

BPH, TPG-500의 LOADOUT

~ (GEOTECHNICAL ASPECTS RELATED TO THE FOUNDATION AND LOADOUT OF BPH, TPG-500)

민덕기(TUK-KI MIN)¹⁾, ○김용태(YONG-TAE KIM)²⁾, 김대중(DAE-JUNG KIM)³⁾, 박명철(MYUNG-CHUL PARK)³⁾

- 1) 울산대학교 토목공학과 교수
- 2) 현대중공업 해양구조기술개발부 과장
- 3) 울산대학교 토목공학과 석사과정

SYNOPSIS

This report contains the geotechnical preparations and completions related to the fabrication and loadout of BPH,TPG 500, which was carried out by Hyundai Heavy Industries Co., at Yard II, Ulsan, South Korea for B.P Exploration Co., UK. TPG-500, jack-up type offshore drilling and production platform, will be installed in the Harding Field in North Sea. Total weight of the 3-legged jack-up platform was approx. 24,000 M-Tons. The hydraulic compensated skidshoe system was developed to distribute the superstructure load uniformly on the skidway during loadout.

1. 서론

본 BPH, TPG-500, 해상석유 생산설비는 1992년초 (주)현대중공업이 영국의 BP사로부터 수주한 약 24,000 tons 중량의 Jack-up type platform으로 제작 및 loadout(선적작업)을 성공적으로 마치고 95년 7월말 BP사에 인도되었다. 그러나, 그 동안 제작중에 지반에 가해지는 단위하중이 매우 커서 공사 시작전부터 완료할 때까지 지반공학 측면에서 고려해야 할 사항들이 많았다. 본 고에서는 공사를 수행하면서 경험했던 foundation system과 관련된 설계, 시공, 계측 및 문제점 해결 방안 등에 대해서 소개하고자 한다.

2. 공사개요

본 생산 설비는 세계 최초로 시도되는 석유생산 platform이다. 일반적으로 Jack-up type platform은 규모도 작고 이동이 가능하여 주로 석유 탐사 목적으로 사용되고 있으며, 조선소의 dry dock에서 제작되는 것이 보통이다. 그러나 BPH, TPG-500, jack-up type platform은 고정식 해상석유 생산 설비로써는 세계 최초이며, 규모면에서도 세계 최대이고, 중량이 약 24,000 ton에 달하는 구조물로서 본 공사를 dry dock이 아닌 육상에서 제작하여 선박에 선적하여서 운송하는 방법이 세계 최초로 (주)현대중공업에 의하여 시도되어 성공적으로 완료하였다. 따라서, 육상에서 제작하게 됨으로써 제작 단계에서부터 jacking test, weighing, loadout 등의 전 과정에서 지반공학적인 측면의 완벽한 foundation system 준비가 공사의 성패를 좌우할 만큼 중요하였다. Fig.1 에는 BPH TPG-500의 전체적인 형상을 보여주고 있다.

2.1 TPG-500 공사의 특성

TPG-500의 제작 및 loadout시의 주요과정은 다음과 같다.

- ① 지반에 가해지는 load intensity가 매우높다.
- ② 일반 jacket 과는 다르게 jack-up test 가 수행되어야 한다.
- ③ jacket loadout 과는 달리 안벽에 큰 하중이 가해지는 것을 피할 수가 없다.

