

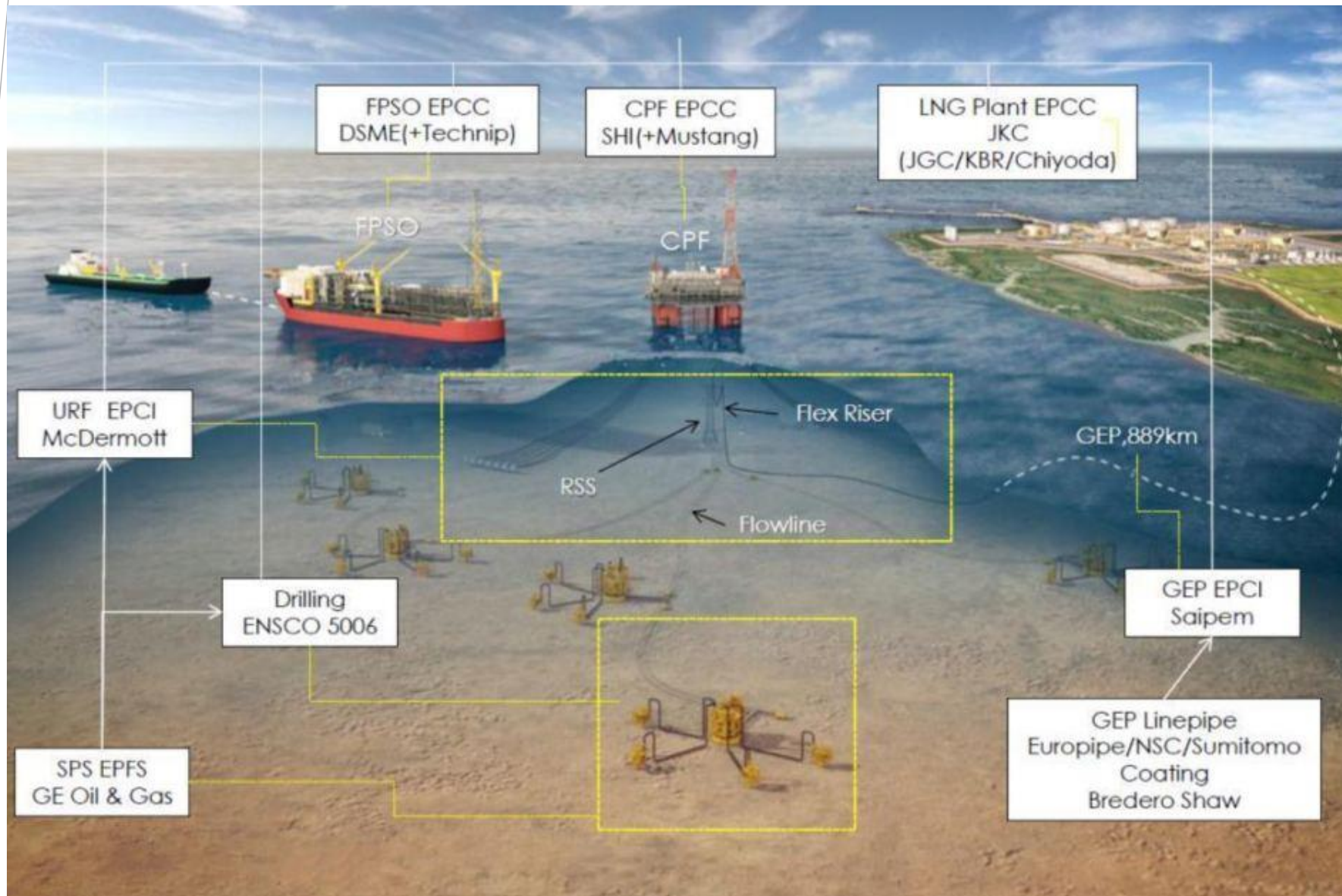
해양플랜트 공학 입문

서유택

해양플랜트

- 해양플랜트 (Offshore Plant)
 - : 주로 한국에서 많이 사용되는 어휘로 통상적으로 해양플랫폼을 의미.
- 해양구조물 (Offshore structure)
 - : 해양에 설치되는 구조물을 통칭.
- 해양플랫폼 (Offshore Platform)
 - : 오일 및 가스 시추 및 생산 설비를 설치하기 위하여 해상에 설치되는 구조물 (offshore structure)
 - : 구조물 내부에 탑재되는 해양 오일&가스 생산 시스템 (offshore oil and gas production system)

