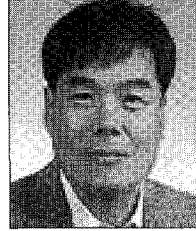


해양플랜트 설계

Design of Offshore Structures



성 활 경*

* 창원대학교 조선해양공학과 교수, 녹색기술기반해양플랜트인재양성센터 센터장

1. 서 론

우리가 사용할 수 있는 자원 중에는 육상자원과 해저자원이 있다. 육상자원은 개발의 편리함과 경제성으로 인하여 먼저 개발되어 이제는 거의 고갈단계에 와 있는 반면, 해저자원은 개발의 어려움 및 경제적인 이유로 아직 저개발로 남아 있다. 해저자원 중에도 비교적 개발하기 쉬운 천해자원(淺海資源)은 거의 개발이 끝났고, 심해자원(深海資源)은 아직 개발을 기다리고 있다. 심해자원은 1,000m 이상의 해저에 매장되어 있는 자원으로서 탐사·시추 및 생산을 위하여 많은 노력과 시간 및 자본을 필요로 한다. 최근의 높은 유가(油價)는 경제성으로 인해 개발을 미뤄왔던 심해자원의 개발을 앞당기게 되었고, 결과적으로 심해자원을 개발하기 위한 대규모 프로젝트가 석유 메이저들을 중심으로 일부 진행되고 있거나 계획되고 있다.

해양플랜트(Offshore Rigs)란 해저자원의 탐사·시추 및 생산을 위한 제반 시설을 일컫는 말로 대개 하부구조(Platform)와 상부구조(Plant)로 구성된다. 하부구조는 바다의 깊이 및 환경조건에 따라 고정식(Fixed type)과 부유식(Floating type)으로 대별되며, 상부구조는 하부구조 위에 세

워져 해저로부터 생산된 자원의 처리를 위한 화학공장으로, 원유의 경우 Up-stream공정이 수행된다. 해저에서 생산된 원유는 원유·가스·해수(海水)·땀 등의 혼합물의 형태로 채취된다. 이들 혼합물은 Up-stream공정을 거치면서 분리되어, 원유와 가스는 육상으로 수송되기 위하여 저장되고, 해수 및 땀 등은 환경처리 후 바다로 환원된다. 육상으로 수송된 후, 정유공장에서 비등점의 차이에 따라 휘발유·경유·중유 등의 제품으로 생산되는 Down-stream공정을 거쳐 소비자에게 공급하게 된다.

해양플랜트는 파도·바람·조류·유빙(流水)·지각운동뿐만 아니라 화재 및 폭발 등의 극한하중을 받게 되며, 일단 재난이 발생하면 인명 및 재산상의 손실뿐만 아니라 대규모의 환경문제를 야기할 수 있기 때문에 해양플랜트의 설계를 위하여 API(American Petroleum Institute)를 중심으로 해양플랜트 설계를 위한 Code 및 Standard가 마련되었고,¹⁾ 노르웨이²⁾·캐나다 등의 산유국에는 자국의 Code 및 Standard가 있으며, 최근에는 ISO(International Standard Organization) 19900 Series³⁾⁻⁹⁾가 마련되게 되었다.

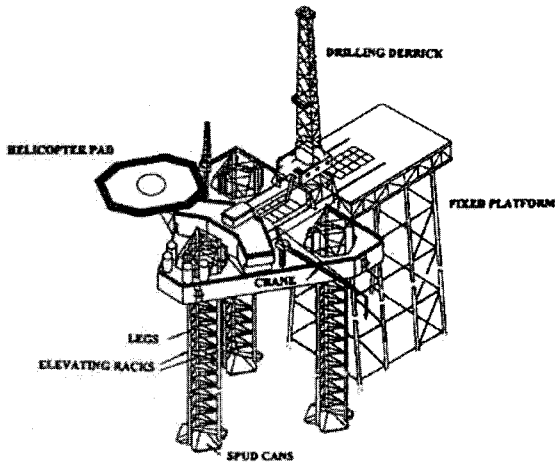
2장에서는 해양플랜트의 종류에 대해 기술하며, 3장에서는 해양플랜트 설계를 위한 기본구조 및 하중 등을 정리하며 4장에서는 Code 및 Standard에 대해 살펴보기로 한다.

