

인장계류식 해양구조물의 동적응답 특성

Dynamic Response Characteristics of Tension Leg Platforms in Waves

이 창 호 · 손 영 길

C. H. Lee and Y. K. Son

Key Words : Tension Leg Platforms(인장계류식 해양구조물), Motion Response(운동응답), 3-D Source Distribution Method(3차원 특이점 분포법), Hydrodynamic Interaction(유체역학적 상호간섭), Structural Response(구조응답)

Abstract : The dynamic response characteristics of Tension Leg Platforms(TLPs) in waves are examined for presenting the basic data for design of TLPs. The numerical approach is based on a combination of the three dimensional source distribution method and the dynamic response analysis method, in which the superstructure of TLP is assumed to be flexible instead of rigid. Restoring forces by hydrostatic pressure on the submerged surface of a TLP have been accurately calculated by excluding the assumption of the slender body theory. The hydrodynamic interactions among TLP members, such as columns and pontoons, and the structural damping are included in the motion and structural analysis. Numerical results are compared with the experimental ones, which are obtained in the literature, concerning the motion and tension responses of a TLP in waves. The results of comparison confirmed the validity of the proposed approach.

1. 서 론

최근의 해양개발은 심해로 관심을 돌리고 있으며, 21세기의 새로운 해저자원 개발은 대부분 500m 이상의 심해에서 이루어질 것으로 예상되며, 인장계류식 해양구조물(TLP)은 이러한 심해 해저자원의 시추 및 생산을 위한 대표적인 구조물이다¹⁾.

최근, 3차원 특이점 분포법^{2,3)}과 Yoshida등⁴⁾의 탄성응답 해석법을 결합하는 것에 의해 유체력의 정밀평가 및 구성부재간의 유체역학적 상호간섭을 고려할 수 있는 규칙과중에서의 인장계류식 해양구조물의 탄성응답 해석법이 Goo등^{5,8)}에 의해 개발되었다.

인장계류식 해양구조물의 경제적인 설계를 위해서는 동일 탑재능력에 대하여 중량의 감소화가 요구되며, 이에 대한 구조물의 강성이 감소하게 된다.

이러한 점을 감안하여 Lee등⁹⁾은 Yoshida등의 탄성응답 해석법을 이용하여 굽힘강성 변화에 따른 인장계류식 해양구조물의 동적응답 특성을 평가하였으

나, 이 해석법은 세장체 가정에 근거하기 때문에 유체력을 근사적으로 평가하고, 구성부재간의 유체역학적 상호간섭이 무시되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 Goo등⁷⁾에 의해 개발된 탄성응답 해석법을 이용하여 인장계류식 해양구조물의 실험모델에 대한 운동, 장력응답을 평가하여 실험치¹⁰⁾와 비교하였고, 실기모델에 대한 굽힘 강성 변화에 따른 동적응답 특성을 평가하였다.

2. 이론해석

2.1 기본가정

탄성 응답 해석법에 의해 TLP의 구조응답을 해석하기 위한 기본가정은 다음과 같다.

- (1) 상부구조는 3차원 골조 선형 탄성구조로 한다.
- (2) 입사파는 미소진폭의 규칙파로 하고, 유체는 비압축성, 비점성으로 하고, 유체의 운동은 비회전인 것으로 한다.
- (3) 각각의 평형위치에 대해 응답은 미소진폭의 조화진동으로 한다.

접수일 : 1998년 9월 15일
이창호 : 동명대학 조선과 겸임전임강사
손영길 : 동명대학 조선과 교수

(4) 자유표면은 모든 방향으로 무한히 펼쳐져 있는 것으로 하고, 수심이 유한인 경우에는 수심을 일정으로 한다.

(5) 계류부재에 작용하는 중력, 관성력, 유체력은 무시할 수 있고, 오직 축방향의 힘만이 계류력으로 상부구조에 작용한다.

(6) 모든 계류부재는 이완상태가 되지 않도록 충분한 초기 장력을 갖는다.