Example: Ichthys Field Development



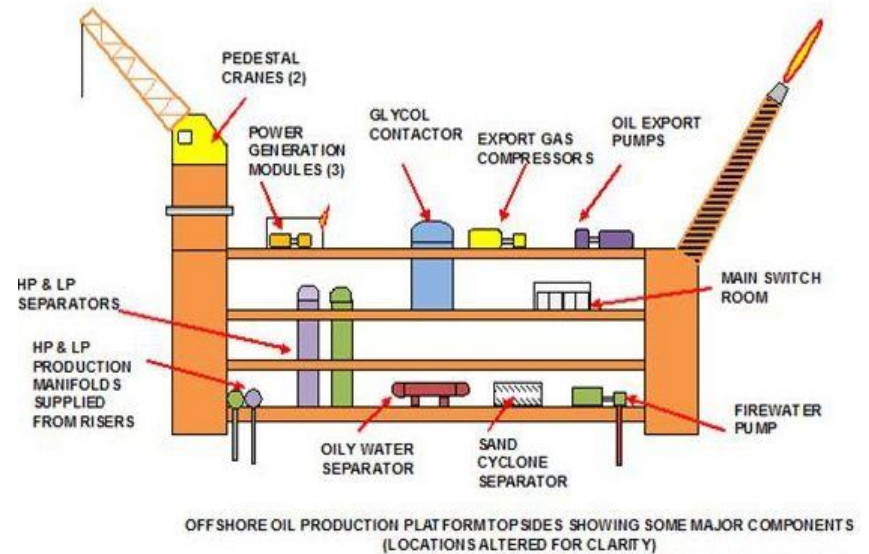
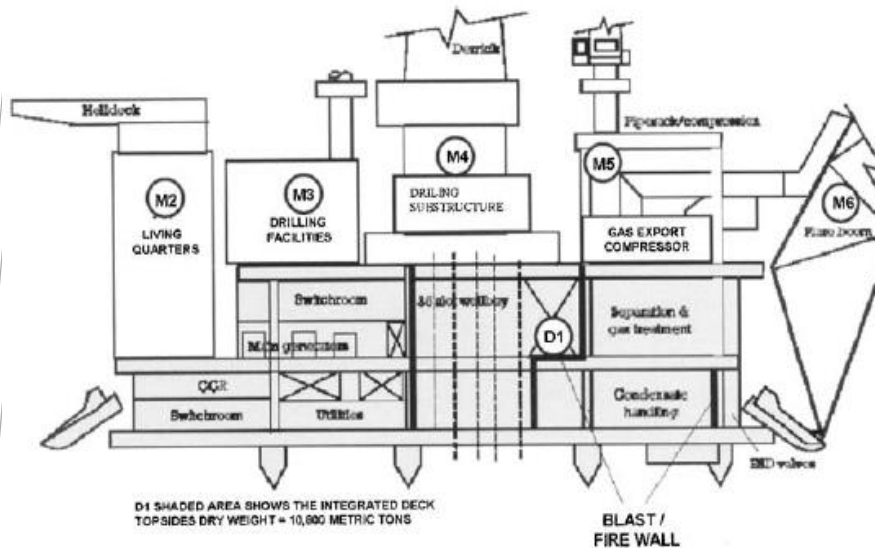
Final products and Platform selection

Products	Comments	Conclusion
Methanol	<ul style="list-style-type: none"> Initial examination undertaken prior to the full extent of the reserve being known. The size of the Ichthys resource exceeds the global market opportunity for Methanol. 	Not suitable
Gas to Liquids	<ul style="list-style-type: none"> Emerging but unproven technology on a commercial scale at the time of investigation. Technology that has been implemented since this time has been unable to achieve nameplate capacity. A market window was identified for a large scale LNG project that better suits the Ichthys reserve. 	Not suitable
Domestic Gas	<ul style="list-style-type: none"> The domestic gas market was too small to underpin the development of the Ichthys Field. Proximity to any significant demand means the delivered cost would be non competitive with other sources of domestic gas Predicted growth in the market and anticipated shortfalls in domestic supply were still not sufficient for the production rate required for the Ichthys Field 	
Liquefied Natural Gas	<ul style="list-style-type: none"> Proven technology in common use. Can be scaled to suit the size of the Ichthys Field using existing technology. Mature market with large scale sales opportunities. 	Preferred
Unfractionated LPG	<ul style="list-style-type: none"> Minimal additional processing and storage. LPG spec would restrict some marketing opportunities 	Not suitable
Fractionated LPG	<ul style="list-style-type: none"> More complex addition to processing plant Greater sales flexibility and market opportunities Ability to tailor LPG to suit buyer specs 	Preferred

Facility Type	Comments	Conclusion
Semi-submersible CPF	<ul style="list-style-type: none"> Proven technology. Provides for dehydration offshore to protect against pipeline corrosion due to reservoir CO₂ content. Suitable for the offshore conditions. 	Chosen technology
Fixed platform CPF	<ul style="list-style-type: none"> Geotechnical investigations of sea floor indicate that the substrate is not suitable a fixed platform, either piled or GBS. 	Not suitable
Direct export (no CPF)	<ul style="list-style-type: none"> Due to the CO₂ content of the reservoir the management of pipeline corrosion is a significant issue. Does not allow for the dehydration of the hydrocarbon stream prior to export to protect against pipeline corrosion The cost of a corrosion resistant pipe between the field and any onshore location is prohibitively expensive with insufficient manufacturing capability worldwide. Does not allow for removal of condensate prior to shipment. Therefore this option is not suitable for options exceeding 250km from the field due to slug handling constraints at the gas receiving facility 	Not suitable
Weather Vaning FPSO (as CPF)	<ul style="list-style-type: none"> No field proven technology to handle optimum throughput for the project and requires significant further development before it could be considered technically viable (high pressure/high throughput swivel technology) Higher level processing complexity offshore versus onshore processing and storage of liquids <i>An FPSO is required for offshore processing of condensate.</i> 	Not suitable as a CPF

상부 공정 (Topside process facilities)

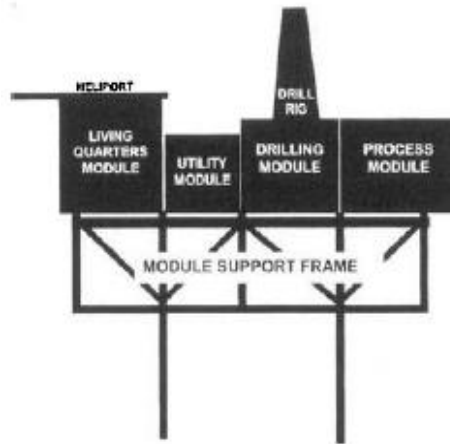
- 플랫폼 상부(topside) 갑판(deck)에는 다양한 설비가 위치
 - : 시추설비, 오일 및 가스 생산 설비, 저장 설비, 송출 설비, 유정 조절 시스템 등 운영 설비.
 - : 플랫폼에 거주하여야 하는 근무자들을 위한 거주시설
 - : 환기시스템, 풍향감지 설비, 방화벽, 모니터링 시스템, 응급정지시스템 (플레어 타워 등)
 - : 긴급탈출 시스템, 방재설비 등