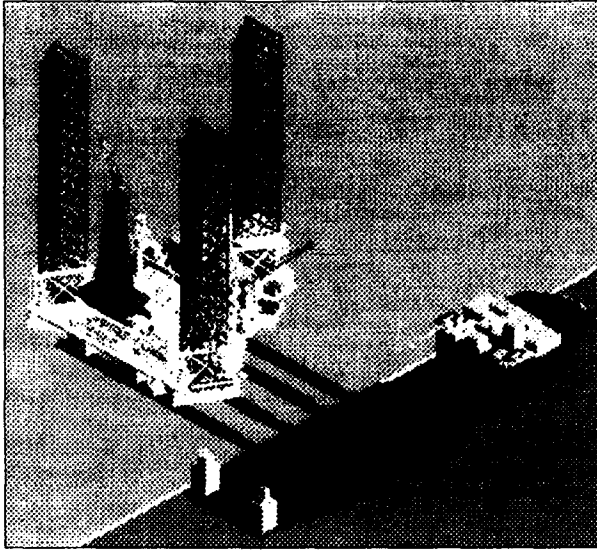


Fig.1 TPG-500 구조물

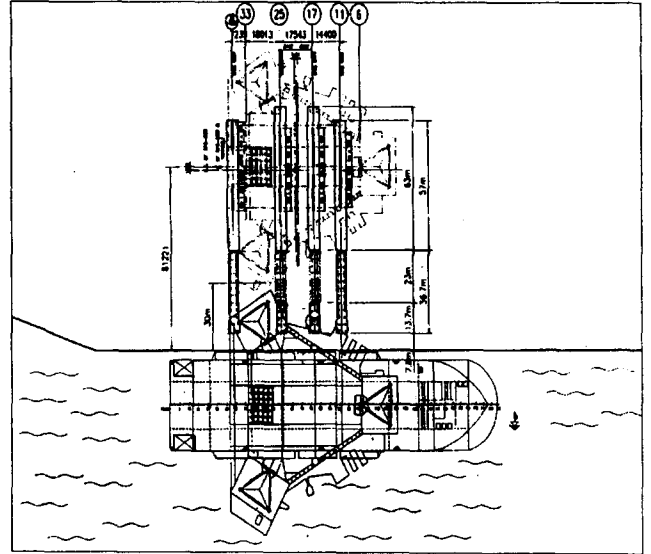


Fig.2 foundation layout and vessel

다음 표는 본 현장에서 제작·선적한바 있는 Harmony jacket과 TPG-500과의 비교 표 이다.

	Weight (ton)	Skidway 길이 (m)	하중 강도 (t/m)
TPG-500	24,000	120	200
Harmony Jack	40,000	660	60

2.2 TPG-500 구조물 특성

BPH, TPG-500은 지반에 가해지는 단위하중(200 t/m)이 매우 크다. 그리고, 일반 Jacket과 달리 구조물의 최대 처짐이 150 mm 정도로 강성이 상대적으로 작을 뿐더러 제작 단계별로 구조물의 처짐의 형상이 변화된다.

2.3 지반 보강 공사

BPH, TPG-500을 제작, jack-up test 및 load out을 성공적으로 수행하기 위하여 기초공사와 지반보강 공사가 실시되었다.

- ① Fabrication Support Foundation
- ② Jacking Test 를 위한 Leg Spud Foundation
- ③ Loadout Skidway Foundation
- ④ 안벽보강 공사 (Loadout)

3. 지반조사

Fig.3 location plan에서 보아 알 수 있듯이 BPH, TPG-500 은 Harmony jacket 제작시 사용되었던 yard와 같은 장소에서 제작 되었으나 안벽의 가까운 곳에 위치하고 있다. 따라서, 기존의 지반조사 자료가 축척되어 있었으나, BPH, TPG-500 은 Harmony jacket 보다 월등히 큰 하중 강도를 갖게 됨에 따라 Fig.4에 보이는 것과 같이 추가로 boring 및 plate load test를 수행하였다.