전체구조를 Fig. 1과 같이 요소로 분할하고, 각 요소는 그 역할에 따라 다음의 3종류로 분류한다.

- (1) 형상, 크기, 질량을 가지고, 외력을 받으며 강체로서 거동하는 외각요소 (hull element)
- (2) 상부구조의 계류점에 계류력을 작용시키는 계류요소 (mooring element)
- (3) 탄성체로서 외각요소의 절점이나 계류점을 연결하는 보요소 (beam element)

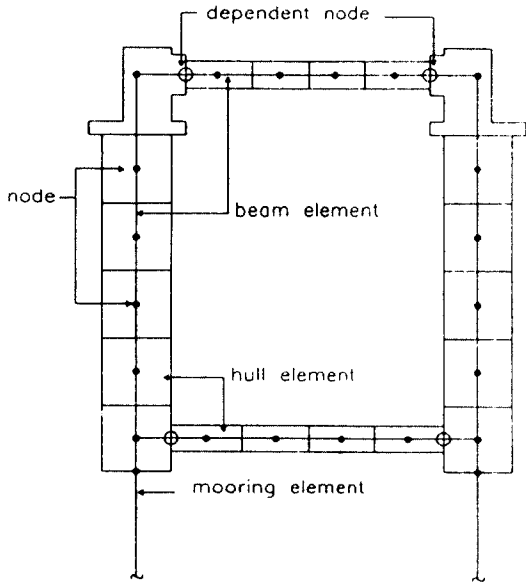


Fig. 1 Element subdivision of TLP

2.2 운동방정식

운동방정식의 정식화에 있어서 외각요소에 작용하는 힘과 계류력 및 보요소의 강성에 기인하는 절점력에 이룬 정식화는 참고문헌 7의 탄성응답 해석법을 적용하였다.

각 외각요소의 절점에서 평가된 힘과 모멘트는 변위, 속도, 가속도의 미지량을 포함하기 때문에, 구조 전체의 변위 벡터를 (U_w)라 하고, 각 절점에 작

용하는 힘과 모멘트를 더해줌으로서 구조 전체에 대한 다음과 같은 운동 방정식을 얻을 수 있다.

$$[M]\{\ddot{U}_w\} + ([N_w] + [N])\{\dot{U}_w\} + ([K_w] + [K])\{U_w\} = \{F_w'\}$$

여기서, $[M]$: 부가질량을 포함하는 질량 행렬
 $[N_w]$: 조파감쇠 행렬
 $[N]$: 구조감쇠 행렬
 $[K_w]$: 중력, 정수압 및 계류력에 의한 복원력 행렬
 $[K]$: 구조강성 행렬
 $\{F_w'\}$: 정적중력, 정적부력, 초기 장력, 과 강제력 벡터
 $\{U_w\} = \{\{U_t^1\} \{U_r^1\} \{U_t^2\} \{U_r^2\} \dots\}^T$
 : 구조전체의 변위 벡터

3. 수치계산 및 고찰

본 탄성응답 해석법에 의해 급힘강성 변화에 따른 인장계류식 해양구조물의 동적응답 특성을 평가하기 위해 먼저, 인장계류식 해양구조물의 실험모델에 대한 실험치¹⁰⁾와 본 계산법에 의한 계산치를 비교하였다. 실험모델의 주요목은 Table 1에 나타나고 있다.

Table 1 Particulars of the tension leg platform as numerical and experimental model

	Numerical Model	Experimental Model
Length	72 cm	72 cm
Breadth	72 cm	72 cm
Hight	59 cm	59 cm
Draft	30 cm	30 cm
Center of gravity above base	36.28 cm	35.0 cm
Transverse radius of gyration	36.23 cm	35.1 cm
Weight	27.7 Kg _f	28.9 Kg _f
Pretension	11.7 Kg _f	10.5 Kg _f
Displacement	39.4 Kg _f	39.4 Kg _f

