

해양플랜트의 종류와 동향

해양플랜트(주로 원유 및 가스 플랜트)의 종류를 소개하고 해양 개발에 따른 변화 및 미래 동향 등에 대한 기본적인 지식을 제공하고자 함.

김 종 배

현대중공업(주) 해양 공사기술부(kimj@hhi.co.kr)

해양에 대한 인류의 인식은 원시시대 고기를 잡아 생활하던 시절 식량의 공급원으로부터 시작하여 시간이 흐르면서 배를 띄워 이동하며 사람과 화물을 운송할 수 있는 험한 바닷길로 이용하다가 현재는 자원의 마지막 보고로 다분히 국제적인 이해관계의 영역 개념으로 변화하고 있다. 해양 플랜트의 시작은 가까운 해안(영해)의 얕은 수심에 나무로 지은 간단한 구조물로부터 출발하여 지금은 수심 2000 m 이상의 깊이에 계류한 대형 부유식 구조물로 발전하였으며 개발가치가 있는 바다라면 그 도전은 끝없이 계속될 것이다.

대부분의 해양플랜트는 해양개발의 주류인 화석연료(원유 및 가스) 개발을 위한 구조물이며 최근에는 대체에너지(조수력, 풍력 및 온도차 발전) 개발을 위한 플랜트가 설치되고 있으며 우리나라의 이어도 과학기지와 같은 특수 용도의 구조물도 있다. 대부분의 해양플랜트들이 고정식 구조물이며 내구 연한이 수십 년에 달하므로 새로운 인공섬의 탄생이라 할 수 있으며 최근 국제적으로 많은 분쟁 이슈로 대두되는 영유권 주장에도 중요한 입지를 제공할 수 있다.

해양 유전의 개발

해양플랜트를 설치하여 생산을 하기 위해서는 탐사 및 경제성 평가 등 해양개발을 위한 선공정이 필요하다. 지질학적인 특성 검토 및 면밀한 사전 분석을 통하여 자원의 매장 가능성이 높은 위치를 선정

하고 상세조사를 하게 된다. 조사 방법은 크게 전자장비를 이용한 탐사와 실제 시추를 통한 확인이다. 탐사장비는 해저 수 km까지 도달하여야 하는 이유로 강력한 에너지를 가지는 음파를 이용하며 광역탐사가 이루어진다. 전자 탐사결과를 분석하여 매장량 및 유전의 깊이를 평가하여 실제 시추를 통한 물리적인 확인을 하게 된다. 시추작업은 얕은 수심의 경우 잭업(Jack-up) 또는 작업선을 계류하여 이루어지지만, 심해의 경우에는 허용범위 내에서 항상 주어진 위치를 유지하는 DP(Dynamic Positioning) 작업선으로 수행한다. 시추 경비가 고가이므로 탐사결과를 과학적으로 분석 이용하여 시추공의 숫자를 최소화 한다.

시추를 통하여 자원의 매장이 확인되면 평가정의 압력 및 유량을 계측하여 매장량을 확인한다. 매장량 평가를 기준으로 경제성이 있다고 판단되면 생산기간을 정하고 구체적인 개발범위/방법을 초기 개념설계를 통하여 결정한다. 이 과정에서 기본적인 해양 플랜트의 종류 및 처리용량이 결정되고 정제된 가스 및 원유의 수송방법(선박 또는 해저배관)도 함께 정해진다. 이때 예정 해양플랜트 위치 및 해저배관 노선에 대해 정밀조사를 하여 최종위치 선정에 문제가 없는지 확인함과 동시에 소요 예산 및 수요 조사를 통한 공급시장 등 판로를 검토하여 계획을 최종 확정한다. 유전개발은 해양주권국으로부터 일정기간 광구 개발권을 사고 탐사를 통하여 경제성이 확인되면 여러 투자자들의 지분 참여를 통하여 개발



에 필요한 경비를 확보한다.

