 특정한 항력계수와 관성계수를 택하여 Morison 공식을 사용한다(Sarpkaya and Isaacson, 1981).

Guyed Tower의 고유주기는 대략 25초인데, 이 사실은 해상 파도 성분들 사이에 비선형 간섭의 중요성을 나타낸다. 비선형 간섭에 의해 나타나는 항이 2차항일지라도 성분 주파수의 차를 갖는 항은 Tower의 고유진동수에 근접해서 공진 현상등을 유발할 수 있다(Agnon et al., 1987). 이런 관점에서 파 계열의 구현은 특별한 의미를 지니고, 이를 위하여 불규칙파를 적용하는 것이 바람직하다. 불규칙파의 시간 기록은 특정 해상 상태의 스펙트럼 S_{ζ} 이 주어졌을 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\zeta(x, t) = \sqrt{2} \sum_{m=1}^M a_m \cos(k_m x - \omega_m t + \theta_m) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } a_m &= \sqrt{m_0(\omega_m) - m_0(\omega_{m-1})} \\ \omega_m &= (\omega_m + \omega_{m-1})/2 \\ m_0(\omega_m) &= \int_0^{\omega_m} S_{\zeta}(\omega) d\omega \\ \theta_m &= \text{phase angle uniformly distributed} \\ &\text{over } [0, 2\pi] \end{aligned}$$

Bogman(1969)은 a_m 을 모든 m 에 대해 일정하도록 취해 주면 모의화(Simulation)의 반복성이 줄어들 수 있다는 것을 증명하였다. 여기서 스펙트럼 S_{ζ} 는 간단한 ISSC 스펙트럼을 사용하였으며, 유의 파고 $H_{1/3}$ 와 평균주기 T_1 으로 표시된다.

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right) [m^2 \cdot \text{sec}] \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } A &= 173 H_{1/3}^2 / T_1^4 \\ B &= 691 / T_1^4 \end{aligned}$$

a_m 이 일정하도록 하면 ω_m 은 다음과 같다.

$$\omega_m = \left(\frac{-B}{\ln(4Bm_0/AN) + \ln(m-1)} \right)^{1/4} \quad (8)$$

$$(m=2, 3, \dots, M+1)$$

여기서 ω_m 은 수심 h 에 대한 선형 Dispersion Relation

을 만족한다.

이로부터 스펙트럼의 민적 m_0 을 해석적으로 얻을 수 있다.

동시에 유한 수심에서 유체 입자의 운동을 모의화(Simulation)하면 수평 속도와 가속도는 다음과 같다.

$$u(x, z, t) = \sqrt{2} \sum_{m=1}^M \bar{\omega}_m a_m \frac{\cosh k_m(z+h)}{\cosh k_m h} \cos(k_m x - \bar{\omega}_m t + \theta_m) \quad (9)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, z, t) = \sqrt{2} \sum_{m=1}^M \bar{\omega}_m^2 a_m \frac{\cosh k_m(z+h)}{\cosh k_m h} \sin(k_m x - \bar{\omega}_m t + \theta_m) \quad (10)$$

유사한 방식으로 입자 운동의 수직 속도와 수직 가속도도 표시할 수 있다.

마지막으로 적절한 항력계수와 관성계수들 선택해서 시간에 따른 파랑하중의 변화들 Morison 공식을 사용해서 계산한다.

4. 동적 응답

파에 대한 구조물의 응답을 조사하기 위해서 Fig. 1에 도시한 바와 같이 Guyed Tower를 골격 구조물로 모형화 한다.

구조물의 진동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (M + \underline{M}_A) \ddot{x} + (\underline{C} + \underline{C}_F) \dot{x} + (\underline{K} + \underline{K}_0) x \\ = F_w + F_{p-d} + \Delta F \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $\underline{\quad}$ 은 행렬양을 표시하고, $\underline{\quad}$ 은 벡터양을 표시한다.

위의 방정식에서 \underline{M}_A 는 주파수에 따라 변하는 부가 질량과 부가관성모우먼트이다. 그러나 실제 계산에서는 이변화를 고려하지 않고 주요 주파수에서 평균값을 취한 상수값을 쓴다. 구조물의 감쇠계수 \underline{C} 는 선형으로 간주하나 점성항력에 기인하는 감쇠계수 \underline{C}_F 는 다음과 같이 표시되는 비선형이다.

$$\frac{1}{2} \rho C_D S (2u - \dot{x}) \dot{x} \text{sign}(u - \dot{x}) \quad (12)$$

여기서 ρ 는 해수의 밀도, C_D 는 점성항력계수 그리고 S 는 요소부재의 투영면적을 뜻한다.

