

# 인장각 플랫폼(Tension Leg Platform)에 대한 시간 영역 계산

박태현 · 조진욱  
 현대중공업(주) 선박해양연구소

## A Time Domain Calculation for the TLP(Tension Leg Platform)

Tae-Hyun Park, Jin-Wook Cho

Hyundai Heavy Industry Co. Ltd., Ulsan 682-792, Korea

**KEY WORDS:** TLP(Tension leg platform) 인장각 플랫폼, environmental condition 환경 조건, RAO, spectrum 스펙트럼, motion 운동, time domain calculation 시간 영역 계산, tendon 텐던, riser 라이저, air-gap 에어-갭

**ABSTRACT:** This report summarizes the results of global performance analysis of TLP(Tension Leg Platform) at in-place operation condition. The frequency and time domain analysis were performed to calculate the wave induced dynamic responses of TLP using the commercial 3-D diffraction program, MOSES. As results of the analysis, air-gap, excursion and tension on the tendons&risers were provided. For verifying, the existed numerical and experimental result were compared with the results of the present study.

### 1. 서 론

인장각 플랫폼(Tension Leg Platform)은 해상의 부유식 구조물을 강한 인장력으로 해저에 계류시킨 형태로서 다양한 깊이의 해양에서 적절한 플랫폼으로 인정되어 왔다. 본 연구는 당사에서 수주한 1000 미터 깊이의 해상에 설치될 인장각 플랫폼에 대해 설치 해상상태에서의 시간 영역 해석을 통하여 그 거동을 해석하였다. 수치 계산은 해상 구조물 해석에 널리 쓰이는 MOSES를 이용하여 수행했다. 인장각 플랫폼의 물에 잠기는 부분에 대한 유체력을 계산하기 위해 3차원 패널 방법을 적용하였고, 시간 전진법으로 뉴마크(newmark)법을 사용하였다. 수치 해석의 결과로 인장각 플랫폼의 움직임, 수면과 인장각 플랫폼 갑판 하면과의 거리, 텐던과 라이저에 걸리는 인장력이 조사되었다. 결과 검증은 위하여 본 연구에 선행한 MARIN(Maritime Research Institute in Netherlands)의 모형 실험결과[1], SEA engineering 사의 수치 계산 결과[2,3]와 비교하였다.

### 2. 수치해석 기법

#### 2.1 환경 조건

인장각 플랫폼이 설치될 해역에서의 실제 데이터[4]에 기초한 1년, 10년, 100년 주기의 파와 바람, 조류가 선정되었다. 해상은 JONSWAP 스펙트럼으로 가정하였으며, 환경조건에 따른 선수파(head sea) 한 방향에 대해서만 정리했다. 각 환경조건은 다음과 같다.

**Table 1** Specification of Environmental condition

Return period	100years	10years	1year
Significant wave height, $H_s$	3.0m	2.2m	1.7m
Peak spectral period, $T_p$	8.3sec	7.1sec	6.3sec
Spectrum type	JONSWAP	JONSWAP	JONSWAP
Peak enhancement, $\gamma$	2.5	2.5	2.5
Wind speed	21.2m/s	17.4m/s	14.7m/s
Surface current speed	1.31m/s	1.11m/s	0.94m/s
Direction	180°	180°	180°

계산된 풍하중의 크기는 다음과 같고, 기존의 해석결과와 비교를 위해 풍하중의 차이를 검토하였다.

**Table 2** Wind loads to TLP

	HMRI(당사)	SEA	Discrepancy
100 years	582.7KN	616KN	5.4%
10 years	389.5KN	415KN	6.4%
1 year	278.6KN	297KN	6.19%

조류에 의한 하중은 조류가 물의 깊이에 상관없이 일정한 값으로 가정하여 정의하여 고려하였다.

#### 2.2 인장각 플랫폼의 모델링

인장각 플랫폼에 걸리는 정하중 상태는 다음의 그림과 같다.