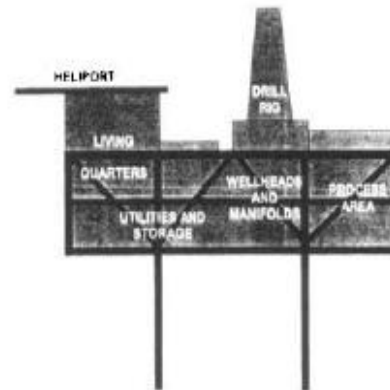
Drawn by Willie Scott 18/11/2011

갑판 (Deck)

- 하나의 통합갑판(integrated deck) 구조물인 경우도 있고, 지지프레임(MSF, module support frame)를 기반으로 다수의 단위구조물 모듈(module)이 조립되는 모듈갑판도 있음.
- 보통 상부갑판(upper deck 혹은 main deck)과 하부갑판(cellar deck) 및 그 외 추가 갑판을 포함하여 복수의 층으로 구성됨.
- 상부갑판에는 주로 시추 및 생산 주요 설비와 거주지역 등이 위치하며, 하부갑판에는 유틸리티 설비나 펌프, 배관 등의 보조 설비, 또는 wellhead, tree와 같이 낮은 위치에 설치되는 설비들이 위치



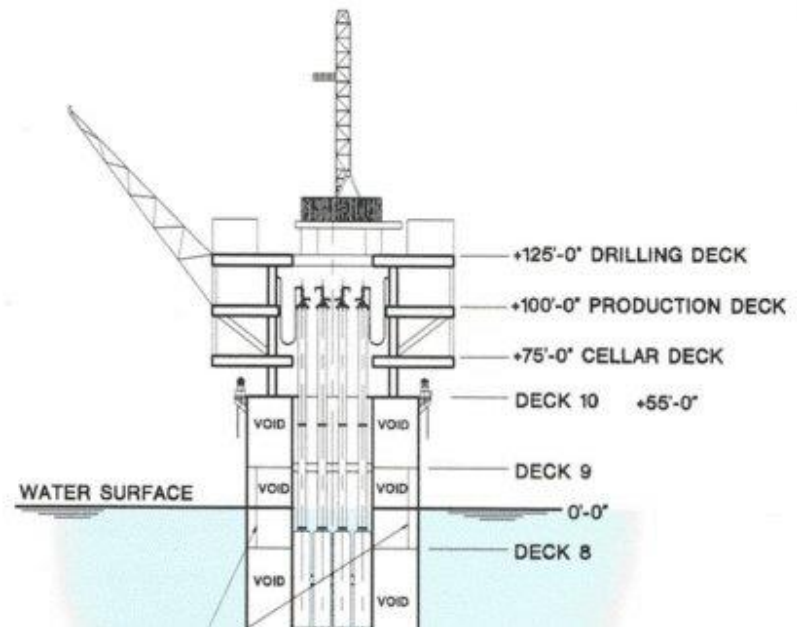
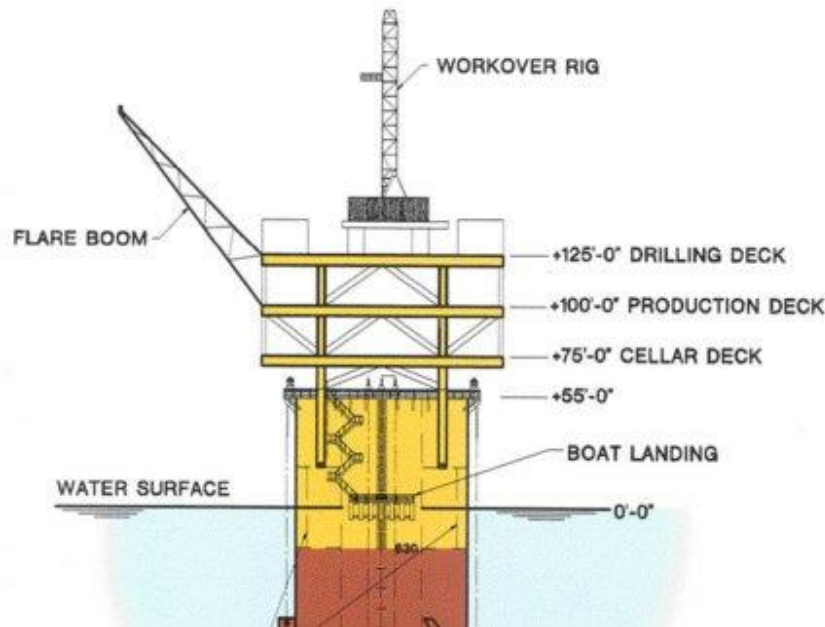
a) Modular Deck



b) Integrated Deck

Example: Diana SPAR

- 최상단에는 시추갑판(drilling deck)이 위치하며, 시추설비와 거주지역, 화학물질 저장고 등이 위치
- 그 밑에는 생산갑판(production deck)이 위치하며, 오일 및 가스 생산 공정 설비들과 발전설비, 유틸리티 설비들이 위치
- 그 밑에는 하부갑판(cellar deck)이 위치하며, 냉각수 등 공정용수 설비들과 배관, 매니폴드(manifold)가 위치



해양플랫폼의 분류

- 고정식(Fixed)

: 콘크리트 또는 강철로 된 지지 구조물이 해저면(seabed)에 직접 접촉 고정되어 하중을 지탱하며, 그 위에 갑판(deck)을 두고 설비를 올리는 형태의 플랫폼

- 자켓(Jacket Platform)
- GBS(Gravity-based Structure)
- 잭업리그(Jack-up rig/barge)

- 유연식(Compliant)

: 강철 지지 구조물로 해저면에 접촉하고 있지만 고정식에 비해 파도와 조류에 영향을 받는 탑형태의 구조물과, 부유가 가능한 구조물을 해저면에 고정시킨 형태의 플랫폼