일반적으로 \underline{C}_F 가 \underline{C} 보다 크므로 다른 비선형항과 함께 이 비선형항을 고려하기 위해서 주파수 영역 해석보다 시간 영역 해석을 사용하게 된다. \underline{K}_0 는 초기의 선형적인 계류삭 강성을 의미하고, 선형 범위를 벗어난 때 시간에서 구조물 변위를 고려하여 등가 부가 하중 ΔF 로 처리한다. F_w 는 파도, 바람, 조류에 기인하는 비선형 환경하중이다. 방정식의 오른쪽 마지막 항

Guyed Tower의 신뢰성 해석

은 p - Δ 효과에 기인하는 하중을 표시한다.

시간 영역에서의 해석을 효과적으로 수행하기 위해서 먼저 절절 민위를 일반 좌표계로 치환한다.

$$\mathbf{x}(t) = \phi \mathbf{q}(t) \tag{13}$$

여기서 치환행렬을 Orthonormalized Eigenvectors로 선택하면 방정식 (11)은 매우 간단한 Modal Generalized Displacement의 평형방정식으로 나타난다.

$$\ddot{q}_n(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n(t) + \sum_{m=1}^N C_{nm} \dot{q}_m(t) + \omega_n^2 q_n(t) = F_n^* \tag{14}$$

($n=1, 2, \dots, N$)

여기서 감쇠력 ζ_n 은 Modal Damping을 그리고 F_n^* 은 $\phi^T(F_w + F_{p-\Delta} + \Delta F)$ 의 n 번째 성분을 의미한다.

점성에 기인하는 감쇠력은 비선형이므로 행렬 $C = \phi^T C_F \phi$ 는 일반적으로 Diagonalize 되지 않는다. 따라서 Modal Displacement 사이에 연성을 일으킨다. 연성된 선형 방정식을 수치적으로 풀기 위해서 시간 적분 기법을 사용한다. 메시각에서의 적분은 연성된 항과 수치적분법의 Implicitness 때문에 수차반복계산을 해야 한다. 이것을 구하는 데는 여러가지 Algorithm을 이용할 수 있다(Clough and Penzien, 1975).

Guyed Tower의 고유주파수는 1차와 고차 사이에 상당한 값의 차이가 있다. 구조물의 고차 진동은 Guyline에 작은 진폭의 빠른 진동을 유발시키므로 Anchor Pile에는 거의 영향을 주지 않는다. 그러나 1차 진동은 Guyline에 변위가 큰 진동을 유발시키므로 Anchor Pile에 큰 장력을 발생케 한다. 이런 맥락에서 보면 계류삭의 동요는 현수선(Catenary) 방정식의 Quasi-static해로 취급할 수 있다. 실질적인 계류삭 장성은 전시간 단계의 구조물 변위를 이용하여 각 메시각에서 효과적으로 고려할 수 있다. 마지막으로 집지점에서 장력을 계산한다. 이 값을 해저 바닥과의 마찰을 고려해서 Anchor Pile에 작용하는 힘으로 바꾸고, 평균치 및 표준편차 그리고 평균 주기같은 통계적인 변수를 계산한다. 이 결과를 식(4), (5)에 대입하여 신뢰성 해석을 수행한다.

5. 계산예

이상에서 설명한 과정을 Fig. 1에서 처럼 1,000ft 수심에 설치된 2차원 물적 구조물에 적용하였다. 이 구조물은 32개의 절절을 가지며 각 2개의 인접한 절절을 보 요소로 연결하고, 구조물에 부착된 Guyline의 장성은 부가적으로 2개의 보로 표시하였다. 따라서 총 보의 갯수는 59이다.

유한 요소 계산 프로그램(Bathe et al., 1974)을 사

Table 2 Specifications of the mooring system

	length	unit weight (in water)	note
guyline	3,400ft	0.049 kips/ft	$E_A = 412,335$ kips
clump weight	120ft	3.051 kips/ft	
anchor pile	115ft	132.3 kips*	$F_p = 1,500$ kips

* total weight in air

용해서 고유치 문제를 풀었고, 고유 주기의 결과는 1차 22.8초, 2차 3.8초, 3차 2.2초, 4차 1.9초와 같다 처음 4개의 진동 모오드만을 구조물 동역학 계산에 사용하였다.

Guying System은 Guyline, Clump Weight, Anchor Pile 세가지 부분으로 구성되어 있다(Glasscock et al., 1984).

Anchor Pile지저력은 Pile의 Ultimate Uplift Capacity (Meyehof, 1973)에 대한 공식을 사용해서 추정하였다. 탄성 현수선(Elastic Catenary) 해석으로부터 구조물 변위와 Guyline에서 발생한 장력 사이의 관계를 얻는다. 초기 평형 상태에서 Guyline에 매달려 있는 계류삭 길이는 2,145ft이다. 이는 초기에 Clump weight의 1/3이 해저 바닥에서 들려져 있다는 것을 의미한다.

