

해저 해양플랜트 동향 및 해저 Foundation 기술 개발



지 성 현

현대건설
연구개발본부 부장
(shjee@hdec.co.kr)



이 규 열

현대건설
연구개발본부 사원
(markmac@hdec.co.kr)



윤 준 응

현대건설
연구개발본부 과장
(juyoun@hdec.co.kr)



김 동 준

현대건설
연구개발본부 차장
(djkim@hdec.co.kr)



최 재 형

현대건설
연구개발본부 부장
(jhchoi@hdec.co.kr)

1. 서론

최근 육상 및 천해자원 고갈과 신흥국의 에너지 수요가 급등하여 유가 상승 및 해양유전 및 가스전 개발이 증가하고 있다. 이에 따라 해저에 매장되어 있는 석유 및 가스를 채굴, 분리, 이송, 전처리, 저장·하역을 수행하는 해양플랜트의 수요 역시 급증하여 관련 산업이 발전하고 있다. 특히 심해 석유 및 가스 생산은 1990년대 중반부터 괄목할 만한 성장을 보였다. 세계적으로 석유 및 가스의 주요생산지 중 하나인 멕시코 만의 경우, 현재 수심 1,000m 이상에서 생산되는 양이 전체 생산량의 절반이상을 차지하고 있으며, 향후 개발 예정인 유전의 대부분이 수심 1,000m 이상의 심해에 위치하고 있다.

석유 및 가스 생산을 위한 해양플랜트 설비는 해상에 노출되어 있는 고정식 플랫폼 또는 FPSO와 같은 부유식 생산설비와 해수면 아래에 설치되는 다양한

생산·처리 설비(Subsea Production & Processing System), 그리고 이를 연결하는 URF(Umbilica, Riser, Flow Lines)로 구성된다. 이러한 다양한 해저 해양플랜트 설비의 설치산업은 깊은 수심, 파랑 및 조류의 영향, 유지보수가 용이치 않은 해역의 특성상 고도의 기술과 대형 해상전문설치장비가 요구되어 분야별 오랜 사업경험을 가진 Technip, Subsea7 등의 전문업체들이 독식하고 있으며, 최근 들어 해당업체들은 인수합병 등을 통해 해저시스템 엔지니어링부터 설치까지 독자적으로 수행하고 있는 실정으로 신규진입에 어려움이 많은 시장이다. 또한 미국, 유럽등 선진국가 뿐만 아니라 후발 주자로 일본, 싱가포르 등에서도 해양플랜트 산업 육성을 위해 국가적인 노력을 기울이고 있는 추세이다.

이처럼 각국에서 해양플랜트 산업을 육성하는 이유는 해양플랜트 시장의 지속적인 성장 가능성과 고부가가치 산업으로서 경제적인 파급효과가 크기 때문이라

할 수 있다. 본 고에서는 해저 해양플랜트 산업에 대한 전반적인 동향 및 해양플랜트의 여러 세부 분야중 지반공학과 밀접한 관계가 있는 Foundation 기술 개발에 대해 설명하고자 한다.

2. 해저 해양플랜트 산업 분석

심해 해양플랜트의 4대 Value Chain은 Oil & Gas 산업에서 가장 큰 부가가치를 창출하는 주요 공정으로, 그림 1과 같이 Exploration & Drilling, Floating Platform, Pipelines, SURF, Subsea Plant로 구분되며, Oil & Gas의 생산과 처리단계에 집중되어 있다.

그림 2를 보면 전체 Value Chain에서 Subsea Plant와 Pipelines의 구성 비율은 약 50%정도임을 알 수 있으며, 심해저로 갈수록 Subsea Plant와 Pipelines의 비중이 증가한다. 심해 해양플랜트 시장 규모는 2008~2009년에 발생한 세계금융위기로 인하여 잠시 증가세가 주춤하였으나, 2011년 이후 급격한 증가 추세를 보인다.

전체 해양플랜트에 대한 세계시장은 2015년 2,300억\$로 예상되며 2020년 3,200억\$, 2030년 5,000억\$로 급증할 것으로 예상되고 있다.