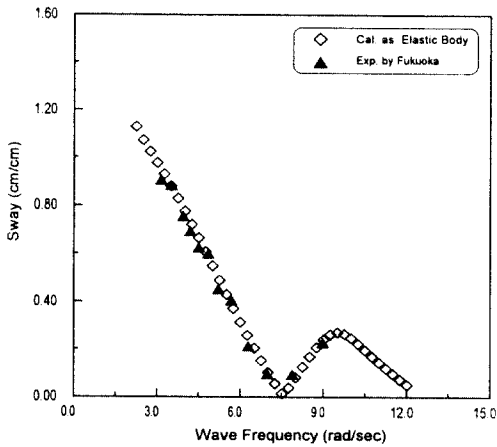


Fig. 2 Sway responses of TLP

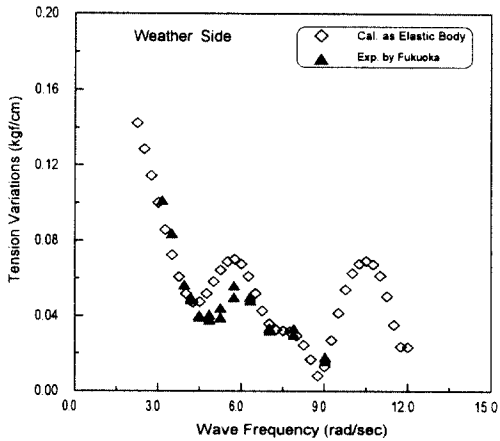


Fig. 3 Tension variations on weather side

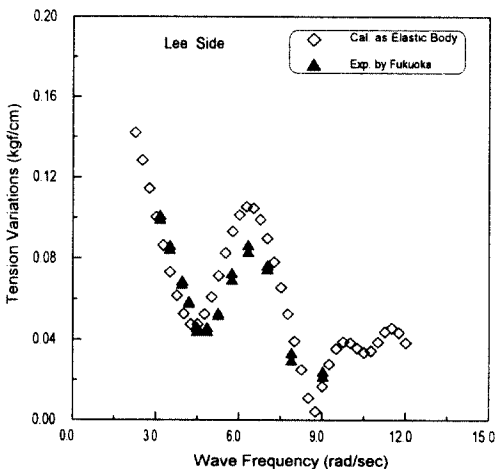


Fig. 4 Tension variations on lee side

Fig. 2 ~ Fig. 4는 TLP의 실험모델에 대한 Sway 운동과 파상측(weather side) 및 파하측(lee side)의 장력응답에 대한 실험치와 계산치를 비교한 것으로 Sway운동 응답은 실험치와 거의 일치하고 있으며,

Table 2 Particulars of the tension leg platform as actual model for calculation

Length	72 cm
Breadth	72 cm
Hight	59 cm
Draft	30 cm
Center of gravity above base	36.28 cm
Transverse radius of gyration	36.23 cm
Weight	28.4 Kg _f
Pretension	11.0 Kg _f
Displacement	39.4 Kg _f

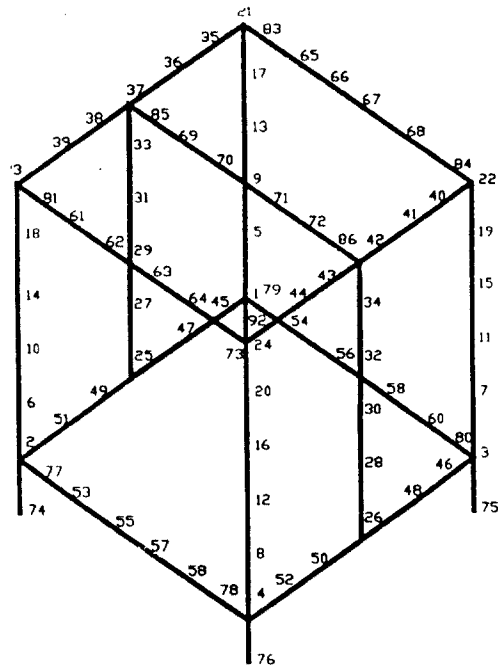


Fig. 5 Node number of 3-D frame structure for the tension leg platform

장력응답 peak치 부근에서 다소 차이는 나지만, 전체적인 경향은 잘 일치함을 알 수 있으며, 본 계산방법의 타당성을 검증하였다.