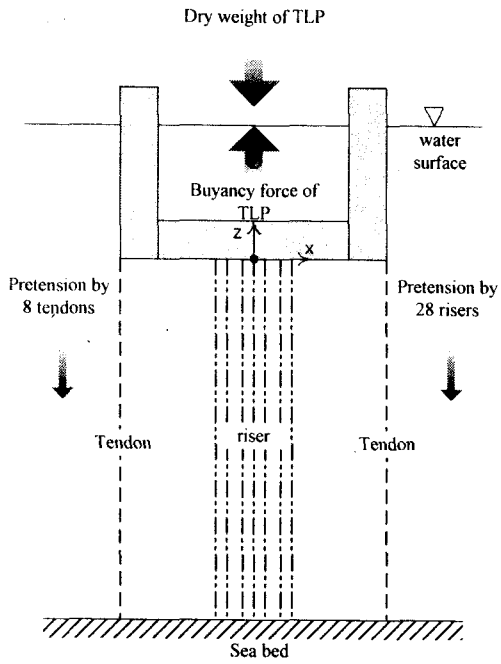


Figure 1 Schematic diagram of TLP

그림 1~2 에서처럼 텐던은 각 인장각 플랫폼 기중에 2개씩 총 8개이며, 라이저는 총 24개가 설치된다. TCG, LCG는 인장각 플랫폼의 중심에 위치하며 VCG는 인장각 플랫폼의 밑바닥에서 부터 20.7 m 상부에 위치한다. 텐던은 인장각 플랫폼을 해저바닥에 고정하는 역할을 하며, 외부 하중으로부터 인장각 플랫폼을 지지한다. 라이저는 해저면 에서부터 기름을 뽑아 올리는 기능을 하며 부가적으로 인장각 플랫폼을 지지하는 역할을 수행한다. 본 연구에서는 각각의 텐던과 라이저를 3차원 빔(Beam) 요소로 가정하였다. 따라서, 텐던과 라이저는 자중, 부력, 강도, 관성력을 가지며 이와 더불어 의한 유체역학적인 부가질량, 점성 저항등도 가지게 된다. 인장각 플랫폼의 선체는 3차원으로 모델링 되었으며, 유체역학적인 외력을 고려하기 위해서 패널 방법(panel method)을 적용하였다. 패널의 최대 크기는 1.5m를 넘지 않도록 하였으며, 전체 패널의 개수는 3688개이다.

2.3 수치 해석 방법

수치해석은 MOSES[5] 프로그램을 이용하였다. 유체에 의해 인장각 플랫폼에 걸리는 외력을 구하기 위해 3차원 패널 방법을 적용하였으며, 시간 영역에서의 계산을 위해 뉴마크(Newmark)법을 사용하였다.

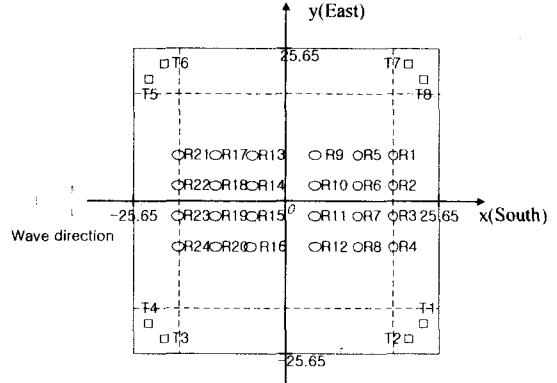


Figure 2 Positions of tendon and riser

3. 결과

3.1 RAOs

강한 인장력으로 계류되어 있는 인장각 플랫폼의 경우 그 고유 진동이 매우 낮은 주파수에서 발생한다. 다음의 RAOs 결과에서 그러한 거동을 확인할 수 있다.