지식경제부(현 산업통상자원부)는 2012년 '해양플랜트산업 발전방안'에 대한 보고를 통하여 해양플랜트 수주액을 2011년 257억 달러에서 2020년까지 800

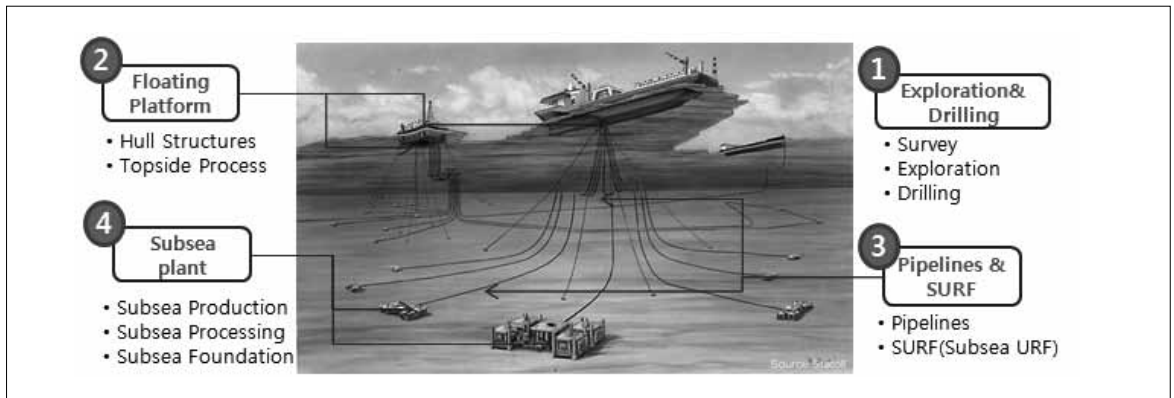


그림 1. 해저 해양플랜트의 4대 Value Chain

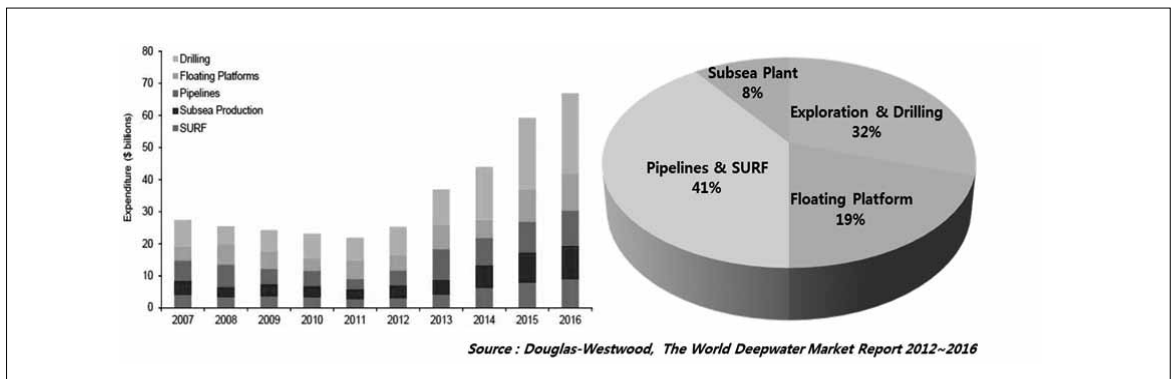


그림 2. 4대 Value Chain의 시장동향 및 사업구성 비율

억 달러로 3배 이상 증가시키고, 엔지니어링, 기자재 등 국내 수행비율도 2020년까지 60%로 높이기로 발표하였다. 이를 위한 주요 추진대책으로 ① 국산기자재의 경쟁력 강화, ② 전문인력 양성을 통한 엔지니어링 역량 확보, ③ 프로젝트 개발에서 엔지니어링·건설에 이르는 종합역량 확보, ④ 해양플랜트 산업의 클러스터 기반 조성 등을 골자로 하는 종합 육성방안을 마련하였다. 또한 국내 대형 조선사들도 세계적인 선박 발주량 정체 및 중국의 추격으로 인하여, 대체 시장으로 각광받고 있는 해양플랜트에 대한 사업비율을 50%이상으로 높이기 위하여 치열한 수주경쟁을 벌이고 있다.

3. 국내 기술동향 및 시장현황

국내 대형 조선사들이 수주를 많이 하고 있는 해상플랜트의 경우, 선박에 해당되는 Hull Side는 경쟁력을 보유하고 있으나, 플랜트에 해당되는 Topside는 엔지니어링 및 핵심 기자재의 상당부분을 해외 선도업체에 의존하고 있어 이에 대한 기술 개발이 시급하다.

또한, FEED(Front-End Engineering Design)설계에 필요한 개념 설계 기술, 위험도-신뢰도 평가 및 제어와 관리기술, 기자재 패키지 설계 기술이 부족하여 FEED 엔지니어링을 해외에 의존하고 있는 실정이

므로 독자적인 설계 능력 향상이 필요하다.