TLP의 동적응답 특성을 평가하기 위한 실기(實機)의 계산모델의 주요목은 Table 2와 같으며, Fig. 5는 실기모델의 보요소로 이루어진 골조구조의 요소 분할도이고, 표기된 번호는 절점번호를 나타낸다.

구조물을 탄성체로서 실기 상당의 강성을 가지는 경우 ($S = 1.0$)와 횡방향 부재의 굽힘강성을 $S = 0.5$, $S = 0.1$ 및 $S = 2.0$ 인 경우로 변화시킨 경우의 4종류에 대해 계산을 수행하였으며, 1 column당 tendon 의 스프링 상수는 5.9 Kg_f/cm 이고, 여기서,

$$S = \frac{\text{계산모델의 횡방향 부재의굽힘강성}}{\text{실기의 1/100 모델의 횡방향 부재의굽힘강성}}$$
이다.

Fig. 6 ~ Fig. 8은 각각 굽힘강성 변화에 따른 단위 파진폭에 대한 Sway 및 과상측과 과하측의 tendon의 변동장력 응답 특성을 나타내고 있다. 계산결과는 수심 5m, 파 입사각이 90°에 대한 것이며, 큰점선은 S = 1.0, 일점쇄선은 S = 0.5, 작은점선은 S = 0.1인 경우의 계산결과이며, 실선은 S = 2.0인 경우의 계산결과이다. Sway 응답 및 변동장력 응답에서는 굽힘강성의 변화에 따른 응답의 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 9 ~ Fig. 14는 굽힘강성 변화에 따른 동적 구조응답 특성의 계산결과를 나타내고 있다. 힘은 $\rho g \zeta_a \Delta^{2/3} = 1.16 \text{ Kg}_f$, 모멘트는 $\rho g \zeta_a \Delta = 0.394 \text{ Kg}_f \cdot \text{m}$ 로서 무차원화 시킨 것이다.

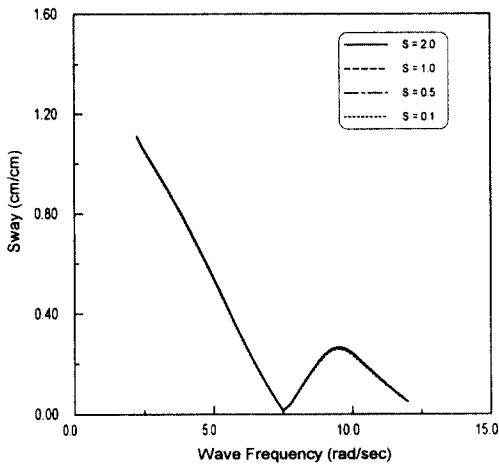


Fig. 6 Sway response variations

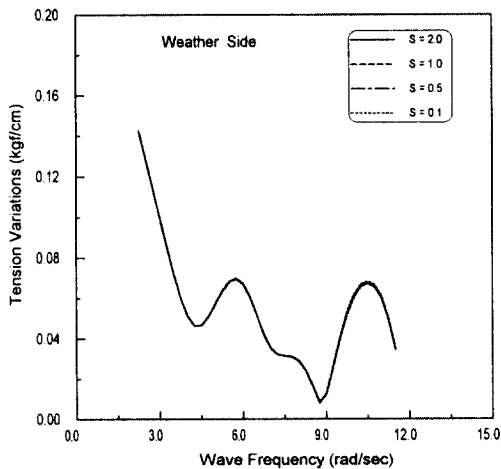


Fig. 7 Tension response variations on weather side

Fig. 9, Fig. 10은 횡방향 deck girder(절점번호 62와 63 사이의 보요소) 및 lower hull(절점번호 55와 57 사이의 보요소)의 축력응답 특성을 나타내고 있

