



FPSO, Shuttle Tanker & Gantry Crane의 구조설계

글 : (주)리수엔지니어링 류기수 대표이사 / handyvlcc@naver.com

1. 서론



<그림 1 HD현대중공업, 7년 만에 수주 FPSO 'P78' 전체 조립하기 위해 싱가포르로 출항 [1]>

HD현대중공업이 7년 만에 수주한 부유식원유생산저장설비(FPSO)의 하부 구조물이 싱가포르로 출항했다. 상부 구조물(Topside)을 담당하는 싱가포르 조선소에 전달돼 FPSO의 상하부 구조물을 일체화한다. 1일 업계에 따르면 HD현대중공업은 브라질 에너지기업 페트로브라스(Petrobras)에서 수주한 8,500억 원 상당의 FPSO 'P78'의 선체(Hull) 하부 설비 작업을 완료하고 지난해 말 진수했다. P78은 HD현대중공업이 2015년 영국에 마지막 FPSO 물량을 인도한 지 7년 만에 수주한 해양플랜트이다. 싱가포르 케펠(Keppel)과 컨소시엄을 맺어 수주했다. 케펠이 상부 설비를 건조하고, HD현대중공업이 하부 구조물 설비를 맡았다. P78은 길이 354.3m, 폭 34.3m, 높이 60m, 총중량 12만 8,000t 규모의 초대형 해양플랜트이다. 향후 상부 구조물 탑재와 시운전 과정을 거쳐 오는 2025년 하반기에 인도될 예정이다.

페트로브라스는 산토스 암염하층(Santos Pre-Salt) 유전개발 프로젝트 일부인 부지오스(Buzios) 유전을 위해 FPSO를 발주했다. '바다 위 정유 공장'이라 불리는 FPSO 'P78'은 부지오스 유전에 설치돼 상업 생산을 시작할 경우 하루 18만 배럴의 원유와 720만㎥ 규모의 천연가스를 생산하고 최대 200만 배럴의 원유를 저장한다. 부지오스 필드는 브라질의 가장 중요한 유전 중 하나로, 현재 일일 60만 bpd 규모를 생산 중이다. 페트로브라스는 오는 2030년 부지오스 필드의 생산량을 2백만 bpd로 늘릴 계획이다.

한편 최근 인공지능(AI) 붐으로 전력난이 심화하면서 에너지 자원 수요가 커졌고, 경제성이 부족해 개발하지 않던 심해 자원까지 큰 비용을 들여 개발할 유인이 생긴 셈이다.[2] 특히 그간 탐사 및 시추 기술력과 노하우가 쌓여, 심해 유전은 한번 발견되면 천해 지역보다 자원량이 많아 장기적인 생산이 가능하다는 이점도 있다. 최근 고유가 상황도 장기화하면서 시설 투자비 회수가 예전보다 빨라질 것이라는 기대감도 크다.



〈그림 2 '에너지 마리타임 어소시에이츠' 보고서 [3]〉

에너지 마리타임 어소시에이츠(Energy Maritime Associates, EMA)는 '반잠수식 원유생산설비 아웃북 리포트 2024-2028' 보고서를 통해 향후 5년 내 부유식 생산 시스템 수요가 견고해 최대 1,730억 달러(약 227조 원) 규모의 해양플랜트 168기가 발주될 것으로 예측했다. EMA는 주로 FPSO와 부유식 액화천연가스설비(FLNG) 수요가 늘어날 것이라고 밝혔다.

이처럼 해양플랜트 산업은 (Offshore industry) 심해에 매장된 해양 자원을 일괄적으로 발굴, 시추, 생산하는 제반 공정이며, 통상 자원 보유국이 구획(Block) 단위로 장기간 기술 선진국에 탐사와 채굴 권리를 일정 기간 양해하여 자국 산업 부흥을 꾀하고 있다.

이에 지질학적으로 탐사되어 발굴된 심해 유정(Deep sea well)에 시추장비와 유정 사이를 이어주는 연결장치 정두(wellhead)에 설치하는 크리스마스 트리(Christmas Tree) 등 해수면 하부 설비 이후의, 자원 생산과 운송 관련한 구조체 기본 설계 내역을 고찰한다.

2. 본 론

자원 생산과 운송 관련한 구조체의 표준선 대비 유념해야 할 사항을 [표 1]에 적시하였고, 세부 내역은 건조되어 인도된 호선 사례로써 기술한다.