국내의 경우 Subsea System 분야 진입이 늦어 현재 보유역량 및 경쟁력은 상대적으로 미흡하나, 조선 분야에서 기 보유한 성장기반 및 관련 핵심기술을 이용하여 조기에 역량을 확보함으로써, 해양플랜트 시장의 통합발주 (해상플랫폼 + Subsea System) 추세에 선제적으로 대응하기 위하여 현재 국가적으로 대·중소기업 동반성장을 위한 산업생태계 구축을 위한 R&D를 적극 지원 중이다. 해양플랜트 전체 분야에 대한 R&D사업 현황은 표 1과 같다.

4. 해외 기술동향 및 시장현황

4.1 주요국 동향

해저 해양플랜트기술은 해양선진국의 특정 기업이 개발에 착수했지만 아직 개념 설계 또는 시험 운전 단계의 초기단계 분야가 많으며, 해상장치를 단순화하여 해저 설비화하면서 가스 및 원유 생산의 효율을 극대화하고, 안전 및 환경 문제를 해결하기 위한 기술개발이 진행 중이다.

또한, Subsea 환경에 적합한 신개념 부유체 개념에 대한 연구개발이 진행 중이며, 설치기술은 기술의 경험의존성, 초기투자 및 높은 진입장벽으로 인해

표 1. 해양플랜트 관련 국내 R&D 사업 현황

구분	주관부서	사업 목적	주요 내용
산업원천 개발사업	산업통상자원부	해저생산플랜트 설계 안정성 평가 및 심해 설치 기반 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> Subsea 시스템의 설계 안정성 평가 기술 개발 해양플랜트 설치·설계 핵심기술 개발
동남광역경제 선도사업	산업통상자원부	해양플랜트 글로벌 허브 구축	<ul style="list-style-type: none"> FPSO Topside 기자재 및 패키지 국산화 기술 개발
플랜트기술 고도화사업	국토해양부	LNG플랜트 시스템 엔지니어링 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 육상 LNG 플랜트 기술 개발 및 LNG FPSO 응용 기술 개발
미래산업선도 기술개발사업	산업통상자원부	심해자원 생산용 친환경 해양플랜트 개발	<ul style="list-style-type: none"> 신시장 창출 및 심해 해양플랜트 사업화 실현을 위한 Total Solution Provider 역량 확보

표 2. 해외 주요 국가들의 기술개발 동향

구분	주요 내용
미국	1992년도 이래로 현존하는 Deepwater 기술의 향상을 위한 "DeepStar"와 안전한 에너지를 위한 연구협력체 : RPSEA (Research Partnership to Secure Energy for America)"를 조직하여 R&D 진행 중
EU	1999년에 Oil & Gas 회사를 중심으로 ITF(Industry Technology Facilitator)를 결성하고, 자원개발에 45M£를 투자하여 151개 공동 프로젝트 수행
노르웨이	Oil & Gas 사업에서 장기간 독점권을 확보하고, 자국의 대륙붕에 위치한 석유자원의 지속적이고 안정적인 개발을 위하여 DEMO 2000 프로그램 진행 중
캐나다	1992년에 2개의 프로젝트인 Cohasset-Panuke와 Balmoral Field를 통해서 '90년대 중반에 매일 최대 40,000 배럴의 원유를 생산
중국	해양공사설비발전 5개년 계획에 따라 지난 5년간 180억달러가 투자됐으며, 향후 5년간 450억달러를 추가로 투자할 계획. 해안선 12.5Km를 따라 세계 최대 해양플랜트 건조기지를 구축하고 있으며, 중국국영석유기업의 투자에 힘입어 심해유전 개발 등을 계획하고 있음.

표 3. 해외 후발 경쟁국의 해양플랜트 산업 동향

구분	주요 내용
일본	일본국제석유개발회사(Inpex)는 인도네시아 Masela광구의 90%의 지분을 갖고 직접 광구개발에 나서고 미쓰비시는 2종의 NG-FPSO선형개발을 완료. 일본 이시카와 지마 중공업(이에)은 브라질 현지법인을 설치해 페트로브라스 프로젝트에 참여하고 있음.
브라질	브라질은 국영석유업체인 Petrobras를 주축으로 '자국건조주의 원칙'을 고수하며 선진해양국가들의 현지투자를 유도하고 있음. 지난해 34억6000만달러 규모의 부유식 원유생산저장하역설비(FPSO) 하부선체 8기를 수주함.
싱가폴	싱가폴은 동남아시아 해양플랜트의 메카로 잭업(Jack-up)과 FPSO 개조선 등 틈새시장에서는 세계시장을 이미 독점하고 있음. 고정식 시추설비인 잭업(Jack-up)의 경우 지난해 전세계적으로 58억달러규모 23기가 발주됐음. 이 가운데 싱가포르가 19기를 수주하면서 거의 독점하고 있고, 지난해 중국이 4기를 수주하면서 시장에 진입.