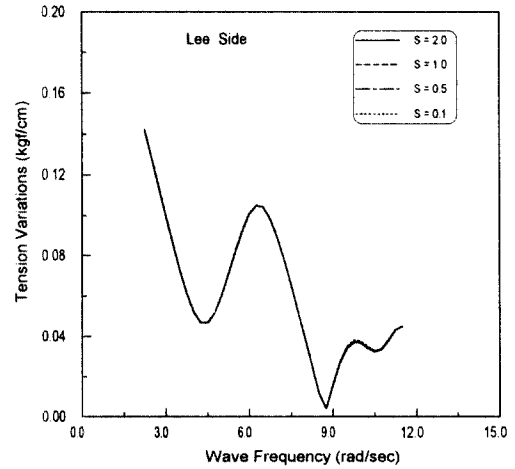


Fig. 8 Tension response variations on lee side

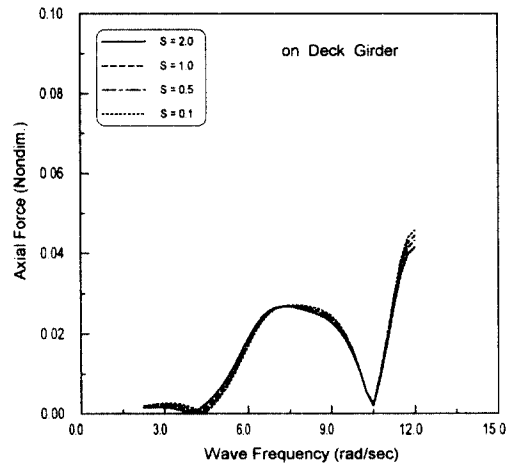


Fig. 9 Axial force variations on deck girder

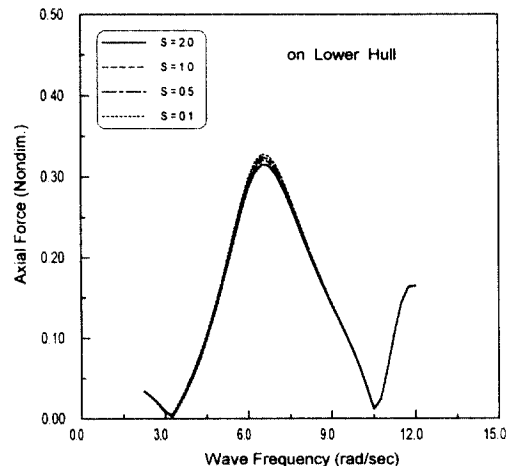


Fig. 10 Axial force variations on lower hull

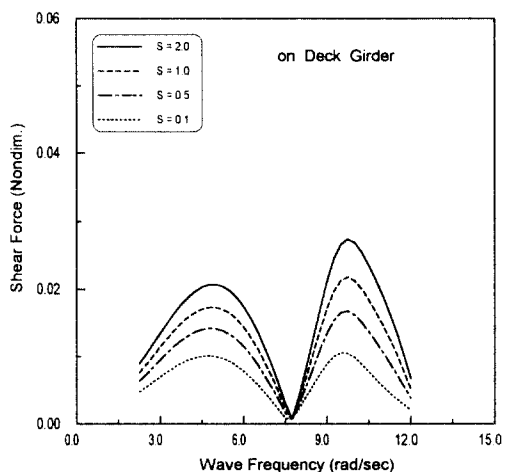


Fig. 11 Shear force variations on deck girder

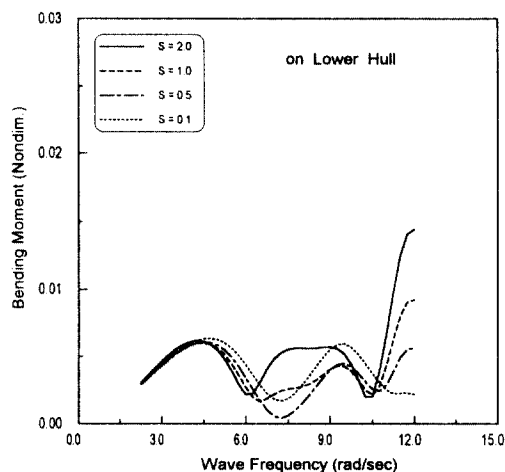


Fig. 14 Bending moment variations on lower hull