- 유연탑(Compliant Tower)
- TLP (Tension Leg Platform)
- SPAR

- 부유식(Floating)

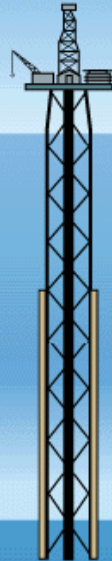
: 수면에 떠서 구조물의 부력과 6자유도 운동을 통하여 하중을 지탱하는 형태의 플랫폼

- Semi-submersible structure
- 선박형(ship-shaped) 부유플랫폼
 - FPSO (Floating Production Storage & Offloading)
 - FSO(floating storage and offloading)
 - FSRU (Floating Storage Regasification Unit)
 - RV(Regasification vessel)

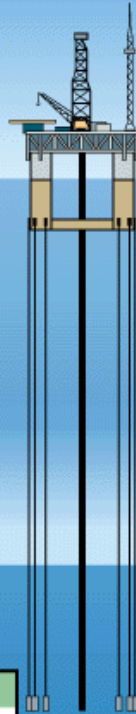
Fixed platform



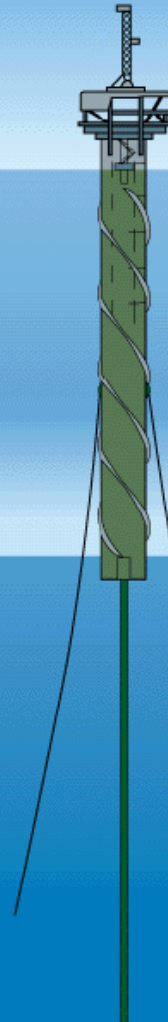
Compliant tower



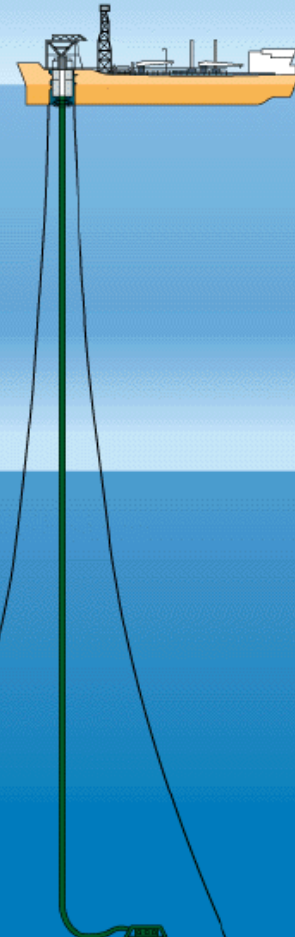
TLP



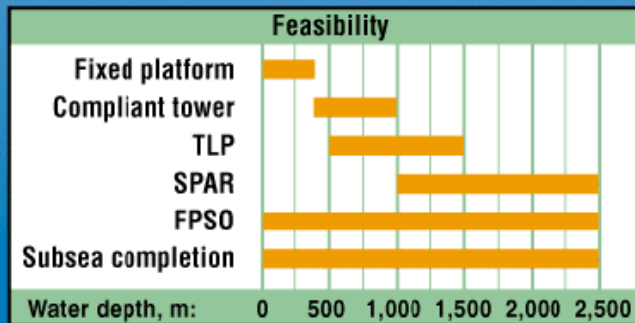
SPAR



FPSO

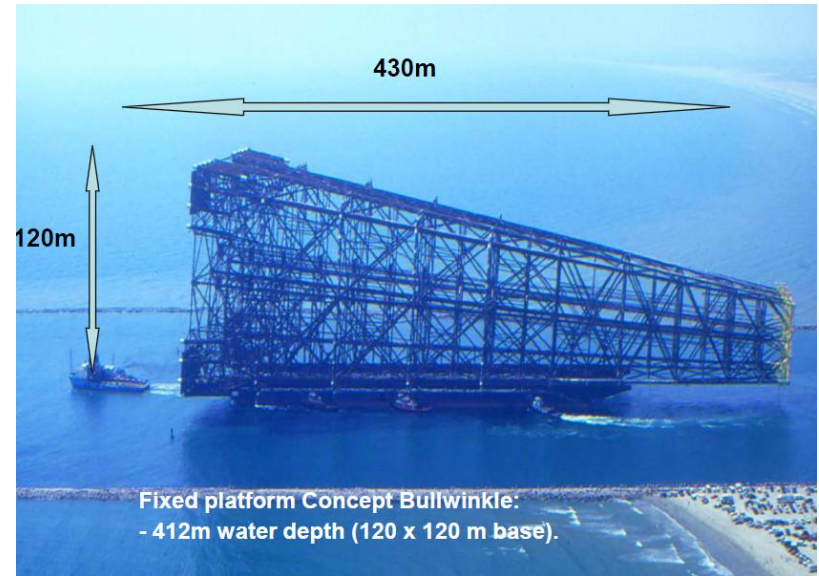
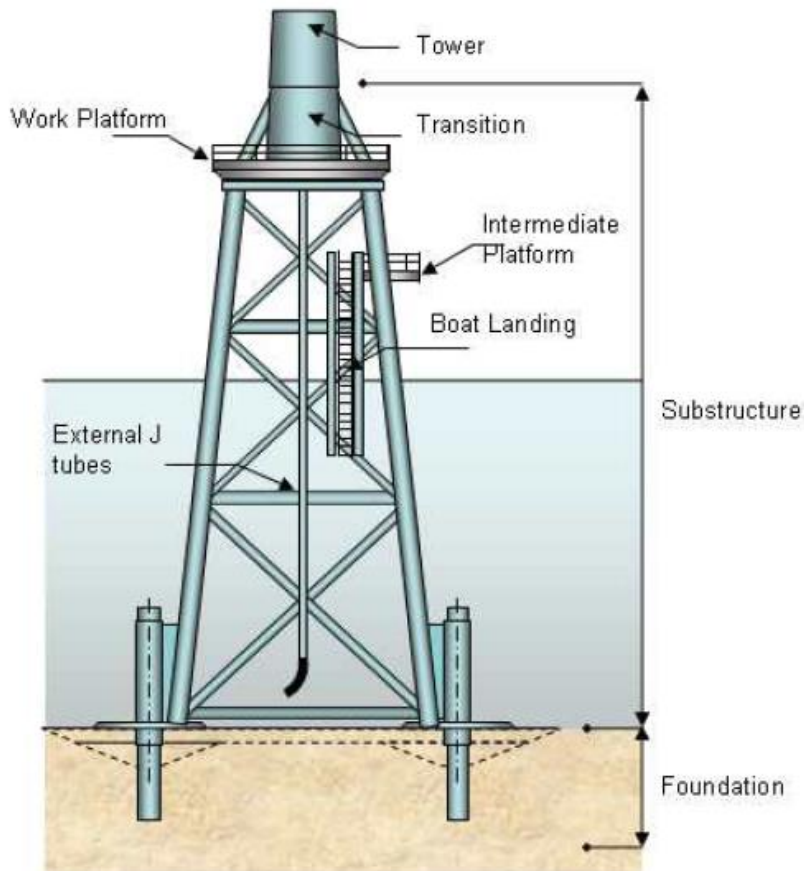