2. 해양플랜트의 종류

2.1 시추용 해양플랜트

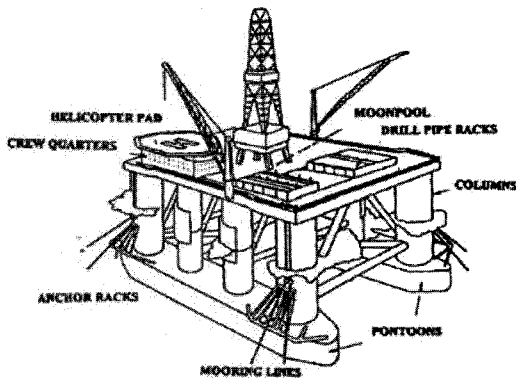
가. Jack-up Rig

시추를 위한 장소로 이동한 후, 3~4개의 다리(Leg)를 해저까지 내려 고정한다. 다리는 보통 트러스 구조물로 되어 있으며, 다리를 따라 전체 장비의 높낮이를 조절할 수 있다. 실제로 파도가 미치지 않는 높이에 장비를 고정시킨 후 작업하게 된다. 다리를 바닥에 고정시켜야 하기 때문에 일반적으로 천해에서 사용한다.



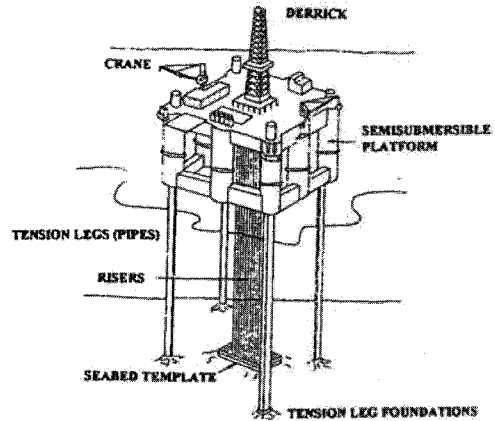
나. 반잠수식(Semi-submersible Rig)

일반적인 구조는 쌍둥선(Catamaran) 위에 수면 상의 높이를 확보하기 위하여 일련의 컬럼(Column)을 세우고, 그 위에 시추장비를 탑재한 형태이다. 쌍둥선 부분만이 물과 접하기 때문에 물에 의한 저항이 적다는 장점을 갖고, 따라서 파도 및 조류의 활동이 높은 곳에서 주로 사용된다. 예인선에 의해 시추장소까지 예인되며, 심해에서도 사용 가능하다. 단점으로는 쌍둥선의 크기에 의해 지지되는 장비의 크기가 결정되기 때문에 작업면적이 비교적 협소하다는 단점을 갖고 있다.



다. TLP(Tension Leg Platform)

개념상으로는 반잠수식 장비를 케이블 또는 파이프를 이용하여 해저에 묶어 놓은 형태로, 최소의 수직운동을 하기 때문에 안정성이 높다. 예인선을 이용한 이동이 가능하며 재사용 또한 가능하다. 단점으로는 Tension Leg에 피로가 누적되기 쉬우며, 저장시설이 제한적이라는 것과 유지보수가 어렵다는 점이다.

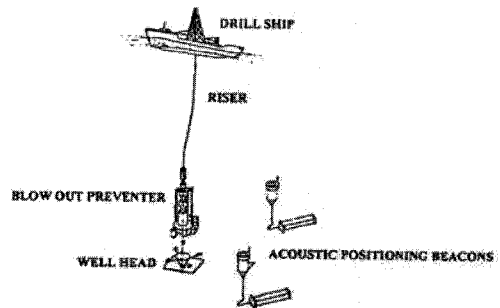


라. Sea-star Platform (Miniature Tension Leg Platform)

규모가 작은 TLP의 개념으로 유전의 규모는 작지만 깊이는 비교적 클 경우에 적합하다.