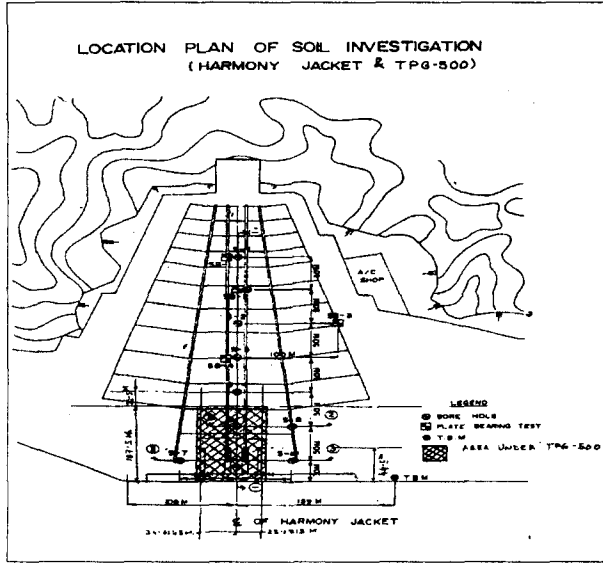


Fig.3 location plan of soil investigation

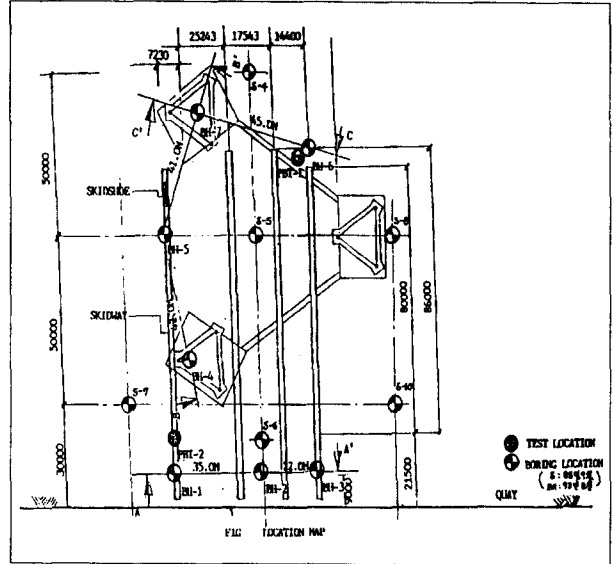


Fig.4 location map

3.1 지층 개요 및 지하수위

본 지역의 기초지반은 Fig.5 와 같이 매립성토층, 퇴적토층, 잔류토층 및 기초암반으로 구성되어 있으며, 지하수위는 현 성토층 상단으로 부터 약 2 - 2.5m 의 심도에 분포하는 것으로 예측되었다.

3.2 지반강도 특성

현장조사 및 일련의 실내토질 시험을 토대로 하여 지반강도 특성을 정리해 본 결과 Table.1 과 같다.

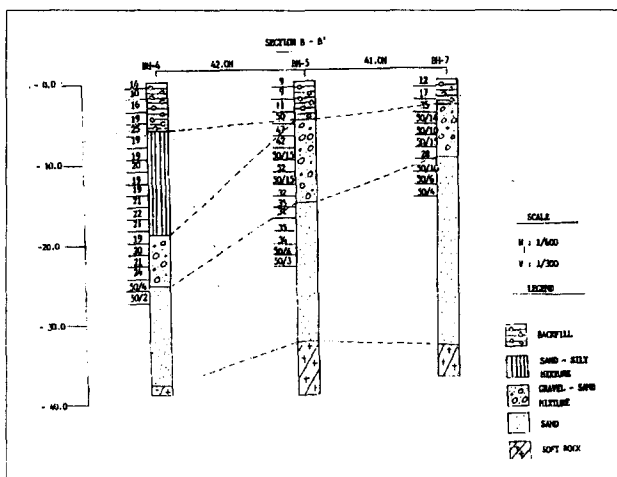


Fig.5 지층 단면도

Table.1 Typical Values for Foundation Design

Origin	Soil Class	N	qu (t/m ²)	Es (kg/cm ²)	k 30 (kg/cm ²)	μ	φ (degree)
Fill	GM	15 - 30	100	210	8.75	0.25	33 - 35
	SM	8	50	80	3.33	0.3	28
Transported Soil	GM	15	100	180	7.50	0.25	33
	GM	30	300	360	15.00	0.3	40
Weathered rock	SM	50	300	400	16.66	0.3	40
	SM	100	750	800	33.33	0.3	45
Soft rock	-	-	2000	-	50.00	0.4	50
Hard rock	-	-	10000	-	-	0.25	-