Subsea completion



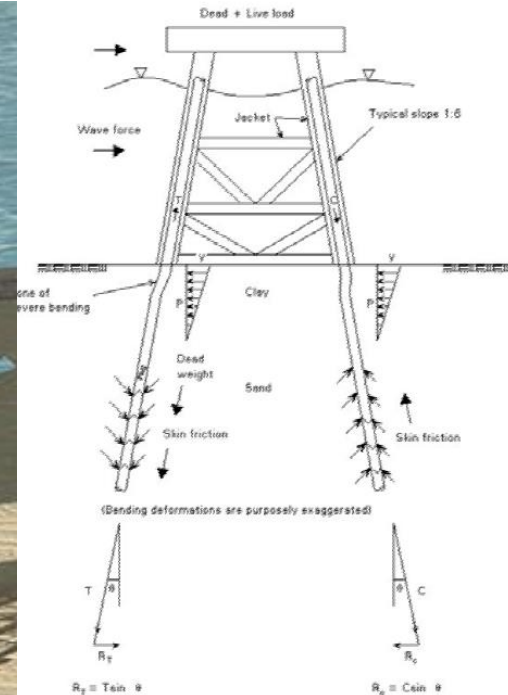
Classification of host system : Fixed type

- Fixed jacket structure
: water depth up to 520m



자켓 플랫폼(Jacket Platform)

- 통상 고정식 플랫폼이라고 부르는 경우 자켓 플랫폼을 지칭하는 경우가 대부분
- 해면에 박힌 말뚝(pile)에 기반을 둔 철골 구조물인 자켓(jacket)에 갑판(deck)을 올린 형태
- 안정성 확보 위하여 네 개에서 여덟 개의 다리를 가짐
- 시추와 생산 모두에 이용가능하며, 2,3개의 복합 갑판을 지닌 다층 형태의 플랫폼도 가능
- 혹독한 환경의 북해에서는 수심 500-600 ft (150-180m) 이하에서 사용되나, 보다 온순한 조건의 바다에서는 더 깊은 수심에도 설치가 가능
- Bullwinkle platform (gulf of Mexico, 1988): 수심 410m



운송 및 설치

- 해상에서의 제작이나 공사비용은 매우 비싸기 때문에 일반적으로 해양구조물은 가능한 많은 부분이 육상 야드에서 제작되며 해상의 설치장소로 바지(Barge)선을 이용하여 수송된다.
- 소형 자켓은 육상 제작 후 진수용 바지선으로 예인
- 대형 자켓은 원통파이프를 부력탱크로 이용하여 바지선 없이 자체의 부력만으로 설치장소까지 예인 후 해수를 주입하여 안착시킴



운송 시 필요한 해석

- 해양구조물을 바지 위에 싣고 갈 때 구조물+바지 전체가 설계 풍력에 의하여 전복되지 않고 충분히 안전한지 복원성 평가 및 검토
- 해상 운송에 따른 관성력을 고려하여 해양구조물 각 부재의 안전성 해석
- Sea fastening (고박)을 고려한 부속 부재 해석
- 특히 설치장소까지 운송거리가 긴 한국의 경우 운송을 위한 구조해석을 면밀히 할 필요가 있음.
- 북해 등으로 운송하는 경우 운송 시 환경하중에 의해 누적된 피로 손상이 구조물의 전체 수명에 영향을 미치므로 운송시 피로해석을 고려한 보강 설계를 하는 경우 도면이 변경될 수 있음.