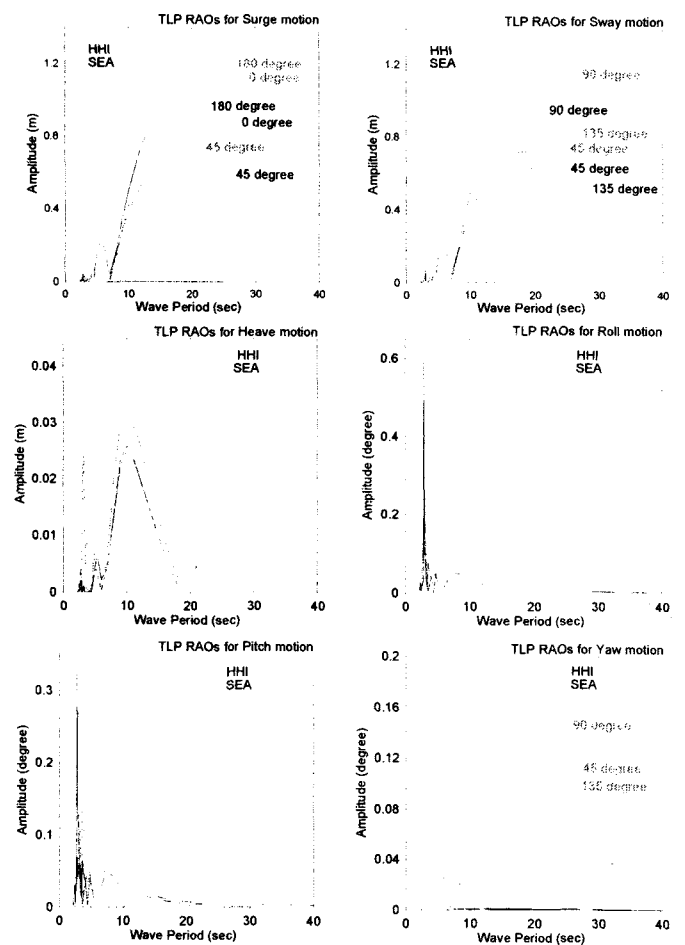


Figure 3 RAOs of TLP

그림에서 보는바와 같이 MOSES에 의한 RAO는 SEA사의 계산 결과와 비교해 볼 때, 파주기가 높은 부분에서는 부분적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 텐던등으로 강하게 해저면에 고정되어 있는 인장각 플랫폼을 어떻게 해석하느냐에 따른 차이로 보인다.

### 3.2 자유 감쇠 해석

정지된 수면에서 6방향에 대해 일정한 초기 변위를 준 다음 자유 진동을 시켜 시간에 따른 진폭의 변화량을 검토하였다. 아래의 식에 따라 각 주기에서의 진폭을 찾아내어 댐핑 계수(damping factor)를 계산하였으며, SEA사의 수치 계산결과 및 MARINE의 실험 결과와 비교하였다. 수치해석 결과와는 잘 일치하는 모습을 보여주었으나 실험결과와는 Heave, Roll, Pitch, Yaw 등에서 많은 차이를 보였다. 이는 인장각 플랫폼에 붙는 텐던과 라이저의 수치모사에 있어 플랫폼과의 연결 부위에서의 마찰저항 효과를 고려하지 않아 상대적으로 움직임이 적은 운동에서 오차가 커진 것으로 보인다.

$$\frac{X_{1/2}}{X_0} = e^{-\pi \frac{\mu}{\sqrt{1-\mu^2}}}$$

$X_{1/2}$  Displacement after a half oscillation

$X_0$  Initial displacement

Table 3 Damping factor of TLP

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
HMRI	63.8	63.8	0.8	4.44	2.06	11.15
SEA	61.6	61.6	1.9	2.0	1.9	11.5
MARIN	67.0	65.0	29.0	52.0	30.0	41.0

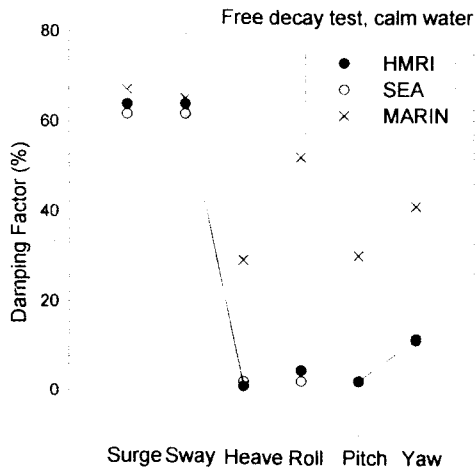


Figure 4 Damping factor of TLP

### 3.3 규칙파 해석

바람과 조류를 고려하지 않은 규칙파 하중 조건에 대해 수치 해석을 하여 그 결과를 기존의 결과들과 비교하였다. 각 인장력 값들은 초기하중(pretension)을 뺀 값이며, 그림에서 보이는 바