상기 계획이 확정되면 본격적인 생산을 위한 투자가 진행된다. 국제경쟁 입찰을 통하여 해양플랜트(해저 배관 및 선적/계류 시설 포함) 공사 수행업체를 선정하며 통상적으로 설계, 구매, 제작, 운송, 설치 및 시운전 전체를 포함하는 일괄도급 형태로 계약이 이루어지며 작게는 수억 불에서 많게는 수십억 불 규모이다. 해양플랜트와 별도로 발주처(시추 전문업체)는 생산정 시추에 돌입하여 해양플랜트가 설치되면 바로 생산이 시작될 수 있도록 공정을 조정하며 시추가 완료되면 시추공 내(해저로부터 수십 m 아래)에 다운홀(Down hole) 밸브를 설치하여 유전으로부터 나오는 원유나 가스를 안전하게 차단한다. 별도의 해저유정이 설치되는 경우에는 시추공 상단에 바로 플로우베이스(Flow base) 및 크리스마스 트리를 설치하여 유정 플랫폼을 마무리 한다. 생산정 시추 시 시추공에 설치되는 차단시설(다운홀 시스템)은 중요한 안전 특수설비로 한정된 전문업체로부터 제작 공급된다. 유정 플랫폼이 설치되는 경우에는 하부구조물을 예정 생산 시추공 위에 설치하고 시추하여 배관을 수면상부로 뽑아 올려서 그 끝에 크리스마스 트리를 설치하여 제반 흐름을 제어하는 것이 보통이다.

통상적인 해양플랜트의 설치는 플랫폼을 연결하는 해저배관을 먼저 부설하고 플랫폼을 설치 한 후 해저배관을 라이저(Riser)를 통해 플랫폼의 배관과 연결한다. 플랫폼 설치는 하부구조물과 상부구조물로 나누어 설치하게 되며 하부구조물은 육상에서 제작하여 현장으로 운송 후 크레인으로 들어 내리거나 크레인 권양능력 이상이면 특수운송선(Launching Barge)을 이용하여 진수 후 바로 세워 설치한다. 일단 지정 위치에 놓이면 강관파일로 해저 100 m 정도 까지 향타하고 그라우팅(Grouting)하여 구조물과 강관파일을 영구적으로 결속한다. 하부구조물이 설치되면 그 위에 상부 구조물을 설치하며 크레인 능력에 맞추어 육상 제작된 모듈을 들어 올려서 현장에서 용접한다. 여러 개로 나누어 설치 시 배관의 연결 및 전선 포설 등 해상에서 혹업 작업이 필요하며 시운전까지 수개월이 소요된다. 따라서, 가능하면 육상에서 상부구조물 제작 시 해양플랜트를 완전히 올리고 성능을 시험/확인하여 현장 설치 후 바로 시운

전하여 인도하는 것이 가장 경제적이다. 초대형 해상 크레인(최대 14,000톤)으로 들어서 설치하거나 상부구조물을 특수 선박(반잠수 선박)에 선적하여 하부구조물 가운데로 진입하여 정위치 시킨 다음 발라스팅(Ballasting)하여 내린 후 선박이 빠져나오는 방법(Float-over 또는 Deck mating)으로 설치한다. 후자의 경우, 하부구조물이 공법에 맞도록 제작되어야 하므로 상세설계 단계에서 반영되어 구체화되어야 한다. 이렇게 하부구조물 위에 놓인 상부 구조물은 용접으로 연결되므로 단 기간 내에 작업이 끝난다. 실제 플랫폼 설치 1개월 이내에 끝나게 되며 대부분 하부구조물 설치기간이며 장비에 의한 집중 작업이다.

해양플랜트가 해상에 설치되면 전체 시스템의 시운전을 거쳐 인도된다. 상부구조물에 위치한 플랜트(기계 및 장비)는 육상에서 대부분 시험을 거쳐 검증이 되지만 해저배관의 경우 제반 시운전(Pre-commissioning)이 부설 후 해상에서 이루어진다. 배관 내부의 청소 및 게이징(Gauging)을 위하여 배관 내부로 피그(Pig)를 통과시키고 이상이 없으면 수압 시험을 한다. 가스배관의 경우 배수, 건조 및 질소 치환을 하여 가스 인입 시 오염을 방지하도록 요구되어 가스관의 시운전에는 1개월 이상 기간이 소요된다. 해저배관의 시운전이 끝나면 상부 플랜트 배관과 연결되어 생산을 위한 준비가 완료된다. 유전으로부터 원유나 가스를 받아서 단계별로 플랫폼을 가동하게 되며 이때 제반 제어시스템의 비상 작동을 확인 후 정상 가동된다.