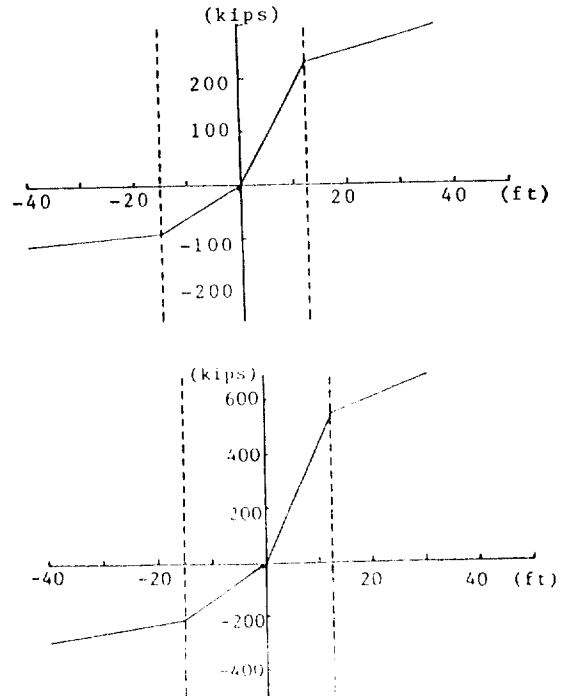


Fig. 3 Vertical and horizontal components of guyline tension

Table 3 Hurricane wave data (1900~1969)

Date	Year	$H_{1/3max}$ (ft)
Sep. 27	1906	42
Sep. 29	1915	40
Aug. 16	1915	39
Aug. 18	1916	40
Aug. 6	1918	39
Aug. 13	1932	46
Sep. 5	1933	38
Aug. 30	1942	41
Jun. 27	1957	41
Sep. 10	1965	46
Aug. 17	1969	44

계류사의 강성은 구조물 변위의 4가지 영역에서 서로 다른 값을 보이고 있다. 각 구간에서의 계류사 강성은 Fig. 3에 제시한 바와 같이 직선으로 근사시켰다.

수치 계산에서 ISSC 스펙트럼의 주파수 영역은 $\omega_{max} = \pi$ 까지로 하고 100개의 주파수로 분할한다. 한편 1900년 부터 1969년까지 멕시코만을 지나간 Hurricane의 최대 유의파고에 대한 자료는 Table 3과 같다(R.G. Bea, 1974).

그러므로 파의 계열은 15초 Peak 주기를 가지고 41ft 유의파고를 갖도록 모의화(Simulate)한다. 이런 폭풍이 설계수명 20년 동안 한 지역에 평균 0.16번 발생하고, 2.5시간 지속한다고 가정한다(P.J. Duning, 1971). 동시에 90mph 풍속이 가해지고, 100년 반복주기를 가진 조류가 Wave Filed에 합쳐진다고 가정한다. 조류 성분은 전 수심에서 0.9 Knots의 일정한 속도를 가지고, 바람에 인한 성분은 파의 표면에서 1.7Knots, 200ft 수심에서 0 Knots가 되도록 선형적으로 감소한다고 가정한다. 항력계수와 관성계수는 모든 구조물 요소에 각각 1.0, 2.0으로 택하였다. $\alpha=0.25$, $\delta=0.5$, $\Delta t=0.1$ sec로 정하여 Newmark 적분 방법을 사용한다. 계산 초기에 나타나는 수치 천이 운동을 제어하기 위하여 hyperbolic 함수를 필터로 사용하였다.

Fig. 4는 파고와 Deck의 수평 변위 거기에 따른 Anchor Pile에 걸리는 Guyline 장력의 시간 기록을 보여준다. 수치 계산 예에서 Pullout Force의 평균과 표준편차는 각각 758Kips, 295Kips이고 평균 주파수는 3.0/min임을 보여준다. 이에 따라 Anchor Pile의 뽑힘 확률은 0.9567이고 신뢰성은 단지 0.0433이다. 물론 이 숫자는 구조물 및 Guying System을 2차원화시킨 결과이므로 실제보다 낮은 신뢰성을 의미할 것이다, 무