마. 드릴 쉽(Drill-ship)

하부구조로는 배의 Hull을 그대로 사용하고, 다만 시추탑(Drilling Derrick) 밑에 시추장비의 왕래를 위하여 Moonpool이 뚫려 있어, 이를 통하여 Riser와 연결된다. 자항(自航)능력을 보유하고 있으며, 정확한 위치제어를 위하여 DPS(Dynamic Positioning System)가 사용된다. 또한 TMS(Turret Mooring System)를 채용하고 있어 바람과 파도에 의한 영향을 감소시키고 있다.

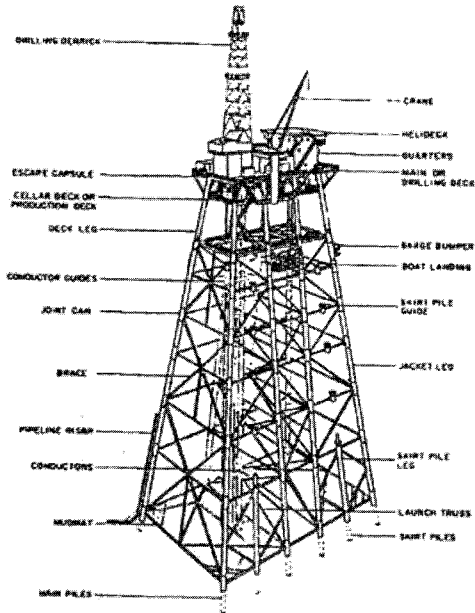


2.2 생산용 해양플랜트

가. Jacket Rig

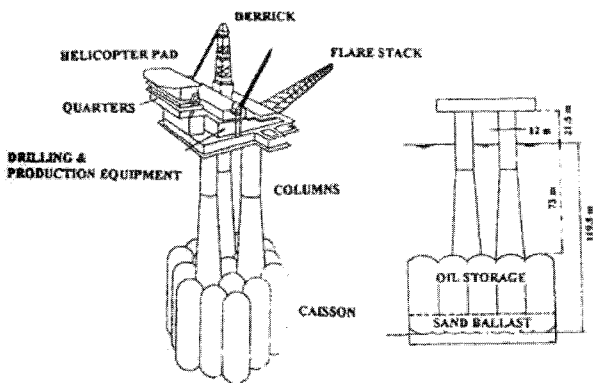
트러스 구조물의 한끝을 해저에 고정시키고, 다른 끝에 상부구조를 세운 형태로 천해에서의 원유생산에 사용된다. 트

러스는 중공(中空) 튜브로 만들어지며, 파일을 중공 튜브를 통해 밀어 넣어 해저에 고정시킨다. 반조립 상태로 운반되어 현지에서 조립완성 시킨다. 한번 설치되면 수명은 25년 정도이며, 재사용이 불가능하다. 따라서 천해의 대규모 유전개발에 적당하다. 대하중용으로 만들 수 있으나, 깊이가 증가함에 따라 비용이 기하급수적으로 증가하는 단점을 갖고 있다.



나. GBP(Gravity Base Platform)

해저의 지질이 단단하여 파일을 박기 어려운 경우, 대단위 콘크리트 구조물을 가라앉혀 콘크리트 구조물의 자중(自重)에 의해 파도·조류 등에 의한 하중을 견디도록 만든 것으로 콘크리트 구조물 위에 컬럼(Column)을 세운 후, 그 위에 상부구조를 세운 형태이다. 콘크리트 구조물은 원유의 저장탱크로 이용된다. 주로 북해(North Sea)에서 사용되며, 콘크리트의 해수에 대한 저항이 Steel 보다 높기 때문에 Jacket Rig보다 수명은 길다. 깊이가 증가 할수록 건설비용이 기하급수적으로 증가하는 단점을 갖고 있다.