정상 가동 중에도 상부 플랜트의 정비뿐만 아니라, 주기적(5 ~ 10년)으로 해저배관을 청소 및 게이징하게 되며 이때는 생산 원유 또는 가스를 이용하여 피그를 밀어 준다. 해저배관의 회생양극에 대한 성능 및 잔량 확인을 위한 전위차 조사도 포함되며 하부구조물의 해양생물 증식에 의한 무게 증가를 줄이기 위한 청소와 함께 구조물 및 회생양극에 대한 잠수부의 수중 검사도 주기적으로 필요하다.

생산이 진행되면서 유전의 자연적인 압력저하로 생산량이 감소하고 이로 인한 손실을 보완하기 위한 가압시설 및 배관이 추가되며 더 이상 경제성이 없는 플랫폼은 해체되기도 한다. 해저배관의 경우, 생산을 중단하더라도 회수하지 않고 양 끝단을 막아서

해저에 그대로 폐기하는 것이 보통이다.

전통적인 고정식 해양플랜트와 달리, 부유식 플랜트의 경우에는 하부 구조물 대신 계류를 위한 해저 고정시설이 필요하며 대부분 심해작업이라 ROV (Remotely Operated Vehicle)를 이용하여 작업하게 되며 해상작업선의 지원이 한정되어 특수장비 및 공법이 필요하다. 수심 1000 m 이상의 심해작업의 경우, 크레인을 이용한다면 케이블 무게만 수십 톤에 달하여 선박의 동요를 보상하면서 일정 장력을 유지하는 윈치(Constant tension winch)를 사용하며 케이블도 강선이 아닌 고강도 섬유로프를 사용한다. 보통 강관과일을 이용하여 계류하며 항타가 아닌 수압을 이용한 흡입공법(Suction Pile)을 사용한다. DP 작업선에서 계류케이블 한쪽 끝단을 연결하여 강관과 함께 해저에 내리고 지정된 위치에 관입시킨 후 작업선에 있는 케이블 끝에 부이를 달아서 수면에 띄워 놓고 부유식 플랜트가 도착하면 연결하여 장력을 조정하여 정해진 위치에 고정시킨다. 미리 부설해 둔 해저배관의 끝단을 끌어 올려 플랜트 배관에 연결하거나 별도의 유연관의 끝단을 해저로 내려서 ROV로 연결할 수도 있다. 시운전을 통한 인도는 고정식 해양플랜트와 큰 차이가 없지만 많은 해저 구조물 및 설비가 수면상 플랜트로부터 전자제어 및 유압으로 원격 작동되므로 ROV로 직접 확인이 필요하며 문제 발생 시 ROV에 의한 회수 및 교체 작업을 위하여 많은 보조장치(ROV tooling)가 필요하며 작업도 어렵고 장시간 소요된다.

해양구조물의 종류

해양플랜트는 용도에 따른 프로세스를 위한 제반 설비와 그 설비를 안전하게 수용할 수 있는 적정 공간을 제공하는 구조물로 이루어진다. 육상플랜트는 기존 부지를 정리하여 그 위에 제반 설비를 배치하며 비교적 넓은 장소를 확보할 수 있지만 해양 플랜트는 대부분의 설비들이 물위에 위치하며 한정된 공간을 최대한 활용하기 위하여 여러 층으로 나누어 설비들을 배열하게 된다. 물위에 위치한 설비를 포함한 공간을 상부구조물(Topside 또는 Deck)이라고 하고 물속에 잠겨서 상부구조물을 지지하는 부분을 하부구조물(Jacket, Spar, Hull 등)이라 한다.

고정식 구조물(Fixed Platform or Steel templated structure)

통상적으로 해양플랫폼이라 하며 자켓이라는 하부 철구조물을 설치하고 강관과일을 항타하여 해저에 완전히 고정된 후 그 위에 상부구조물을 설치한다. 해상에 만들어진 인공섬이라 해상조건에 대해 안전한 반면 수심이 깊어지면 적용이 어렵다. 주로 150 m 이내의 얇은 수심에 설치된다.

상부구조물은 육상에서 제반 설비를 포함하여 일체로 제작/시운전을 거쳐서 하부구조물 위에 설치되며 그 무게는 작게는 수백 톤에서 만 톤을 넘는다.

중력식 구조물(Gravity based Structure)

중력식 구조물은 하부 구조물을 Concrete Base로 만들어 해저에 안착시킨 후 그 위에 상부 구조물을 설치하는 것이며 주로 유빙의 위험이 있는 극지(북해)에 설치된다.