3.3 기초 형식의 선정

3.2에서 언급한 boring, plate load test, lab test 결과를 기초로 하여 각종 기초 형식에 대한 지지력, 지반침하, 안정성, 공사비 및 공사기간 등을 비교·검토 하여 Fig.6 에 보이는 바와 같은 기초 형식으로 최종 결정하였다. 한편 최종 선정된 기초 형식은 아래와 같은 기초 자료를 검토한 후 선정하였다.

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| ① 대상지반의 강도정수(ϕ , c) | ⑥ 기초 재하시험 결과의 활용 |
| ② 해당 시추공 위치에서의 지지력 | ⑦ 여러 침하량 산정식의 타당성 및 신뢰도 |
| ③ 대상지반의 변형계수(E_s , K_s) | ⑧ 강관 pile 기초의 지지력 및 pile driveability |
| ④ 탄성침하와 압밀침하의 비 | ⑨ slop stability |
| ⑤ 기초형식간의 부등침하량 | ⑩ 상부구조물의 거동특성 |

3.4 선정된 기초 형식의 개요

3.4.1 Fabrication Support Foundation

Block assembly 제작조립시 조립된 assembly의 support foundation은 특별한 지반 보강없이 약 100 mm concrete pavement 위에 크기가 1.5m×1.5m 인 후판이 부착된(접지면적은 약 2.25 m²) ϕ 600 pipe support 를 Fig.6 보이는 것과 같이 설치하여 사용하였다. 한편 제작용 block assembly support의 높이를 정기적으로 계측하였으며, 지반침하 등에 의해 높이의 변화가 10 mm 이상이 되는 support는 hydraulic jack을 사용하여 높이 조절을 실시하였다.

3.4.2 Jack-up test 를 위한 leg spud foundation

leg foundation 은 크기가 8.5m×8.0m×2.0m 의 철근 콘크리트 구조의 독립기초를 한개의 Leg 당 3개소, 즉 총 9개소의 spud 기초는 독립기초로 시공하였다.

3.4.3 Loadout skidway foundation

skidway foundation은 두가지 타입으로 안벽 가까이에는 pile foundation으로 시공하였고, landside엔 철근콘크리트 구조의 mat(6m×2m×0.5/0.7)를 특별한 지반 보강없이 ground surface 위에 올려 놓은 strip foundation type 으로 결정 시공하였다. Fig.7 에서는 skidway의 strip foundation 과 pile foundation을 보여주고 있다.

4. 지반침하 대책

4.1 Hydraulic Compensated Skidshoe System

BPH, TPG-500 구조물 load out을 위해 jack-up을 했을 경우 큰 문제점은 하중이 편중 되었을 경우이다. 만약, 균일한 하중이 재하되지 않으면 편심모멘트에 의해 구조물의 불안정한 거동(구조물이 넘어질 경우)과 skidway foundation중 어느 한 부분에 과도한 침하가 발생하여 load out에 어려움이 따른다. 따라서, 경제적인 기초설계와 신뢰성있는 선적작업을 수행키 위해 skidway와 BPH구조물 사이에

유압재와 유압조절 장치를 설치 (Hydraulic Compensated Skidshoe System)하여 선적작업 중에 균일하고 일정한 하중이 지반에 전달 될 수 있도록 하였다. Fig.8 은 skidway 33및 25에 설치된 유압재 조절장치 설계단면도와 평면도를 나타낸 것인데, 본 system은 현재 특허 출원 중에 있다.