와 같이 Surge에서의 진폭에 큰 차이가 보이고 있음을 알 수 있다. MOSES를 이용한 본 연구의 계산 결과는 상대적으로 슬로우 배링(slow-varying)움직임이 크게 보이고 있으며, 이는 파 하중 방향으로 저항하는 힘이 기존의 계산 및 실험보다 작게 평가됐기 때문으로 보인다.

계산 시 사용한 하중조건은 다음과 같다.

Table 4 Specification of regular wave

Regular wave	Specification		
	Direction, [°]	Double amplitude, [m]	Period, [sec]
	180	2.06	6.6

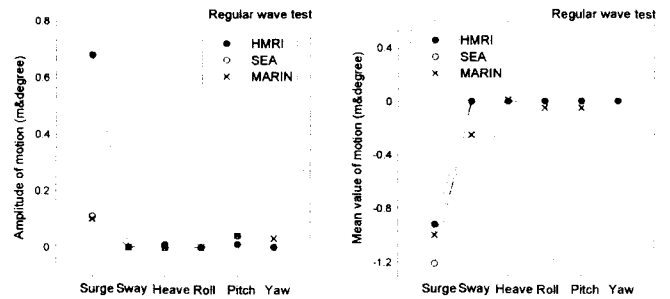


Figure 5 Motion statistics of TLP with regular wave (amplitude: 2.06, period: 6.6)

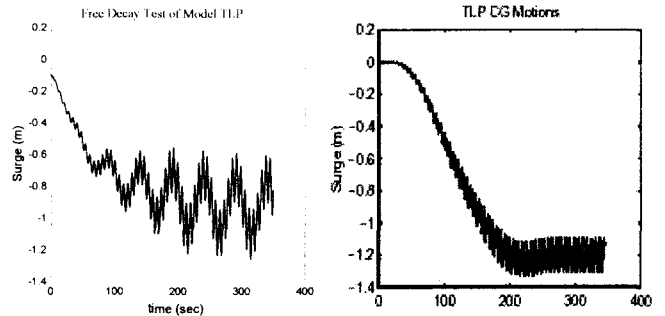


Figure 6 Comparison of surge motion

그림 5에서 알 수 있듯이, 다른 결과와 대체로 일치하는 모습을 보이나 Surge에서는 큰 차이가 남을 알 수 있다. 이는 높은 주파수 영역에서는 일치하나 낮은 주파수 영역에서 MOSES의 결과가 상대적으로 더 큰 움직임을 보여주는데 기인한다.

### 3.4 불규칙파 해석

1, 10, 100년 주기의 폭풍 조건에서 에어갭(air-gap), 편위 운동(excursion), 텐던과 라이저에 대한 인장력 등에 대한 불규칙파 응답을 계산하였다. 각각의 환경조건은 가장 심각한 해상상태를 가정한 것이며, 동일한 조건에서 수행된 수치 계산과 실험 결과에 비교 검토 하였다.

#### 3.4.1 에어갭(air-gap)

에어갭은 인장각 플랫폼의 상부 갑판 밑바닥과 수면사이의 거리로 정의한다. 따라서 파도와 구조물의 상대적인 거동에 대

한 값을 계산함으로써 갑판의 파충격으로부터 안전여부를 판단하는 기준이 된다. 계산결과는 고려된 해상상태에 대해 인장각 플랫폼은 안전한 것으로 판단되었다.