〈표 1 자원 생산과 운송 관련 구조체 핵심 요소〉

선형	핵심 요소
FPSO[4]	<ul style="list-style-type: none"> ☑Engineering 설계에 대한 적절한 대응 ☑Re-Docking을 필요치 않도록 충분한 Design Still Water Bending Moment ☑유정에 대한 정보 갱신으로 반복되는 부가물(Appendage) 지지부 등에 대한 구조해석과 그에 따른 국부 보강 ☑발주처 설계 변경(Change-Order)에 대한 사전 대비와 적절한 여유 설계 ☑정제 분야 국내 설계 ☑수행 이력(Track record) 보유 ☑선급은 3자 검사 (3RD Party inspection)로, 도면과 건조에 따른 제반 법규와 규정(Rule & regulation) 준수 여부 확인함
Shuttle Tanker	<ul style="list-style-type: none"> ☑주부재 파공부, 중부재 끝단 부의 실제 형상에 따른 선급 피로해석 수행과 건조 공기 준수를 위해, 사전에 발주처와 선급 협의 도출 필요함 ☑유정과 하역지 간의 왕복 운송에 필수적인 헬리덱(Heli-deck) 구조해석 ☑선급은 승인 기관으로써, 도면과 건조에 따른 제반 법규와 규정(Rule & regulation) 준수 여부 확인함
Gantry Crane	<ul style="list-style-type: none"> ☑갠트리 크레인을 포함한 기중기 설계 규정은 미국 협회 규정 "Crane Manufacturers Association of America"와, 유럽 협회의 "Rules for the design of hoisting appliances"임[5] ☑주요 구조 설계는 상부 거더(Girder)의 항복강도와 간이 해석임 ☑부양물 증가에 따른 거더 중부재 요구 강성 충족을 위해, 제철소 검사증명서(Mill sheet) 가능한 판재 두께로 구조 설계 필요함 ☑선급은 3자 검사 (3RD Party inspection)로, 도면과 건조에 따른 제반 법규와 규정(Rule & regulation) 준수 여부 확인함

2.1 FPSO

산적화물선과 유조선 개조했던 FPSO는 20세기 말 세계 최초의 신조 Girassol FPSO가 계약되었으며, 일반 상선 대비하여 차별화되는 주요 내용은 다음과 같다.

· FPSO 선체 건조 전후, Feeding design과 원유 정제 시설인 Topside structure 공정이 추가되며, 상갑판 상부 정제유 모듈(Module)과 외판 결합된 원유 유통관(Caisson Pipe) 등이 주요 구성품임

- 한정된 공기와 계약가 대비, 증가된 건조사양서와 해저 유정 정보 갱신에 따른 발주처 요구 사항 대처함
- 심해 유정의 장기간 채굴에 따른 통상 100년 주기 파고와 증가된 부식 여유치 등에 부합되도록 구조 설계가 요구됨

<표 2 실적선 기본 자료 [7]>

호선	선주	국적	톤수		인도일	
	선명	선급	기본 치수 (단위:m)			
			선장	형폭	형심	흘수
1	TOTAL	FRANCE	318K		07. 09. 11	
	AKPO	BV	310.0	61.00	30.50	22.85
2	BP ANGOLA	NETHERLANDS	325K		06. 03. 10	
	GREATER PLUTONIO	BV	310.0	58.00	32.00	23.00
3	EXXONMOBIL	U.S.A.	373K		04. 08. 31.	
	KIZOMBA B	DNV	285.0	63.00	32.30	24.45
4	SAIPEM	FRANCE	368K		04. 06. 18.	
	ERHA	DNV	285.0	63.00	32.30	24.45
5	M. P. G	FRANCE	343K		99. 11. 01	
	GIRASSOL	BV	299.0	59.60	30.50	22.77

1997년 전후 동남아시아 외환위기로 침체된 세계 교역을, 2001년 중국의 세계무역기구(World Trade Organization) 가입에 따른 물동량 증대의 유가 상승 결과는 [표 2]의 신규 대형 FPSO 건조 내역이다. 이 시기는 단기간 FPSO 대량 발주로 한정된 대형 선대 부족과 연이은 공통구조규칙 강제화에 따라 발주처 신조 수요를 모두 충족시킬 수 없었다. 그 결과 급격한 선가 상승과 조기 납기에 따른 격려금을 수령하는 경우까지 발생하였다.



<그림 3 AKPO FPSO [6]>

신규 FPSO 선형은 설치 해역에 따라 극심한 해상의 Turret Type과 통상적인 해역의 Spread Mooring Type으로 진행되었다. [표 2]의 경우는 모두 아프리카 해역에 설치되었으며, 추진기가 없지만, 일반 상선형으로 건조된 'Greater Plutonio' 선형을 제외하고 선수에 거주구 배치된 판상형(Box type)이다. 그리고 협소한 선미부를 고려하여 구조설계용 선장(Scantling Length)은 선미단(Afterpeak position) 대신 선수단(Forepeak position)을 기점 삼아, 선급과 사전 협의하여 구조 설계용 흘수(Scantling Draft)에서 외판 두께를 고려한 전장(Overall Length)의 97%로 진행되었다.