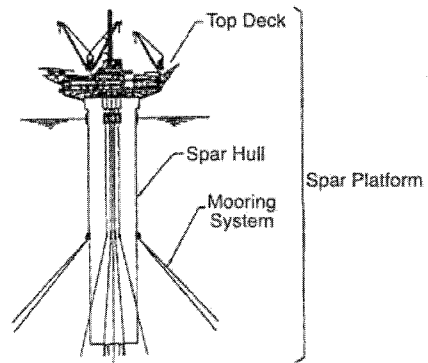


다. Compliant Tower (Tower Platform)

Jacket Rig의 하부구조는 충분한 강성을 갖는데 반해, Compliant Tower는 수평방향의 변형이 가능한 타워 구조를 갖는 형태로 해저 면과 상부구조를 연결시켜 외부하중에 의해 발생한 운동에너지를 수평방향 변형에너지로 흡수할 수 있어, Jacket Rig 보다 더 깊은 곳에서 사용이 가능하다.

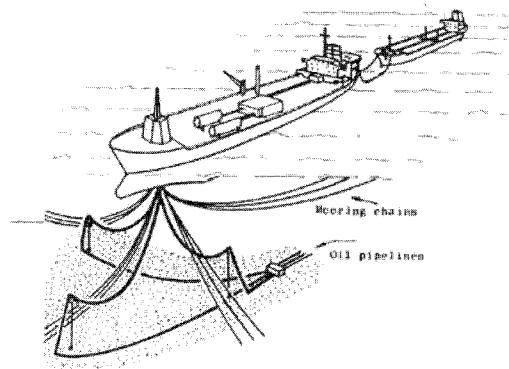
라. Spar Platform

현재 사용되고 있는 해양플랜트 중에서 가장 대형에 속하며, 하부구조로는 대형 원통형 원주(Huge Cylinder)와 그 위에 상부구조가 있다. 원주는 해저까지 닿지는 않으며, 계류를 위하여 케이블에 의해 해저에 연결된다. 현재 사용되고 있는 대형 원통형 원주의 지름은 약 20m이며 길이는 약 230m이다. 대형 원통 자체의 움직임에 의해 외부에서 주어진 운동에너지를 흡수하여 안정성을 유지한다.



마. FPSO(Floating, Production, Storage and Off-loading)

하부구조로는 배의 Hull을 사용하며, 배의 갑판 위에 Plant를 건설하여 Up-stream 공정을 수행하도록 되어 있다. 공정 후에는 Hull의 빈 공간에 원유 또는 가스를 저장하였다가 주기적으로 Shuttle Tanker에 원유 또는 가스를 하역(Off-loading)하여 육지로 운송한다. FPSO에는 생산·저장 및 하역을 위한 장비를 갖추게 된다.



3. 해양플랜트의 설계 및 해석

3.1 구성요소

가. 고려사항

구성요소를 결정하기 위하여는 요구기능·납기·원가 등이 고려되어, 몇 차례의 개념설계 과정을 거치게 된다. 주요 설계인자로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 수심 : 계류장치의 선택 및 Hull의 선택
- 환경조건 : Wave-induced motion, cyclic loading, vortex-induced motion
- 생산량 : 장비의 처리능력 및 크기
- 생산품 송출방법 : Shuttle tanker 또는 pipeline
- Hull형태
- 신조(新造)여부 : 신조 또는 Conversion
- 시추장비여부 : 생산전용 또는 시추용
- 운반 및 조립방법 : 거리, 해상 크레인 등 장비유무
- Well system
- 사용수명
- 저장능력
- 법규 : 재사용 시의 세척 등에 관한 관련 법규

나. 기타 고려사항

해양플랜트 설계 시에 연계하여 사용하는 각종 시스템 및 부대장비와의 인터페이스도 고려하여야 한다. 중요한 것은 아래와 같다.

- 전기장비
- 파이핑
- 화물처리 장치
- 압축공기·급수·오물처리 장비
- Ballast 및 Bilge system
- 소방장비
- 가스 탐지 장비
- 조명
- 연료 공급장비
- 비상차단장치
- 구명장비
- Riser

3.2 설계기준

가. Regulatory Requirements

- National regulations
- Recognized Classification Society(RCS)
- Operational requirements

- Hydrostatic Stability Requirements
- Environmental Criteria
 - Wind
 - Wave
 - Current
 - Tide
 - Water level
 - Physical property
 - Ice
 - Marine growth
 - Seismic Action
 - Subsidence

나. 하중

해양플랜트의 설계 시에 다음과 같은 하중이 고려된다.