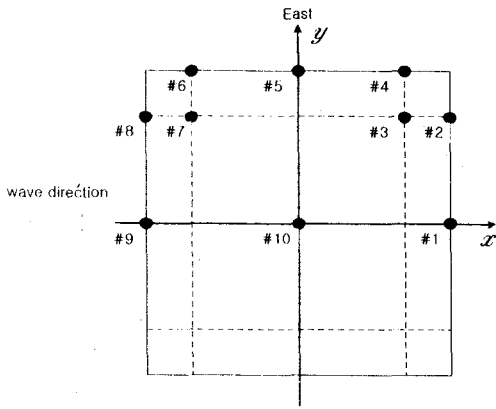


Figure 7 Positions of air-gap point

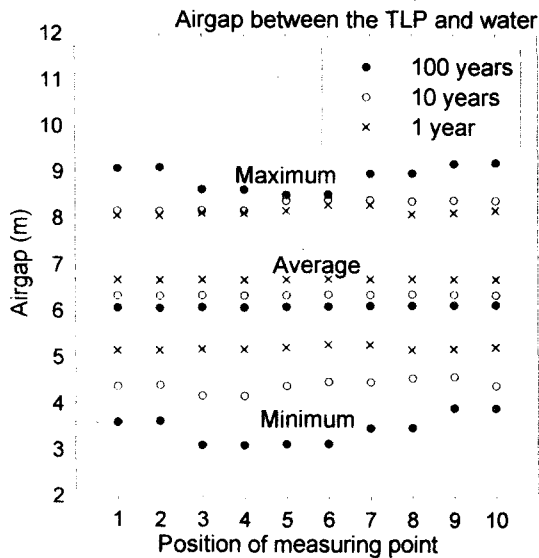


Figure 8 Statistics of air-gap with various storm condition

### 3.4.2 거동(Excursion)

각 환경 하중에 대한 인장각 플랫폼의 거동에 대해 조사하였다. 파 하중에 수평 방향으로 구속 조건이 없는 인장각 플랫폼의 특성상 surge 움직임이 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 기존의 실험 및 계산과 비교하여 볼 때 본 연구의 결과가 약간 작은 값을 보이며, 이는 바람의 영향을 상대적으로 작게 평가한데 기인한 것으로 추정한다.

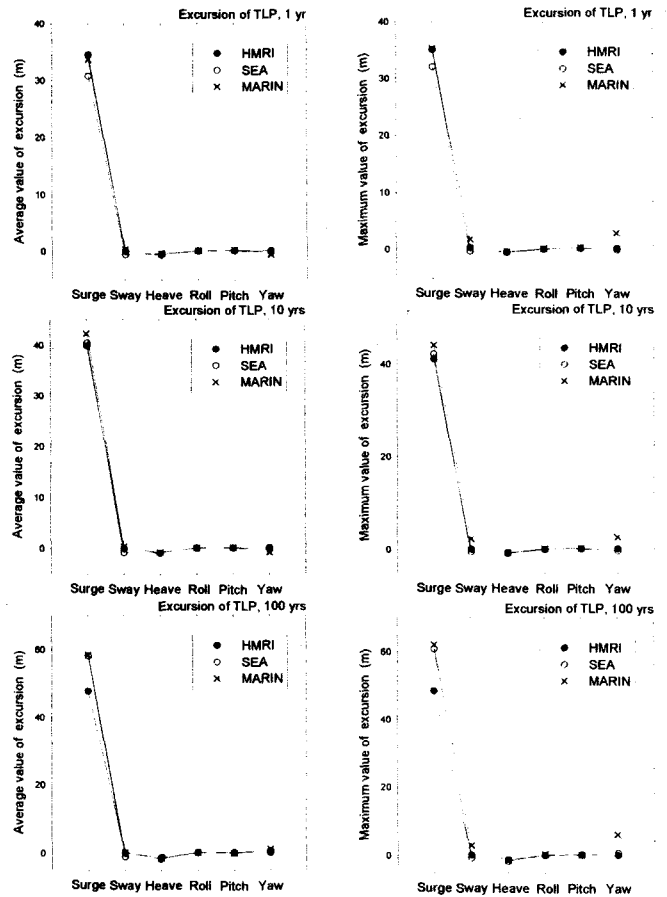
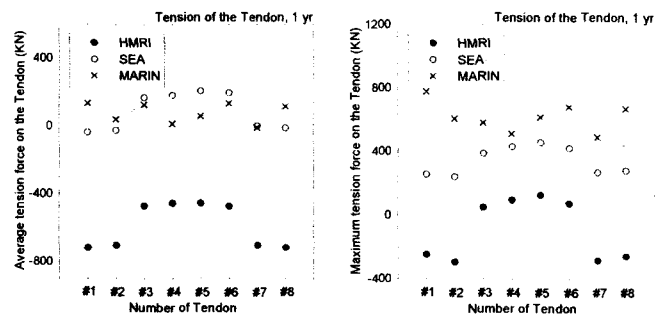