반잠수 구조물(Semi-submersible Structure)

수심이 깊어지면 고정식 구조물 설치가 어렵고 경제성이 떨어져 부선에 해양플랜트를 설치하고 해저에 고정된 케이블에 계류하여 위치를 유지하고 외력에 의한 동요를 최소화한다. 부체의 동요를 감소시키고 상부구조물 지지를 위하여 수면 하에 대형 구조물이 필요한 특수한 선형으로 개발되어 있으며 계류 케이블도 연직으로 연결되어 장력을 유지한다. 반잠수 시추선 형태의 TLP(Tension Leg Platform) 및 원기둥 형태의 Spar 구조물(미국의 멕시코만)이 주종이다.

부유식 구조물(Floating Structure)

최근 심해저(수심 1000 m 내외) 유전에 주로 적용되는 FPSO(Floating Production, Storage and Offloading)의 경우, 초대형 선박에 해양플랜트를 설치하고 해저에 미리 설치된 계류 케이블로 고정된다. 선박이 외력에 따라서 자유롭게 돌 수 있는 회전식(Turret) 계류와 항상 방향과 위치를 고정하게 되는 스프레드 계류가 있으며 해상상태 및 선박크기에 따라 계류 방법이 결정된다. FPSO의 경우 소규모 정유공장이 선박에 설치되어 있는 정도이며 기술의 발달과 아울러 현장에서 뽑아 올린 가스를 바로 액화



하는 LNG FPSO의 등장도 기대된다.

이동식 구조물(Movable Structure)

소규모 유전의 경우 가채매장량이 수년에 불과하여 영구적인 해양플랜트로는 경제성이 없다. 이러한 경우, 주로 잭업 시추선에 기본적인 해양플랜트를 추가로 설치하여 원유를 생산하고 수명이 다하면 다시 다른 유전으로 이동한다. 연결 배관도 강관이 아닌 유연관을 이용하여 쉽게 설치 및 해체가 가능하다.

해저 구조물(Subsea Structure)

주로 심해에 적용되며 유정으로부터 배관을 상부 구조물까지 연결하여 흐름을 차단/제어하는 대신 별도의 상부구조물 없이 유정 바로 위 해저에 유량차단/제어 설비(크리스마스 트리)를 설치하고 해저배관을 연결하여 프로세스 플랫폼으로 집하하게 된다. 대부분의 해저 구조물은 독립적인 프로세스 플랜트가 없으며 주로 밸브에 의한 흐름조절이며 일부 수화(Hydration)을 막기 위한 케미컬 주입장치가 함께 있으며 모든 밸브는 전자/유압으로 원격 작동된다. 심해유전 개발에 따라서 해저 구조물에 대한 본격적인 연구가 계속되며 원유 펌프 및 기본적인 분리 설비 등이 장착된 해저 플랜트도 실용화 될 것이다.

300 m 이상의 수심에서는 잠수작업이 힘들어 ROV를 이용하여 설치 및 정비가 이루어지므로 모든 설계가 이에 맞게 이루어지며 연결구 역시 특수하게 제작되어야 하므로 고가일 뿐만 아니라 전문업체에서 독점 공급하고 있다.

해양플랜트의 종류

원유/가스 플랜트

해양플랜트의 경우 현재까지 유전/가스전 개발과 관련된 플랜트가 주류이며 전체적인 원유/가스 인프라는 유전탐사 및 시추를 통하여 설치되는 해저 유정과 배관 등 상위(Upstream) 플랜트와 육상의 원유수급 시설 및 정유공장인 하위(Downstream) 플랜트 전체를 포함하지만 생산위주의 독립적으로 가동 가능한 플랫폼으로 구분해 보면,