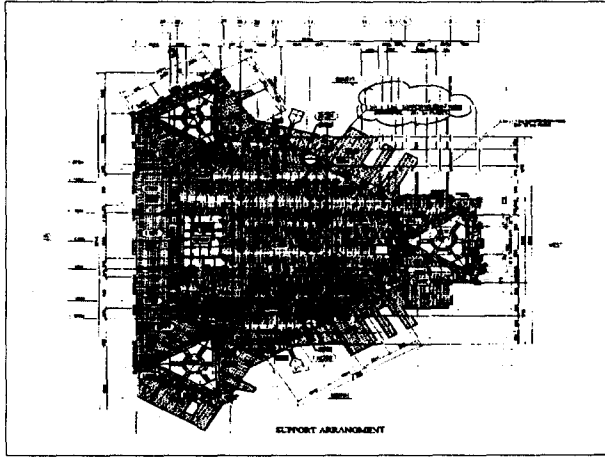


Fig.6 support arrangement

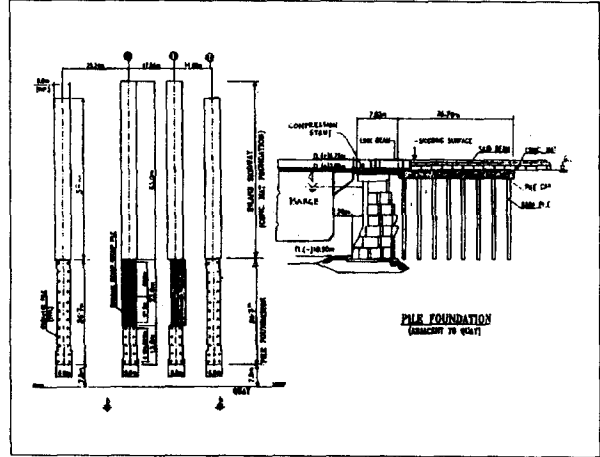


Fig.7 strip foundation and pile foundation

4.2 Skidway의 level 조정

선적작업을 위한 skidway의 foundation system이 strip foundation 과 pile foundation 으로 구성됨으로써 강성의 차이가 큰 두 type의 기초간의 부등침하가 예상되었으며 이에 대한 대책이 필요하게 되었다. 따라서, 각각의 기초에 대한 침하량을 예측한 후 4개의 skidway의 strip foundation 측의 높이를 예측한 부등침하만큼 높게 설치하고, steel skidbox를 설치할 때 하부에 약 50mm의 GAP을 줌으로써 기초 상호간의 부등침하를 흡수할 수 있도록 하였다.

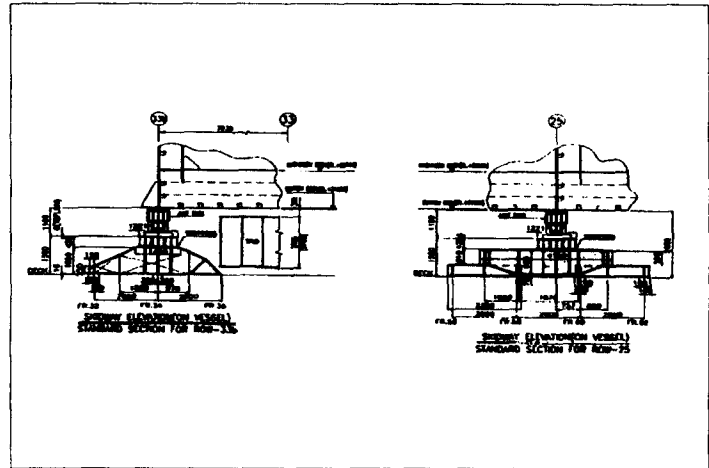
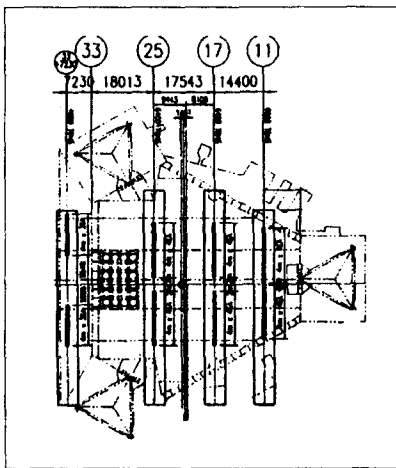