자켓의 설치



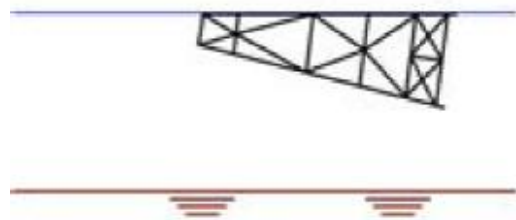
Step 1



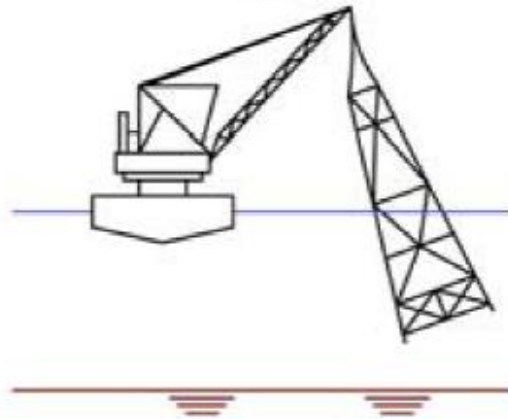
Step 2



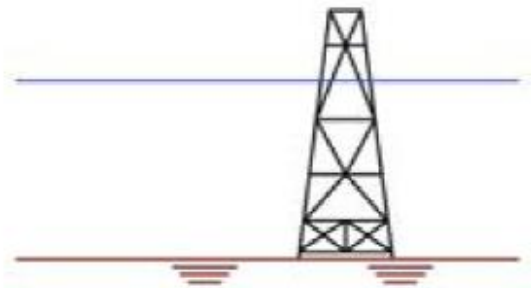
Step 3



Step 4



Step 5



Step 6

갑판 및 모듈의 설치

- 상부는 미리 육상 제작되어 바지로 운반 뒤 해상크레인으로 설치 후 용접으로 결합
- 크레인의 거동을 고려한 해석 필요
 - : 크레인이 안정적으로 들어올릴 수 있도록 모듈 하중이 크레인선의 용량을 넘지 않도록 세밀히 확인해야 함.
 - : 크레인으로 들어올리는 경우 모듈 부재에 유해한 변형이 생기지 않아야 함.

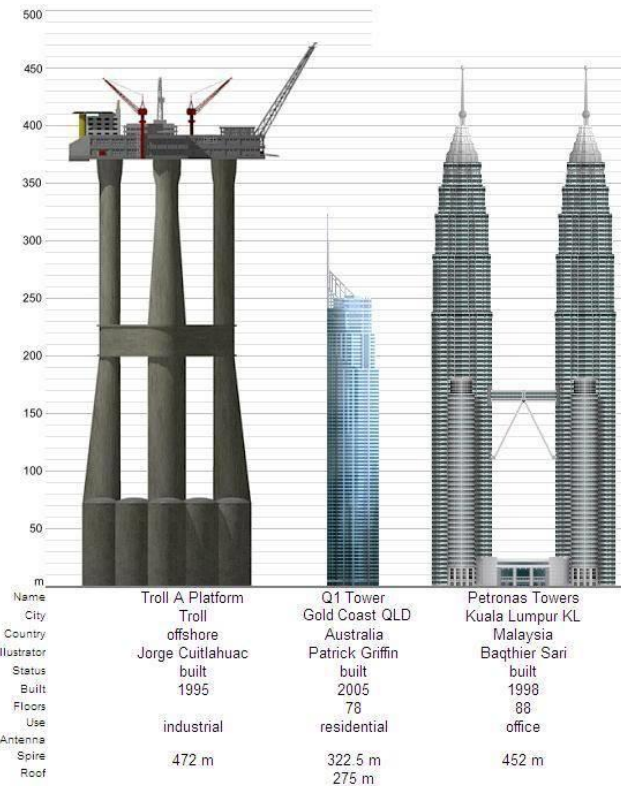


Risk of moving topside



GBS (Gravity-based Structure)

- 유럽의 북해는 폭풍 풍속 50m/s, 파고 30m 등 기상 및 해상상태가 매우 거칠어 해저지반 파일작업이 어렵고, 기상 악화시 생산된 원유를 임시로 저장할 필요가 있음.
- 빈 공간을 지닌 원통 형태의 탱크 내에 해수, 모래, 기름 등을 채워 구조물 자체의 무게로 플랫폼을 지탱하는 형태의 중력기반 구조물이 고안됨.
- 별도의 말뚝이 필요가 없거나 적은 수만 필요하므로 짧은 시간 안에 설치 가능.
- 강철 구조물도 가능하나 콘크리트 탱크를 기반으로 이용하는 condeep (concrete deepwater)이 보다 일반적
- Troll A platform (북해 Troll oil field, 1955): 수심 약 300m (총길이 470m)



<http://www.industrytap.com/see-the-largest-and-tallest-object-ever-moved-its-taller-than-the-empire-state-building/1877>

GBS 플랫폼 장점 및 단점

- 내구성이 우수하여 보수 필요성이 적고 피로에 대한 저항이 큼.
- 추운 기후와 저온에 우수한 특성
- 선천적 강성을 지니며 진동이 적음.
- 절연성, 화재 저항성이 높음
- 인장저항력이 약함.



<http://www.kvaerner.com/Products/Concrete-structures-for-offshore-platforms/>

- Concrete gravity platform



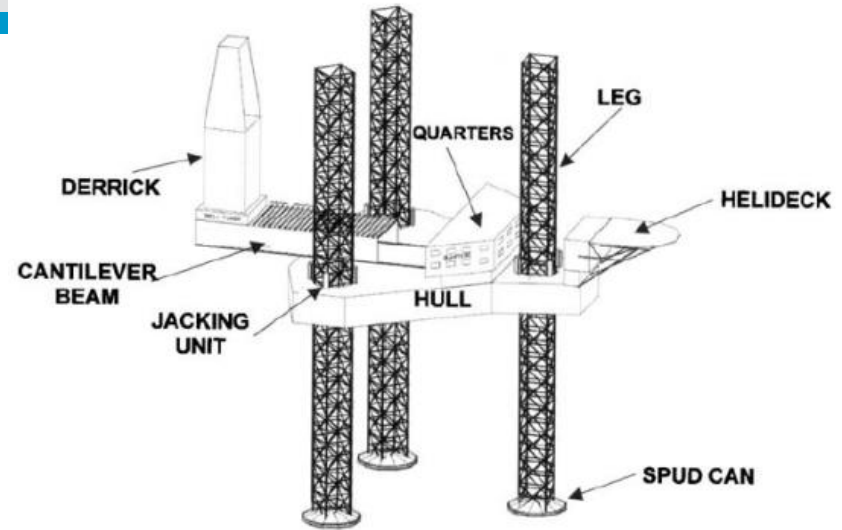
Split concept (Bridge connected platform)