- Dead Load
 - 해양플랜트가 갖고 있는 구조 및 장비 등에서 기인되며 변하지 않는 하중
- Live Load
 - Payload와 같이 변하는 하중으로 최대치와 최소치로 정의
- Environmental Load
 - 바람·파도·조류·결빙·지진 등에 의한 하중
- Inertial and Drag Load
 - 운동에 의해 발생하는 하중
- Construction Load
 - 조립 시에 가해지는 하중
- Hydrostatic Load
 - 물에 잠기는 부분에 대해 발행하는 부력 및 압력
- Accidental Load
 - 충돌·폭발 등에 의해 발생하는 하중
- Mooring and Riser Load

3.3 해석

설계를 검증하기 위하여 아래와 같은 해석이 수행된다.

- Structural analysis
- Fatigue analysis
- Impact analysis
- Vibration analysis
- Transportation analysis
- Installation analysis
- Cathodic protection analysis
- Up-righting analysis
- Riser dynamic analysis

4. 해양플랜트의 설계 표준화

4.1 API 해양플랜트 표준화 위원회

가. API(American Petroleum Institute, 미국석유협회)

API는 정유회사·유전개발회사·유전개발설비 제조회사 등이 석유화학분야의 기술정보와 경험을 공유하기 위하여 설립한 단체로 석유화학분야의 기술기준을 개발 보급하고, 석유산업기술 및 장비에 대한 연구개발·고품질 제품 제조 및 서비스의 제공·석유산업의 안전관련 업무수행과 석유화학관련 플랜트관련 기술교육 및 기술세미나 등의 업무를 담당하고 있으며, 석유 및 천연가스 관련업체들의 유전개발장비·동(同) 제품의 서비스·안전 및 품질 그리고 기기에 관한 인증을 위하여 API Monogram Equipment Licensing Program을 개발 하였으며, 현재 각종 밸브·파이프·시추장비·저장탱크·펌프 등을 생산하는 전 세계 기업에 인증을 시행하고 있다.

나. API RP(Recommended Practice)

API는 1961년의 허리케인 Carla 및 1964년의 허리케인 Hilda 그리고 1965년의 허리케인 Betsy에 의해 많은 수의 해양플랜트가 손상을 받아 해양플랜트 설계에 대한 설계기준 마련의 필요성을 인식하고 해양플랜트 표준화 위원회(Committee on Standardization of Offshore Structure)를 1966

년에 구성하였으며 OSC(Offshore Structure Committee)라고도 한다. OSC는 1969년에 고정식 플랫폼 설계를 위하여 API RP 2A를 제정하였다. 여기서 RP는 Recommended Practice의 약자이다. API RP는 그 이후 20여 차례에 걸쳐 수정 보완 되었으며, 주요한 것은 Table 1과 같다.

4.2 ISO(International Standard Organization) 해양플랜트 설계 표준화

API RP가 제정된 후, 범세계적인 해양플랜트 설계 표준화의 필요성이 제기 되었고, ISO 내에 있는 석유제품 표준화 기술위원회인 ISO TC67에 맡겨졌고, 그 산하에 7개의 소위원회(SC1~SC7)가 설치되었으며, 각각의 소위원회에는 Table 2와 같은 임무가 주어졌다.

ISO TC67 산하의 SC7에서 제정된 표준안은 ISO 19900 Series라 불리며, 이후 전문가로 구성된 WG(Work Groups)에서 세부안이 만들어 졌다. 각 WG의 업무는 아래와 같이 분담되었다.