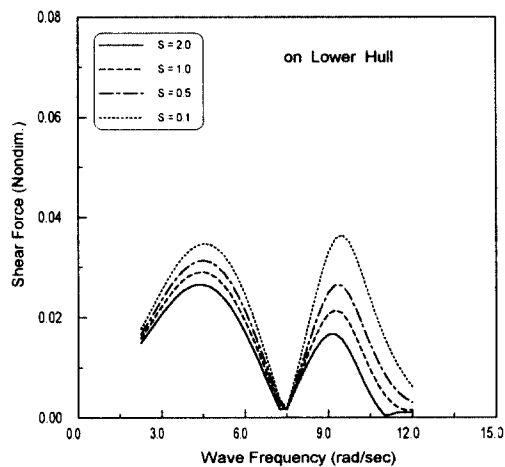


Fig. 12 Shear force variations on lower hull

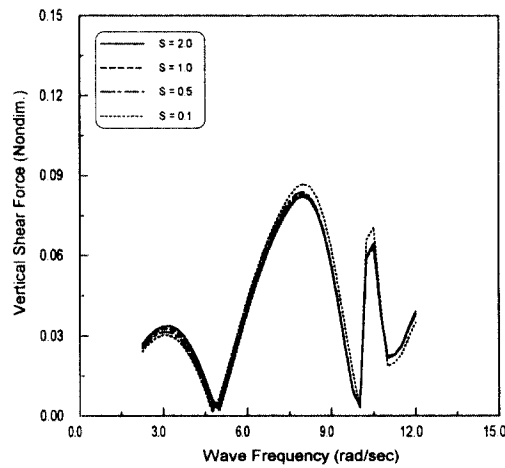


Fig. 15 Total shear force variations on TLP

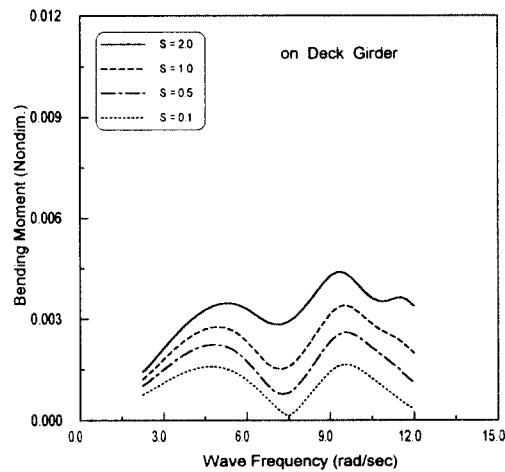


Fig. 13 Bending moment variations on deck girder

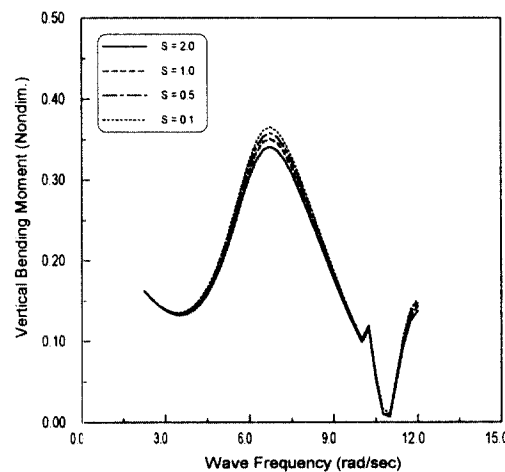


Fig. 16 Total bending moment variations on TLP

으며, peak치 부근에서만 굽힘강성 변화의 영향이 약간 나타났으며, 그 외는 응답의 변화가 거의 없다.