*출처 : 조선자료집, 2014(한국조선해양플랜트협회)

Saipem, Heerema, Technip 등 극소수의 대형 전문 업체들이 장악하고 있는 분야이다. 또한 심해 진출이 늘어나고 신개념 구조물이 등장함에 따라 기존의 경험 중심적인 기술에서 시뮬레이션 및 모형시험 검증을 통한 기술의 개발 및 축적이 이루어지는 추세이다. 해외 주요 국가들의 기술개발 동향은 표 2와 같다.

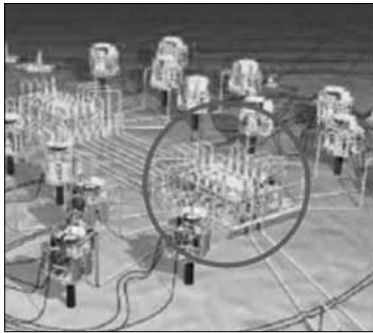
4.2 후발 경쟁국 동향

최근 전세계 에너지 수요와 맞물려 해양플랜트 산업이 급성장함에 따라 기존에 시장을 주도하던 미국과 유럽 이외에 일본, 브라질, 싱가포르 등이 해양플랜트 산

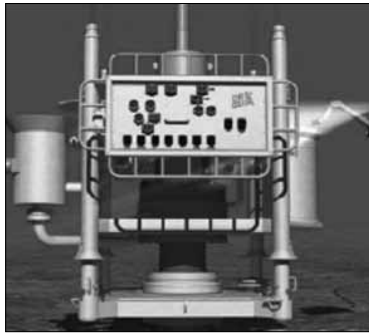
업을 키우기 위해 국가적 노력을 기울이고 있다.

5. 해저 해양플랜트 Foundation 기술 개발

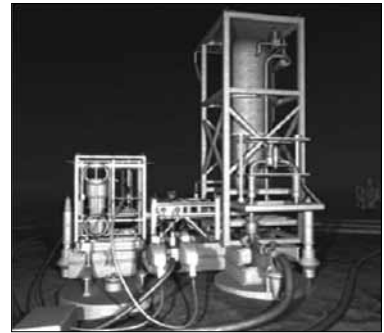
앞서 설명한 해저 해양플랜트의 여러 세부 분야 중 지반공학과 밀접한 관계가 있는 분야는 해저 플랜트 구조물 설치 및 지지를 위한 해저 Foundation 기술이다. 해저 플랜트 구조물로는 유정으로부터 Oil & Gas를 생산하는 Subsea Tree, Manifold와 Control System, 해저에서 기본적인 프로세스 처리를 위한 Subsea Separation, Pump, Compression Station



(a) Manifold



(b) Subsea Tree



(c) Subsea Separator

그림 3. 해저 플랜트 구조물

구조물, 처리된 Oil & Gas를 FPSO와 같은 상부구조물로 이송하는 Flowline, Pipeline, PLET(Pipe Line End Terminal), Jumper, Connection System이 있으며, 이들 구조물을 지지하거나 고정하기 위해 기초와 앵커가 이용된다.

현재 해저 해양플랜트 기초 개발을 위하여 표 1에서 소개한 산업통상자원부 미래산업선도기술개발사업 “심해자원 생산용 친환경 해양플랜트” 국책연구과제의 4 세부과제로 현대건설, 한양대, KAIST, 에드벡트, 현대중공업, 대우조선해양 등이 참여하여 2012년 6월부터 총 6년간 연구를 수행하고 있다.

해저 구조물 기초로는 수심이 깊어짐에 따라 파일 항타가 어려우므로, 강성이 확보되는 해저지반의 경우 철판 등을 이용하여 해저접촉면을 확장시키는 Mat 형태의 기초가 이용되며, 보다 연약한 지반의 경우 석션 버켓기초가 널리 이용되고 있다. 석션 버켓기초는 버켓기초의 해저면 자중관입 후 펌프를 이용하여 버켓 내부의 물을 배출시킴으로써 버켓 내외부의 압력차를 이용하여 관입시키는 기초로서, 관입을 위해 대형 장비가 필요하지 않고 대형 기초를 빠른 속도로 설치 가능하고 지반 관입에 따른 하중 지지성능이 우수하여 해저 지반에 해저 장비 및 구조물을 지지하기 위해서 활용도가 매우 높은 기초 형태이다.