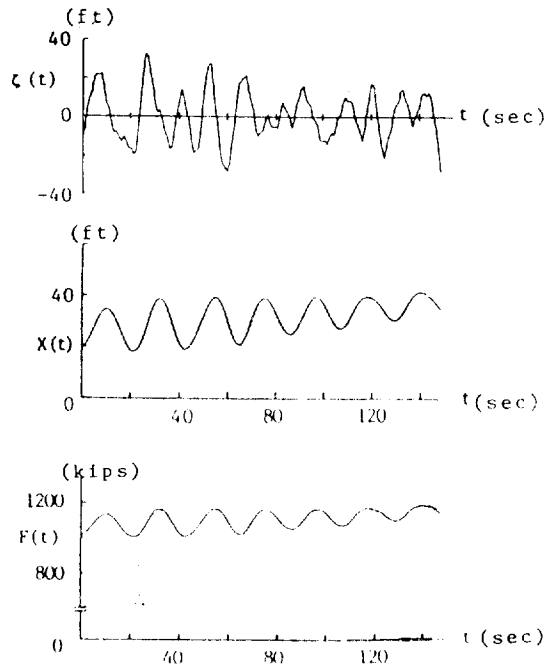


Fig. 4 Critical phase of surface elevation, deck offset and guylines tension at anchor pile

엇보다 중요한 것은 Anchor Pile이 뽑힐 확률이 안전 설계로 간주하기에는 매우 높다는 사실이다.

9. 결 론

이 간단한 신뢰성 해석은 Guyed Tower의 Anchor Pile이 뽑힐 수 있는 확률이 매우 높음을 보이고 있다.

Articulated Clump Weight는 깊은 바다에서 거친 해상조건을 견디는데 매우 효과적인 장치이다. 이런 장점에도 불구하고 Anchor Pile이 뽑힐 수 있다는 위험이 크게 내포되어 있다. 계산 예의 결과를 생각할 때 Guyed Tower가 더 많이 채택되어 설치될 수 있기 위해서는 Anchor Pile의 설계 및 설치에 대한 좀 더 깊은 연구가 전제되어야 할 것이다.

이를 위하여는 3차원 모형을 채택하고 Anchor Pile 지지력을 확률변수로 간주하는 등 좀 더 정확한 확률 모형을 개발하여 연구를 수행하여야 한다.

References

[1] Agnon, Y., Choi, H.S. and Mei, C.C. (1987),

- Slow drift of a floating cylinder in narrow-banded beam seas, (to be published in *J. Fluid Mech.*)
- [2] Bathe, K.J., Wilson, E.L. and Peterson, F.E. (1974), "A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems", Report No. EERC 73-11, Univ. of California, Berkeley.
- [3] Bea, R.G. (1974), "Gulf of Mexico Hurricane wave heights", *Proc. 6th OTC*, Paper 2110, Houston.
- [4] Boening, D.E. and Howell, E.R. (1984), "Lena guyed tower project overview", *Proc. 16th OTC*, Paper 4649, Houston.
- [5] Borgman, L.E. (1969), "Ocean wave simulation for engineering design", *J. Waterways and Harbors Div.*, Proc. ASCE.
- [6] Clough, R.W. and Penzien, J. (1975), "Dynamics of Structures", McGraw-Hill.
- [7] Crandall, S.H. (1970), "First-crossing probabilities of the linear oscillator", *J. Sound and Vib.*, Vol. 12.
- [8] Durning, P.J. (1971), "Prediction of maximum wave height from historical data", *Proc. 3rd OTC*, Paper 1343, Houston.
- [9] Finn, L.D. and Young, K.E. (1978), "Field test of a guyed tower", *Proc. 10th OTC*, Paper 3131, Houston.
- [10] Freudenthal, A.M., Garrelts, J.M. and Shinzuka, M. (1966), "The analysis of structural safety", *J. Structural Div.*, Proc. ASCE.
- [11] Glasscock, M.S., Turner, J.W., Finn, L.D. and Pike, P.J. (1984), "Design of the Lena guyed tower", *Proc. 16th OTC*, Paper 4650, Houston.
- [12] Meyerhof, G.G. (1973), "Uplift resistance of inclined anchors and piles", *Proc. 8th Intern. Conf. Soil Mech. & Foundation Eng.*
- [13] Parzen, E. (1962), "Stochastic Processes", Holden-Day, Inc.
- [14] Penzien, J. and Liu, S.C. (1969), "Nondeterministic analysis of non-linear structures subjected to earthquake excitations", *Proc. 4th World Conf. Earthquake Eng.*
- [15] Power, L.D., Hayes, D.A. and Brown, C.P. (1984), "Design of guylines for the Lena guyed tower", Energy Sources Tech. Conf.
- [16] Sarpkaya, T. and Isaacson, M. (1981), *Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures*, Van Nostrand Reinhold Co.
- [17] Sterling, G.H., Cox, B.E. and Warrington, R.M. (1979), "Design of the Cognac platform for 1025 feet of water, Gulf of Mexico", *Proc. 11th OTC*, Paper 3494, Houston.