2.2 Shuttle Tanker

<표 3 실적선 기본 자료 [7]>

호선	선주	국적	톤수		선속	인도일
	선명	선급	기본 치수 (단위:m)			
			선장	형폭	형심	흘수
1	KNOT	NORWAY	112K		14.5	13.12.02.
	INGRID KNUTSEN	DNV	239.00	44.00	21.50	15.00
2	KNOT	NORWAY	123K		15.10	13.08.15.
	HILDA KNUTSEN	DNV	257.59	46.00	22.70	15.00
3	KNOT	NORWAY	157K		14.50	13.01.02.
	CARMEN KNUTSEN	DNV	264.76	48.00	23.10	16.00

200만 배럴(Barrel) 내외의 대형 FPSO 적재된 원유를 보통 보름(15) 정도 주기로 운송하는 [표 3]의 셔틀탱커(Shuttle Tanker)는, 일반 유조선 대비 아래 특성이 추가된다.

- FPSO로부터 채굴된 원유 운송 용도의 액체화물 선적장치(Bow loading system)의 선수부 추가
- 원유 적하역 시, 위치 유지를 위한 전방위추진기 (Azimuth thruster) 추가



<그림 4 INGRID KNUTSEN Shuttle Tanker [8]>

특히 [그림 4]의 화물 양하역은 화물창 내부 설치된 수중펌프로 가동됨으로, 중부재(Primary member)인 스트링거 구조(Stringer structure)는 횡격벽 선미부에 위치하였고, 기관실 격벽 전방에 위치한 펌프실(Pump room compartment)이 필요하였다.

2.3 Gantry Crane

<표 4 실적선 기본 자료 [9]>

호선	선주	국적	Rated load (ton)	Quantity (set)	인도일
		선급	기본 차수 (단위:m, m/min)		
			Span	Lift height	Host. speed
1	sembcorp marine	SINGAPORE	15,000	2	19.12.05.
		ABS	165.0	118.00	0.2 / 0.4

국내 대형 조선소의 이(2)기 권상형 꼬네 형식(Kone type) 대비하여, 최대 16기 권상 가능한 [표 4] 콕스 형식(Kocks type)의 갠트리 크레인으로 권상 효율성을 극대화할 수 있다. 구체적으로 FPSO 공정의 2/3 내외는 선각 건조 후 진행되는 Topside Module과 Caisson structure 등의 지지부 보강과 탑재 공정이며, 전체 과정에 부합되도록 수행함이 재무 성과 판정의 관건이다.

한편 대부분의 자원 보유국에서 규정한 최소 물품 수급 이외의 전문적인 기자재 대부분은, 여전히 구미 벤더(Vendor)에서 조달되도록 제조자목록(Maker list)에 정려되어 있다.



<그림 5 15,000톤 갠트리 크레인 [9]>

[그림 5]는 2018년 국내에서 일괄(Turn-key) 수주하여 설계-조달-설치에 성공한 [표 4]의 새로운 방식 크레인이며, 최대 권상 능력의 급격한 확대에 경제적인 해양구조물 건조 방식이 구현되었다.

3. 결론

주기적인 세계 경제 변혁과 발전에 따른 물동량 운송 및 자원 개발 수요에 대한 선제적인 대비가 요구되는 시대이다. 이에 30여 년 전 동구권의 체제 변화와 뒤이은 단일 체제의 세계 경제 개방으로, 20세기 말, 21세기 초의 중국 WTO 가입과 리먼 사태 직후 등 세(3) 차례 심해 유전개발을 위한 집중적인 FPSO와 Shuttle Tanker 발주가 이루어졌다. 다행히 우리 산업계는 기존 과정을 모두 경험하였기에, '2050 탄소 중립 시대'에서도 축적된 기술을 충분히 발휘한 경쟁력 있는 심해 유전개발을 고대하며 글을 마친다.

참고문헌

- [1] 길소연, ["2028년까지 해양플랜트 168기 발주된다...총액 227조원" 장미빛 전망], <https://www.theguru.co.kr/>
- [2] 강다은, [전기 수요 폭증에 '심해 유전' 각광], <https://www.chosun.com/>
- [3] 길소연, [HD현대중공업, 7년 만 수주 FPSO 'P78' 전체 조립위해 싱가포르로 출항], <https://www.theguru.co.kr/>
- [4] 류기수, [VLCC, FPSO & FWSO 구조 설계와 핵심 요소], <https://www.snak.or.kr/>
- [5] 류기수, [세계 최대 갠트리 크레인], <https://www.snak.or.kr/>
- [6] [FPSO AKPO], <https://www.marinetraffic.com/>
- [7] 현대중공업, [PERFORMANCE RECORD], <https://english.hhi.co.kr/>
- [8] [Knutsen Group], <https://knutsenoas.com/>
- [9] 상상인인더스트리, [E-BROCHURES], <http://sangsangin-industry.co.kr/>