해저 장비 및 구조물의 경우 구조물의 자중에 의한 수직력 이외에 설치 및 유지보수중 낙하하는 물체에

의한 충격하중, 조류, 선박의 닻이나 어구 등에 의한 수평하중, 지진하중 등 다양한 외력이 작용하게 되고, 구조물의 종류에 따라서도 설계 하중이 달라지므로 대상 구조물별 하중조건을 고려한 설계기법이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 하중조건을 고려한 최적의 석션 버켓기초 적용을 위한 설계기법을 정립하고 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 그리고 석션 버켓기초의 관입성능 평가 및 향상 기법 개발을 위한 연구를 통하여 심해저 대상지반에 석션 버켓기초를 성공적으로 설치할 수 있는 기술을 확보하고자 한다.

이를 위하여 ABAQUS, FLAC, PLAXIS 등의 3차원 수치해석기법을 이용하여 해양플랜트 석션 버켓기초의 지지력 및 관입성능 평가기법, 버켓구조물 설계 기술을 확보하기 위한 연구를 진행 중이다. 이러한 수치해석 수행결과를 바탕으로 설계기법 및 성능향상 기법을 개발하고, KOCEP 지오센트리퓨지 실험센터의 원심모형실험 장비를 이용하여 개발기술의 성능을 평가, 검증하고 있다. 또한, Onshore와 Nearshore에서 Pilot Test를 수행함으로써 설치 및 시공관리 기술을 구축하고 개발기술을 검증할 예정이다.

6. 맺음말

최근 중국이 막강한 자금력과 지원을 발판 삼아 해

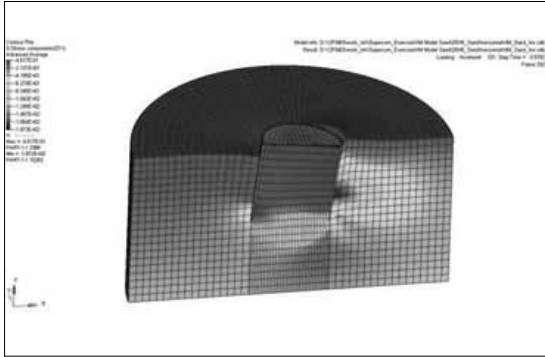


그림 5. 석션 버켓기초 수차해석 예



그림 6. KOCEC 원심모형실험장비

양플랜트 분야에 적극 투자하며 성장하고 있어 국내 조선업계가 긴장하고 있다고 한다. 중국은 지난 2009년부터 해양에 관한 사업을 조선과 분리시켜 육성하는 방안을 수립하고 자국의 자금력을 통해 해양플랜트 사업 인프라 구축에 적극적인 모습을 보이고 있다.

개발지역 또한 멕시코만, 북해 등에서 신흥 해양지역으로 떠오르는 아프리카, 남미, 동남아 등으로 옮겨가는 추세로 잠재되어있던 개발 및 성장의 가능성이 열려 시장이 더욱 확대되었다고 볼 수 있다.

아직까지는 심해유전 개발 등 높은 기술력이 요구되는 사업에서 기술력을 보유한 국내 조선업계가 유리한 위치에 있다고 한다. 해양플랜트는 북해, 북극해 등 극악의 조건에서도 안전하게 운행되어야 하므로 높은 수준의 기술력과 관련 산업 인프라구축이 요구되기 때문이다.

그러나 우리나라는 해양플랜트의 건조·제작 분야에서 세계 정상 수준이지만 설치나 엔지니어링

등 관련 서비스 산업에 있어서는 네덜란드, 일본, 싱가포르, 심지어는 중국보다도 뒤쳐져 있는 만큼 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 방식 이후 설치, 엔지니어링 등 서비스 분야에도 적극적으로 진입해야 할 것이다.

앞으로 급성장하는 신흥국의 에너지 수요증가로 심해저 유전개발이 보다 가속화 될 예정이며, 심해저 유전개발 뿐만 아니라, 기존에 경제성 문제로 개발되지 않은 얕은 바다의 소규모 유전개발에 있어서도 해저 생산 및 배송설비기술개발이 핵심 역할을 담당할 것으로 예상된다. 이와 같은 해저 생산시스템 장치 및 구조물, 파이프라인 시장 진입을 위해서는 설계부터 제작, 설치 및 시공까지 종합적으로 수행하기 위한 통합기술 개발이 중요하다. 또한 현재 개발 중인 Subsea Plant Foundation 개발 기술이 우리나라가 해양플랜트 시장에서 보다 경쟁력을 확보하기 위한 하나의 축이 될 것이라 사료된다.