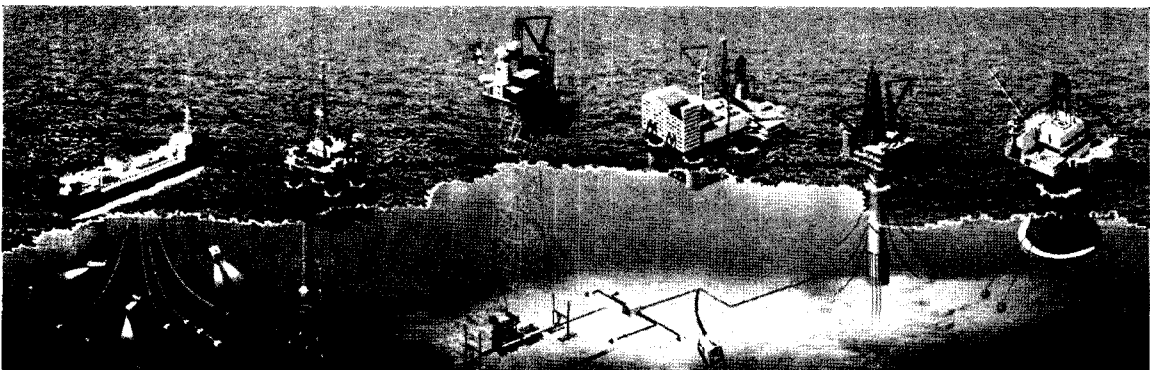
• 유정(Wellhead) 플랫폼

유전 상부에 위치하며 시추공에 배관을 연결하여 상부 구조물로 원유 및 가스를 뽑아 올린다. 시추방법이 발전하면서 연직 시추뿐만 아니라 곡선 및 방향성을 갖고 원하는 지점을 시추하여 주위 수 km의 유전을 포함할 수 있어 유정 플랫폼의 설치를 최소화 하고 있다.

유정 플랫폼은 일차 원유 및 가스의 흐름을 조절하는 크리스마스 트리가 있으며 생산시추를 위한 공간 및 설비가 있다.

• 집하/분배(Collector or Manifold) 플랫폼

여러 개의 유정 플랫폼으로부터 원유나 가스를 받아서 별도의 정제 프로세스를 거치지 않고 육상으로 보내는 플랫폼이며 육상 가까이에 위치한 유전에서 육상의 정유/정제 설비로 보낼 경우이며 별도의 정제 플랫폼이 있는 경우에는 보통 필요하지 않다.



[그림 1] 해양구조물의 종류

메니폴드 및 밸브를 포함한 배관 및 기본적인 분리 장치가 있으며 필요시 가압 플랜트가 추가 될 수 있다.

• 정제(Process) 플랫폼

가장 중요한 해양플랜트가 자리하며 이곳에서 원유 및 가스가 정제되어 상품화된다. 주요 정제 과정을 살펴보면,

- 이물질 분리(모래 등)
- 유수 분리
- 가스/콘덴세이터(Condensate) 분리
- 촉매 화합물(MEG, TEG) 분리
- 탈황
- 감압/가압

단계별로 통과하도록 설치된 특수용기(Process vessel)와 연결 배관 및 제반 제어 설비가 있으며 최종 정제 후 유량 계측설비를 통하여 육상으로 공급 또는 선적된다. 중앙제어 장치가 있으며 장비의 전원공급 및 조명을 위한 발전기가 있으며 가압을 위한 펌프나 가스 압축장비가 함께 설치되는 것이 보통이며 운영인원이 상주하는 이유로 거주 구역이 포함된다.

• 가스주입(Gas injection) 플랫폼

정제 중 분리한 가스를 유전으로 주입하는 설비(Compressor)가 있으며 과거에는 가스의 상품화에 경제성이 없어 태워 없애는 대신 다시 유전으로 주입하면서 그 압력으로 원유를 밀어 올리는 기능을 하였다. 생산초기에는 유전의 자체 압력으로 원유를 뽑아내지만 점차 시간이 흐르면서 압력이 감소하여 외부에서 압력을 가해야 한다. 따라서, 가스주입 플랜트는 독립된 플랫폼으로 추가 설치되는 것 보다 프로세스 플랫폼 설계 시 일정 기간 후에 설치될 것을 고려하여 공간을 확보하고 필요 시 일식으로 설치하여 가동하는 것이 보통이다.

가스 주입을 통한 유전 전체에 대한 가압 외에도 가스를 원유가 흐르는 배관에 직접 주입하여 가스와 함께 뽑아 올리는 방법(Gas lift)도 적용된다. 최근에는 가스자체가 상품성이 높아 유전으로 주입하는 것 보다 정제하여 LNG로 공급하는 것이 보통이다.

• 해수주입(Water injection) 플랫폼

원유 및 가스 생산을 증가시키기 위한 가압 목적 외에 유전/가스전의 공동화에 따른 함몰을 막기 위하여 일정 기간 생산 후부터 해수를 주입하게 되며 별도의 독립된 플랫폼을 설치하는 것이 보통이다.