Figure 9 Excursion of TLP with various storm condition

### 3.4.3 텐던에 걸리는 인장력

각 환경 하중에 대해 인장각 플랫폼을 지지하는 텐던에 걸리는 인장력을 조사하였다. 기존의 결과들과 비교해 보면 본 연구에서의 결과가 큰 차이를 보이는 곳이 존재함을 알 수 있다. 기존의 계산결과와는 정성적으로 일치하는 모습을 보이나, 실험결과와는 차이를 보이고 있다. 이러한 부분은 향후 좀더 심도있는 검토가 필요한 부분이다. 수치모사에서 고려하지 않았던 텐던과 선체의 연결 부위, 용수철 효과(springing effect) 및 울림 효과(ringing effect)등을 고려할 필요가 있을 것으로 추정한다.



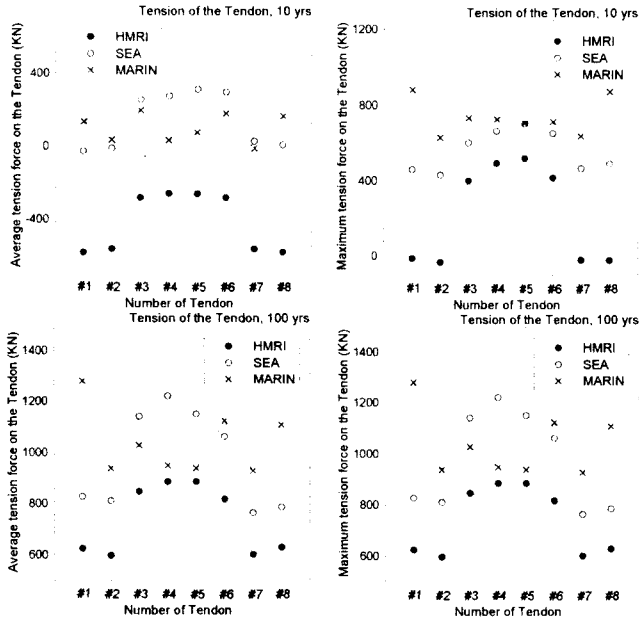


Figure 10 Statistics of tendon tension force with various storm condition

### 5. 결 론

본 연구에서는 인장각 플랫폼에 대해 상용 프로그램인 MOSES를 이용하여 시간 영역 수치해석을 수행하였다. 연구의 결과는 기존의 실험(MARIN)과 수치계산(SEA engineering co.) 결과와 비교하였다. 자유진동감쇠 해석과 규칙파 하중에서의 응답 해석을 검증하였고, 불규칙파 하중에서 에어갭(air-gap), 편이 운동(excursion), 텐던에 걸리는 인장력을 비교검토 하였다. 그 결과, 수치해석 결과들은 서로 정성적으로 일치하는 경향을 보였으나 그 크기에 있어 다소의 차이를 보였으며, 실험결과와는 다른 양상을 보여주었다. 이러한 차이에 대한 연구검토를 추후 좀더 심도있게 할 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

#### REFERENCE

1. MARIN report NO. 16021-1-OB, "Model Tests for Seno Field Development," October 2000
2. SEA ENGINEERING INC. report NO. SNO-TLP-R-EG0007-0-SEA, "Time Domain Global Performance Analysis Report," May 2002
3. SEA ENGINEERING INC. report NO. SNO-TLP-R-EG0006-B, "TLP-Frequency Domain Global Performance Analysis Report," December 2001
4. UNOCAL document NO. 1.T.G1 "TLP Design Basis Summary",
5. Ultramarine 1995, 'Reference and Technical Manual for