Fig. 11, Fig. 12는 횡방향 deck girder 및 lower hull의 전단력 응답 특성을 나타내고 있다. 굽힘강성 S 의 변화에 따른 영향이 전체 영역에서 현저한 차이를 보이고 있으며, deck girder와 lower hull의 굽힘강성의 영향에 의한 응답특성의 경향이 서로 반대로 나타났다.

Fig. 13, Fig. 14는 횡방향 deck girder 및 lower hull의 굽힘 모멘트 응답 특성을 나타내고 있다. 굽힘강성 S 의 변화에 따른 영향이 전체 영역에서 현저한 차이를 보이고 있으며, lower hull의 굽힘 모멘트는 굽힘강성의 변화에 따른 영향이 각각 다른 경향을 보이고 있다.

Fig. 15와 Fig. 16은 전체구조에 작용하는 수직 전단력 및 수직 굽힘모멘트의 응답 특성을 나타내고 있으며, 수직 전단력 응답은 $S=0.1$ 인 경우만 약간의 차이를 보이고, 수직 굽힘모멘트의 응답은 peak치 부근에서만 굽힘강성 변화의 영향이 약간 나타났으며, 그외는 응답의 변화가 거의 없다.

4. 결 론

본 논문에서 취급한 계산모델 및 계산조건하에서 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

- 1) 인장계류식 해양구조물의 운동응답 및 장력응답에서는 굽힘강성 변화에 따른 영향이 거의 나타나지 않는다.
- 2) 전체구조에 작용하는 전단력 및 굽힘 모멘트 응답에서는 굽힘강성 변화에 따른 영향이 응답의 peak치 부근에서 다소 나타났으며, 그 외에는 거의 영향을 미치지 않는다.
- 3) 부재의 축력응답에서는 응답의 peak치 부근에서만 굽힘강성 변화의 영향이 약간 나타났지만, 부재의 전단력 및 굽힘모멘트 응답은 굽힘강성의 변화에 따른 영향으로 현저한 차이를 보이고 있으며, 요소 부재의 설계시에는 반드시 굽힘강성의 영향이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. J. A. Mercier et al, "Tension Leg Platforms -Progress and Prospects", SNAME Transactions 99, pp. 249~279, 1991
2. O. M. Faltinsen and F. C. Michelsen, "Motion

- of Large Structures in Waves at Zero Froude Number", International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, pp. 91~106, 1974
3. C. J. Garrison and V. S. Rao, "Interaction of Waves in Submerged Objects", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, ASCE, Vol. 97, pp. 259~277, 1971
4. 吉田宏一郎, 尾崎雅彦, 岡 德昭, "緊張繫留プラットフォームの構造應答特性", 日本造船學會論文集, 第152號, pp. 329~335, 1983
5. 구자삼, 이창호, 홍봉기, "인장계류식 해양구조물의 동적응답 해석법의 개발", 한국해양공학회지, 제7권 제1호, pp. 133~146, 1993
6. 구자삼, 김진하, 이창호, "인장계류식 해양구조물의 동적응답 해석(I)", 한국해양학회지, 제9권 제1호, pp. 161~172, 1995
7. 구자삼, 박찬후, 이창호, "인장계류식 해양구조물의 동적응답 해석(II)", 한국해양공학회지, 제10권 제1호, pp. 25~35, 1996
8. J. S. Goo et al, "A Dynamic Response Analysis of Tension Leg Platforms Including Hydrodynamic Interactions in Waves", Proceedings of the fourth Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, pp. 9~18, 1996
9. 이창호, 최찬문, 홍봉기, "굽힘강성 변화에 따른 인장계류식 해양구조물의 동적응답 특성", 한국어업기술학회지, 제32권 제2호, pp. 191~204, 1996
10. 福岡哲二, "JOIA-TLPの彈性應答計算", 三井造船昭島研究所, 1988