• 폐가스 소각(Flare) 플랫폼

정제 프로세스에서 분리한 폐가스를 태우기 위한 독립된 플랫폼이며 소각 시 발생하는 열의 영향을 고려하여 프로세스 플랫폼에서 보통 1km 정도 떨어진 곳에 간단한(삼각 구조물) 플랫폼을 설치하고 대구경(보통 30") 해저 배관을 연결한다. 가스전의 경우, 대부분의 가스를 상품화 하므로 정상운전 시에는 소각할 필요가 없다. 비상 차단 시를 대비하여 소각설비가 있지만 별도의 소각 플랫폼 대신 프로세스 플랫폼의 한쪽에 플레어 뚝을 길게 달아서 정상 운전이 될 때까지 가스를 태운다.

최근 환경규제가 강화되면서 폐가스를 소각하여 처리하는 것을 금지하고 있으며 과거와 같이 해양 유전에서 24시간 가스를 태우는 불빛을 볼 수 없다.

• 거주 플랫폼

대부분의 유정 플랫폼이 무인운영 체제이지만 프로세스 및 해수주입 플랫폼은 운전요원이 상주하는 것이 보통이다. 따라서, 플랫폼에 거주구역을 함께 두기도 하지만 쾌적하고 안전한 해상생활을 위해 별도의 거주 플랫폼을 설치하기도 한다. 거주 플랫폼은 인근 프로세스 플랫폼과 다리로 연결되어 인원이 이동하며 거주에 필요한 전원을 공급받게 된다.

거주 플랫폼에는 해상안전규정에 의거 제반 소방, 안전 및 구난설비가 비치되고 헬리패드(Helipad) 및 선박의 접안시설이 있어 비상시 안전한 탈출 및 구조가 가능하도록 설계되어 있다.

상기 해상 구조물외에도 원유, 가스 및 주입수를 운송하기 위한 해저배관 및 원유의 선적/하역을 위한 단부표 계류설비(SBM or SPM: Single Buoy or Point Mooring)등이 해양유전 플랜트에 포함된다.

기타 해양플랜트

비유전 해양 플랜트로는 최근 개발에 박차를 가하고 있는 해양에너지(조력/풍력 발전) 플랜트와 안전 항해를 위한 등대/부표를 포함한 해양관측 설비도



일종의 해양 플랜트에 포함시킬 수 있으며 정위치 유지(DP)가 가능한 특수 선박을 이용하여 심해저 시추 및 심해자원(망간단괴)을 채취하는 특수 작업선 역시 단순한 선박의 범주를 넘어선 해양플랜트로 구분 가능하다. 한때 국내에서 검토되었던 혐오시설(화장장, 소각장 등)을 해상에 설치한다면 이 역시 해양플랜트의 일부가 될 것이며 국내에서 인기 있는 심층수 관련 해양 플랜트도 기대할만 하다.

국내의 해양플랜트

해양국가인 우리나라에도 동해가스전 및 이어도 과학기지 2개의 해양플랜트가 가동 중이다. 둘 다 고정식 플랫폼이며 동해가스전 플랜트는 150 m 수심에 세워진 인공 플랫폼에서 천연가스를 뽑아내어 해저배관을 통하여 울산으로 보내고 있다. 해저에 설치된 3개의 유정구조물이 가스전과 연결되어 있으며 6" 유연관으로 플랫폼에 가스를 공급한다. 유정의 흐름은 플랫폼에서 원격으로 자동 제어되며 온도/압력 감지 및 신호전달 용 광케이블과 밸브 작동을 위한 유압 호스가 별도로 해저에 부설되어 있다. 동해플랫폼에서 정제된 가스는 육상 프랜트로 이송되고 콘덴세이터 분리 후 주로 울산화력의 발전용 연료로 공급되고 있으며 20년 이상 사용 가능하다. 이순신 장군이 강한 조류를 이용하여 해전을 승리로 이끈 울돌목에도 조류를 이용한 발전플랜트를 시험 가동하고 있으며 머지않아 상용화 될 것으로 보인다.

다. 아울러, 심층수 채취를 위한 해저배관을 설치하여 동해의 심층수를 활용한 제곱들이 시판되고 있는 상황에서 관련 공장들이 육상에서 해상플랜트로 이동할 가능성도 있을 것이다.