- Gravity base platform with production and small jacket platform

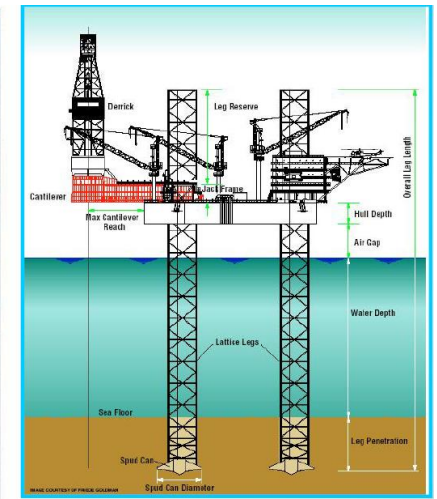


잭업 (Jack-up rig/barge)

- 유압잭을 이용, 다리 부분을 상하로 움직일 수 있는 구조물.
- 이동시에는 다리가 올라간 부유체 형태로 예인되거나, 바지에 탑재하여 이동.
- 목적지에 도착하면 다리를 내려서 해저면에 고정하고 플랫폼은 수면 위로 떠오르는 가변시설
- 운용 중에는 트러스 구조의 세 개 다리를 가진 고정 플랫폼과 같은 형태를 지니게 됨.
- 편리한 이동성 때문에 탐사용 시추선으로 많이 이용됨.



Chakrabarti, Handbook of offshore engineering, 2005



잭업 (Jack-up rig/barge)

- 다리가 큰 하중을 지탱하여야 하므로 해저지반이 연약할 경우 해저면 깊이 다리가 파묻혀 장기간 작업 후 다리를 빼내는 것이 어려움.
- 다리 하단에 스퍼드캔 등을 설치하여 지탱이 용이하도록 하며 다리를 빼낼 경우 고압의 물을 분사하여 토질을 액상화시킴.
- 고정식 플랫폼과 동등한 수준의 안정성을 제공.
- 가동 수심이 얕아서 90~120m정도가 보통이며 150m 이상의 수심에서는 운용이 어려움.



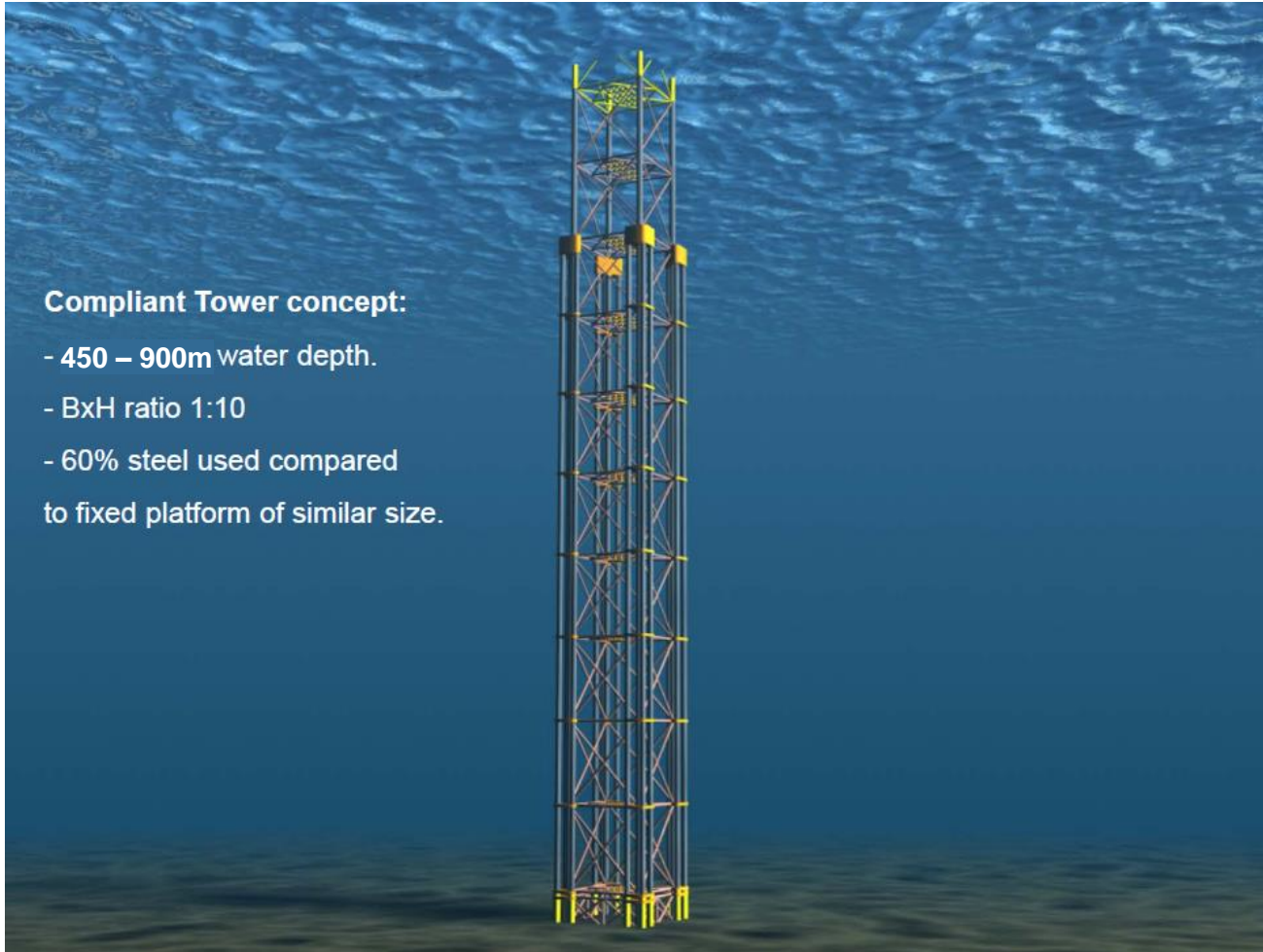
- Jack-up platform

: platforms that can be jacked up above the sea using legs that can be lowered (water depth up to 170m)