Fig.8 유압재 조절장치 system 평면도 및 단면도

5.지반침하 발생 현황

5.1 Leg spud foundation의 지반침하 계측

5.1.1 침하량 계측준비

Fig.9 는 jack-up test 시에 spud foundation의 침하량을 계측하기 설치된 위해서 각각의 계측지점을 표시한 평면도이다. 그림에 표시한 바와 같이 각 leg당 6개소로 총 18개소의 침하량이 계측되었다. 정확한 계측을 위해 전문 측지사 5명이 동시에 침하량을 읽었다.

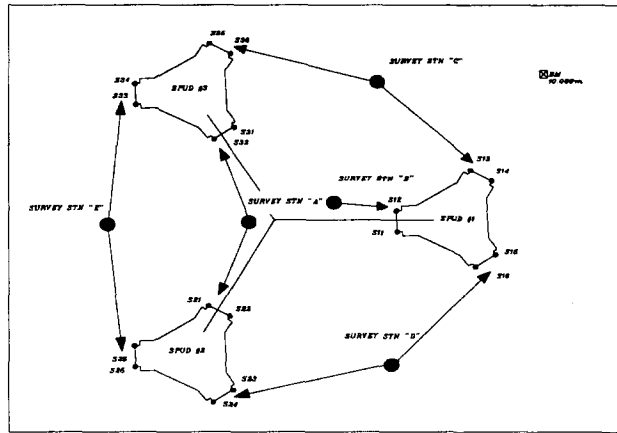
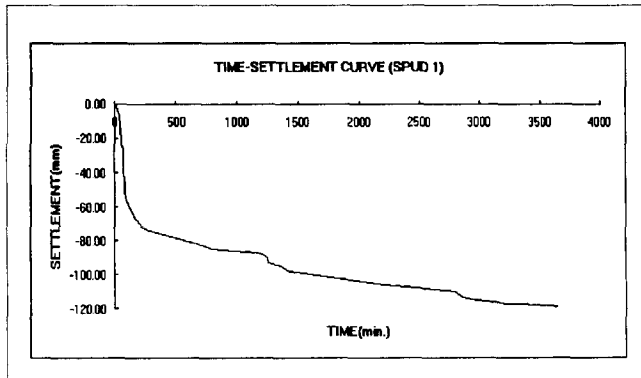