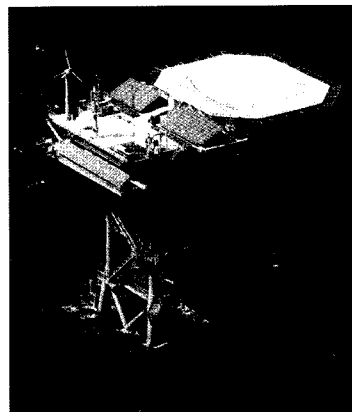
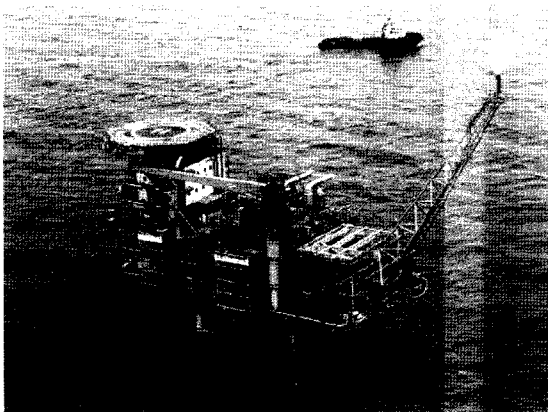
해외 유전의 개발에도 많은 노력을 하고 있으며 한 국석유공사의 베트남 란타이 유전은 개발에 성공하여 현재 생산 중에 있으며 대우이엔피는 미얀마의 대규모 가스전을 개발 중에 있다.

국내의 조선/해양 3사(현대중공업, 대우 조선/해양, 삼성중공업)는 대규모 해양플랜트의 상당 부분을 국제적인 오일메이저(Total, Exxon, BP, Chevron 등)로부터 수주 받아서 제작하여 공급하고 있으며, 세계의 해양플랜트 시장을 주도하고 있다. 중소기업의 해양플랜트가 아닌 부가가치가 높은 10억불 이상의 상부구조물과 초대형 FPSO를 선별 수주하여 설계, 구매, 제작, 설치 및 시운전 전체를 책임지고 수행하고 있다.

해양플랜트의 현황

해양플랜트에 포함되는 설비는 해상조건의 특수성을 고려하여 특별한 요구조건을 만족해야 한다.

- 소금을 포함한 자연 상태에 노출(특히 부식에 강해야 함)
- 황화수소를 포함하는 경우, 이에 대한 내부식성 확보(미국방식학회, NACE의 규정에 따라야 하며 황화수소 상태에서 1개월 시험을 요구함)



[그림 2] 동해 가스전과 이어도 해양관측기지

- 가스전의 경우, 고온 및 고압
- 방폭/방화 기능
- 이중안전 장치(자동 차단장치 및 장비에 문제가 있을 경우 바로 대기 장비가 가동되어 정상운전에 영향을 주지 않아야 함.)
- 경량화(상부구조물이 무거워지면 하부구조물이 커져야 하므로 경제적이지 못함)

상기요구 조건을 위해 해양플랜트의 경우, 육상플랜트에 적용되는 ASTM, ASME, ANSI Standard 외에 API(American Petroleum Institute) Rule이 적용된다. 특히 해양플랜트에 사용되는 철관은 고장력(X50 이상) 후판소재이며 비철(Duplex, Inconnel overlay, GRE) 배관도 많이 사용된다.

대표적인 해양플랜트인 프로세스 플랫폼의 주요설비는 원유와 가스의 정제 Process에 차이가 있지만,

- 발전기(주로 가스터빈발전기)
- 콤프레서(다단계 가스 압축)
- 펌프(원유이송, 해수/청수 공급)
- 공조설비
- 제반 고압/프로세스 베셀류(유/수/가스 분리, 스크라버, 코올레서, 스키머, 열교환기, 촉매냉각탑 등)
- 메니폴드, 밸브 및 제반 연결구를 포함한 연결 배관
- 유량 계측 설비(미터링 스킴)
- (방폭)조명장치 및 장비의 전원 공급을 위한 케이블/배전반 (콘다트/케이블 트레이 포함)
- 방화/소화설비(방화벽, 화재감지 장치, 덜루지, 스프링클러, 불활성기체 분사장치 등)
- 안전 설비(개인 안전장비 및 구난장비)
- 압력/온도 감지센스/케이블 및 비상차단 등 중앙 제어시스템
- 주거설비(통신, 주방, 조수기)

해양플랜트 제작에 필요한 상기 주요설비 중 고압 베셀류와 같은 철구조물 제작 및 소구경 밸브/피팅(Fitting)을 제외하면 대부분 국내제품을 사용하지 못하고 외국업체로부터 수입하고 있는 현실이다. 이는 외화유출 뿐만 아니라 일부 장비/자재의 납기지연이 전체공기에 영향을 주게 되는 위험이 있어 국산화가 절실한 입장이다.