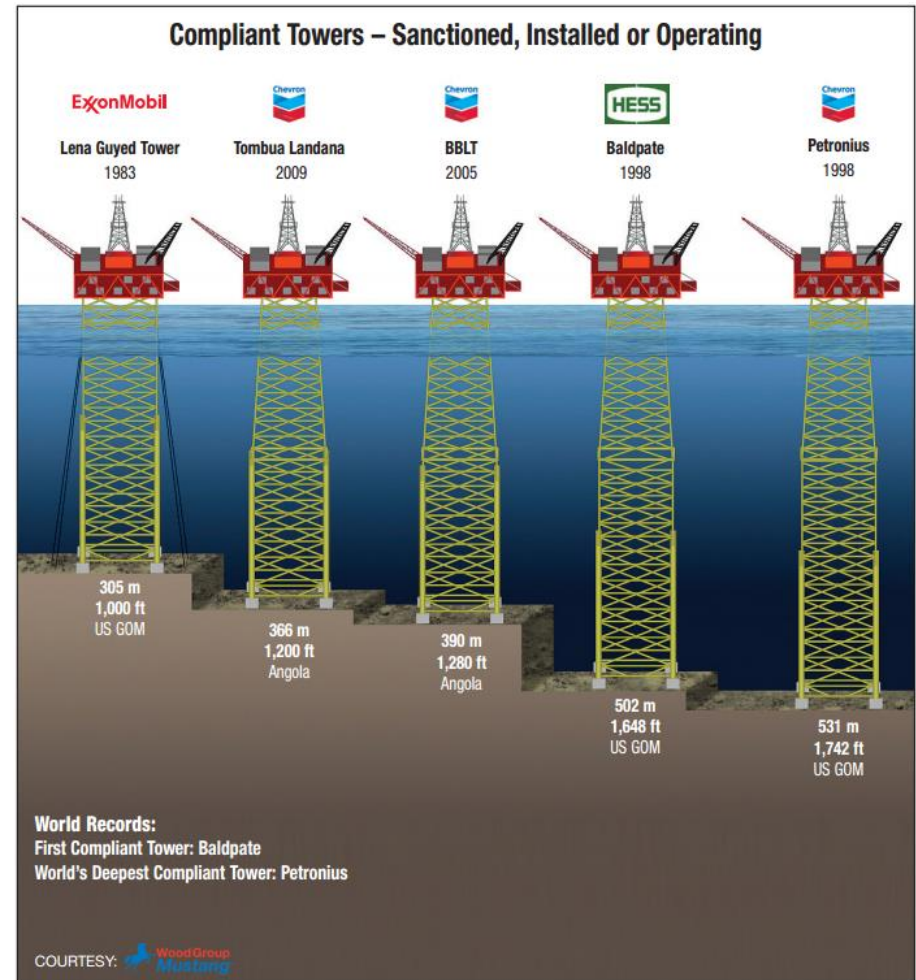
Classification of host system : Compliant type

- Compliant tower

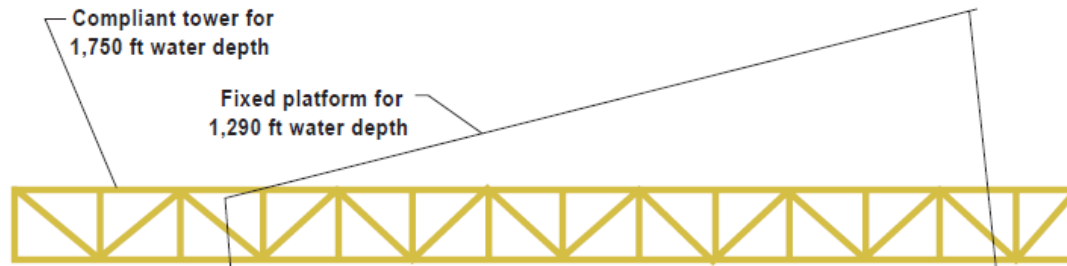
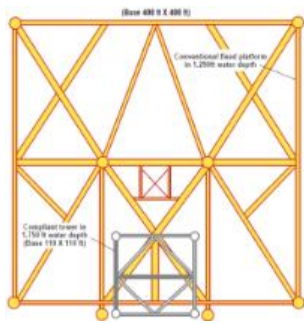


CT (Compliant Tower: 유연탑)

- 자켓과 같이 해면에 고정되는 고정식 구조물이나, 폭풍과 같이 큰 외력을 받았을 때 부유식 구조물처럼 어느 정도의 동요를 허용하도록 설계됨.
- 구조물의 최초 고유진동수는 외력의 최저 진동수보다 낮게, 이차 고유진동수는 최고 진동수보다 높게 형성되도록 설계하여 파도, 태풍 등의 외력을 유연하게 상쇄할 수 있도록 설계
- Petronius platform(GOM): 수심 535m (총 610m)



- 통상적인 고정식 플랫폼은 구조물의 최저 고유진동수가 파도 등의 외력으로 인하여 발생하는 최대 진동수보다도 크도록 단단히 고정하여 외력을 견디도록 설계됨.
- 따라서 수심이 깊어질수록 하부 구조물의 크기가 매우 커져서 설치와 운송이 어려울 뿐만 아니라 비용 또한 크게 증가.
- 하부로 내려가면서 구조물이 넓어져야 하는 자켓 플랫폼에 비하여 가볍고 경제적이며 좁은 영역만으로 설치가 가능
- 부유식에 비하면 움직임이 적고 시추용, 생산용으로 모두 사용됨.



자켓 플랫폼 대비 CT가 차지하는 하부 면적 비교 (Compliant Tower: next generation, offshore magazine)