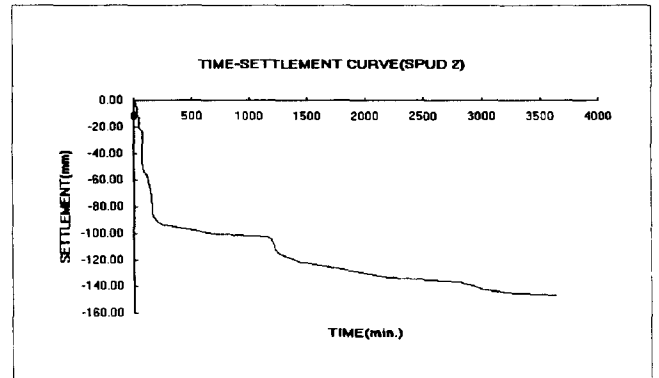
Fig.9 SPUD LEVEL

5.1.2 JACK-UP TEST시 SPUD의 침하

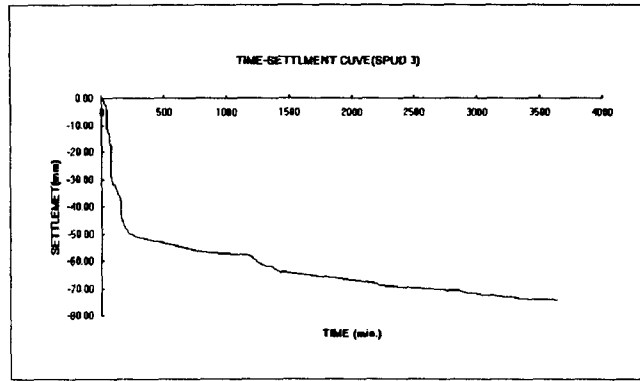
Fig.10 는 각 spud1, 2및 3에서 계측된 6지점의 시간에 따른 평균 침하량을 곡선으로 나타내었다. jack-up 이 완료된 후 18일 동안 계속 하중을 재하하였을 경우 최대침하량은 spud 2에서 180 mm 침하가 발생되었다. Fig.10 은 3일 동안의 평균 침하량을 시간에 대한 곡선으로 나타 낸 것이다.



a. spud 1 시간-침하량 곡선



b. spud 2에서의 시간-침하량곡선



c. spud 3에서의 시간-침하량곡선
 Fig.10 spud foundation에서 시간-침하량 곡선

5.3 LOAD OUT 시 SKIDWAY의 침하량 계측

5.3.1 침하량 계측

Fig.11 은 BPH. TPG-500 Loadout(선적작업) 중에 skidway 의 strip foundation 과 pile foundation 및 안벽에서의 침하량 계측을 위해 일정한 간격(약 5.45m) 으로 설치된 계측지점을 표시한 평면도이다. 각 skidway 에 17개의 측정점을 설치하여 침하량을 20 - 30분 간격으로 측정하여 선적작업의 관리에 만전을 기하였다.

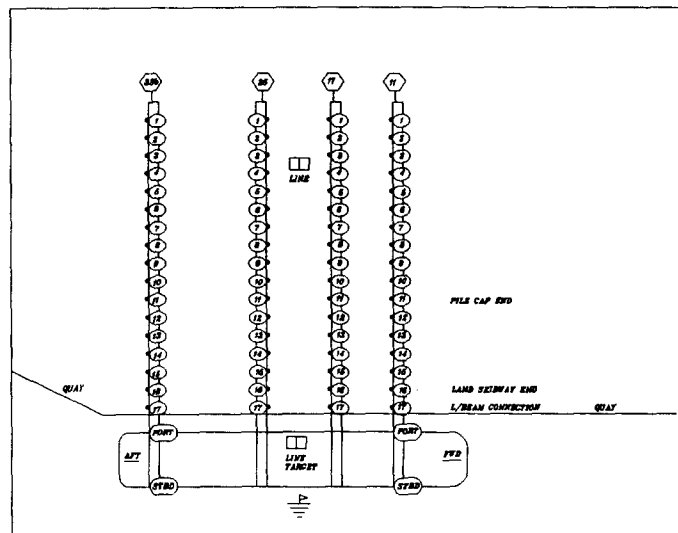


Fig.11 skidway level 단면도

5.3.2 SKIDWAY에서 계측된 침하량 곡선

5.3.2.1 strip foundation area

Fig.12 는 jack-up 완료후 loadout 을 하기 전까지 24,000 ton이 완전히 가해진 경우에 skidway strip footing에 발생한 침하량을 나

타낸 것이다. skidway 17, 25, 33는 line number 2, 6을 전후로 하중을 받는 유압잭이 설치되어 있다. 따라서, 이 두 line number를 기준으로 대칭되게 침하가 발생하여야 한다. skidway 25, 33은 비교적 대칭적이나 skidway 17은 비대칭적으로 침하가 발생하였다. 이것은 하중이 line number 6보다 2에 편하중으로 가해진 것으로 판단된다. 그리고, 그림에서도 알 수 있듯이 skidway 33의 line number 9-10에서 heaving이 된 것을 볼 수 있다.

5.3.2.2 piled foundation area

Fig.13 은 loadout이 종료된 후 skidway pile foundation에서 발생한 침하량을 나타낸 것이다. strip foundation에 비해 강성이 큰 pile foundation은 아래의 그림에서도 알 수 있듯이 0 - 20 mm 정도의 작은 침하가 발생하였다.