- WG3 - Fixed Steel Structures
- WG4 - Concrete Structures
- WG5 - Floating Structures
- WG6 - Weight Control

Table 1 API RP

명칭	적용분야	비고
RP 2A-LRFD	고정식 플랫폼의 계획, 설계 및 건설 - LRFD 방법	LRFD : Load and Resistance Factor Design
RP 2A-LRFD-S1	Supplement 1 고정식 플랫폼의 계획, 설계 및 건설 - LRFD 방법	
RP 2A-WSD	고정식 플랫폼의 계획, 설계 및 건설 - WSD 방법	WSD : Working Stress Design
RP 2D	해양플랜트용 크레인의 운용 및 유지보수	
RP 2FPS	부유식 플랫폼의 계획, 설계 및 건설	
RP 2I	부유식 시추장비의 계류장치에 대한 현장점검	
RP 2L	고정식 플랫폼의 Heliport에 대한 계획, 설계 및 건설	
RP 2N	극지(Arctic) 파이프라인의 계획, 설계 및 건설	
RP 2RD	부유식 및 TLP의 Riser 설계	
RP 2T	TLP의 계획, 설계 및 건설	
RP 2X	해양플랜트에 대한 초음파검사 및 자기탐상 지침	
RP 2Z	해양플랜트용 강판의 품질	

Table 2 Tasks for Seven Subcommittees of ISO TC67

소위원회	임무	비고
SC1	Standard for Linepipes	
SC2	Standard for Pipelines	
SC3	Standard for Drilling Fluids and Cements	
SC4	Standard for Drilling and Production Equipments	
SC5	Casing, Tubing and Drill-pipe	
SC6	Machinery	
SC7	Offshore Structure	Production and storage of petroleum and natural gas

Table 3 ISO 19900 Series

ISO 문서번호	설 명	비 고
ISO 19900	Petroleum and natural gas industries - General requirements for offshore structures	2002.12.
ISO 19900-1	Metoccean design and operating considerations	2005.11.
ISO 19900-2	Seismic design procedures and criteria	2004.12.
ISO 19900-3	Topside structures	2009.08.
ISO 19900-4	Geotechnical and foundation design considerations	2003.08.
ISO 19900-5	Weight control during engineering and construction	2003.07.
ISO 19900-6	Marine operations	2009.01.
ISO 19900-7	Station keeping systems for floating offshore structures and mobile offshore units	2005.12.
ISO 19902	Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures	2007.11.
ISO 19903	Petroleum and natural gas industries - Fixed concrete offshore structures	2006.12.
ISO 19904-1	Petroleum and natural gas industries - Floating structures - Monohull, semi-submersibles and spars	2005.11.
ISO 19904-2	Petroleum and natural gas industries - Floating structures - Tension Leg Platforms	
ISO 19905	Petroleum and natural gas industries - Site specific assesment of mobile offshore units	2010.08.
ISO 19906	Petroleum and natural gas industries - Arctic offshore structures	2006.04.

- WG7 - Jack-ups
- WG8 - Arctic Structures
- WG9 - Marine Operations

결과적으로 만들어진 ISO 19900 Series는 Table 3과 같다.

참 고 문 헌

1. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, 1st Edition, API RP 2A, American Petroleum Institute, Washington, DC. (1969)
2. NORSK, N-004, "Design of Steel Structures", Rev. 1. (1998)
3. Snell, R., "ISO Offshore Structure Standard", Offshore Technology Conference, OTC 8421, Houston, TX. (1997)
4. American Petroleum Institute : Bulletin on Policy and Procedures for Standardization of Oilfield Equipment and Materials, API Bulletin S1, 15th Edition, Washington, DC. (1989)
5. Wasch, D.J., "Fixed Steel Standard : ISO & API Developments - ISO TC67/SC7/WG3", paper OTC 8423, 1997 Offshore Technology Conference, Houston, TX. (1997)
6. Arney, C.E., "Toward One Set of International Standards for the Petroleum Industry Worldwide", Offshore Technology Conference, OTC 6922, Houston Tx. (1992)
7. Reeve, P.T.N., Johnson, A.R., and Lautier, J., "International Standards for the Oil and Natural Gas Industries : A Review Paper", Offshore Technology Conference, OTC 7554, Houston, TX. (1994)
8. Wolfram, W.R., "Development of an ISO Standard for Floating Structures", Offshore Technology Conference, OTC 8420, Houston, TX. (1997)
9. Mangiavacchi, A., "API Offshore Structure Standards : 2006 and Beyond", Offshore Technology Conference, OTC 17698, Houston, TX. (2005) 