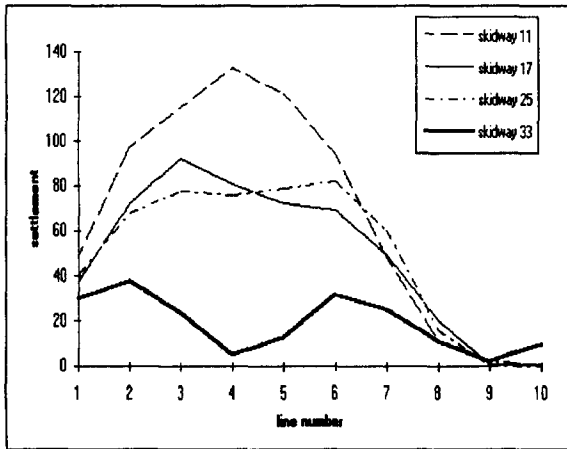


Fig.12 skidway strip foundation에서의 침하량 곡선

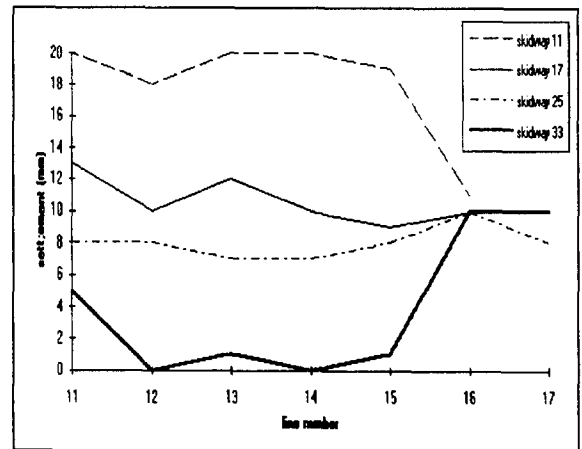


Fig.13 skidway piled foundation에서의 침하량 곡선

6. 결론

세계최대 규모의 jack-up type platform 인 BPH, TPG-500 의 load out이 국내 기술진에 의하여 성공적으로 수행되었다. 본 platform 은 하중강도가 200 t/m로 매우 높고 일반 jacket과 달리 구조물의 허용 처짐이 상대적으로 적어 jack-up 혹은 load out시 정밀계측이 요구되었다. 이를 위해 상세한 지반 조사가 실시 되었으며 이를 바탕으로 spud foundation은 독립기초로, skid-way는 strip foundation 과 말뚝기초로 시공이 되었다. 경제적이면서도 신뢰성있는 선적작업을 수행키 위해 skidway 와 BPH 구조물 사이에 oil jack과 유압조절 장치를 설치하여 loadout시 균등한 하중이 지반에 전달될 수 있도록 하는 hydraulic compenenter skidshoe system을 개발하였으며 그 결과는 성공적이었다. loadout시 skidway의 기초가 strip foundation 및 pile foundation으로 구성되어 과도한 부등침하가 예상되었으며, 이는 steel skidbox를 이용 해결하였다. 본 loadout을 성공적으로 실시함에 따라 새로운 loadout 기술을 보유할 수 있게 되었다.

■ 참고문헌

1. FOUNDATION DESIGN OF TPG-500
2. STABILITY OF PILES AND PILE-CAP DURING LOAD-OUT OF T.P.G-500 JACK-UP
3. STUDY ON SETTLEMENT ANALYSIS OF FOUNDATION OF BPH JACK-UP DURING JACK-UP CONDITION AND LOAD-OUT
4. SUBSOIL INVESTIGATION REPORT FOR BPF PROJECT AT HHI SITE
5. SUBSURFACE INVESTIGATION PROPOSED FABRICATION YARD OF EXXON JACKETS