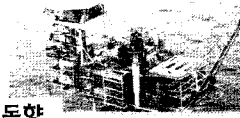
플랫폼의 상부구조물에 설치되는 제반 설비 외에

플랫폼을 서로 연결해주는 배관, 케이블(전력 및 광통신) 및 유연관(유압유 배관 포함) 역시 해양플랜트의 주요 일부라 할 수 있다. 해저에 설치되어 수십 년 동안 문제없이 가동되어야 하므로 자재에 대한 요구조건은 훨씬 까다롭다. 일반 배관과 달리 해저 배관은 API 5L을 적용하며 요구조건에 큰 차이가 있다. 소구경(보통 16" 이하) 해저배관은 Seamless 강관이어야 하며 대구경 배관도 특수공정인 UOE 롤링 후 SAW 용접하여야 한다. 최근 적용되는 해저 배관은 X65의 고강이 보통이며 X70도 사용되고 있다.

구경도 2"에서 56"까지 용도에 따라 다양하며 부식을 막기 위해 3LPE(3 Layer Poly Ethylene) 또는 3LPP(3 Layer Poly Propylene) 도막을 입히고 다시 그 위에 해저에서의 안정성을 위하여 대구경 배관의 경우 125 mm 두께의 중량 콘크리트 피복을 하여 해저에 부설하게 된다. 해저배관은 한번 부설하면 별도의 정비/보수도 없이 이십년 이상 사용하게 되므로 부식방지가 중요하며 상기 방식 도막에 추가하여 설계된 간격으로 팔찌형 희생양극을 붙인다. 해저에 설치되는 밸브와 플랜지 역시 원소재 검사 및 제작에 까다로운 요구 조건으로 1년 이상 납기가 필요하다.

해양플랜트의 제작 못지않게 설치도 어려워 대형 크레인 및 부설선을 보유한 해양설치 업체들로 한정되며 국내에도 현대중공업이 2500톤 크레인 작업선과 4척의 해저배관 부설선을 보유하고 국제적인 해양설치 시장에서 경쟁하고 있다. 해저배관은 특수작업선(부설선)으로 부설하며 선상에서 12 m 단관을 서로 용접하여 X-ray 검사에 합격하면 해저에 내리게 되며 자동용접(GMAW)으로 하루에 2 ~ 3 km씩 부설한다. 국내의 동해 가스전 및 이어도 과학기지 역시 현대중공업이 제작하여 설치한 해양 플랜트이다. 한국통신 자회사인 KT Submarine도 케이블 작업선인 "세계로"호를 보유하고 있으며 해저 케이블 부설작업을 수행한다.

상기에서 알 수 있듯이 우리나라는 해양플랜트 분야에 선도적인 입지를 차지하고 있으며 명실상부한 해양강국이라 할 수 있다. 그러나, 아직도 대부분의 해양플랜트 설비 및 자재가 국산화되지 않아서 관련 산업의 발전 여지는 많다. 수년 전부터 포스코에서 API 강제 생산을 위한 기술개발 및 설비투자가 이루어



어져 상품화 단계에 있으며 원소재 공급을 통한 관련 제조업의 국산화에 가속도가 붙을 것으로 전망한다. 주요 설비인 발전기와 콤프레셔 등은 일반 시제품이 아닌 용도에 맞게 설계되어 제작하는 이유로 아직은 국산화에 한계가 있다.

특히 대량 소요 자재인 해저배관용 강관이나 해저 케이블, 유연관 및 유압호스는 해외 일부업체에서 독점적으로 공급하고 있으므로 국내 유관산업의 우수한 기술과 설비로 국산화에 도전해 볼 만하다. 제어시스템 및 해저 유정 설비 역시 장기간의 연구개발과 차별화된 기술력으로 세계적으로 소수 업체에서 주도하고 있으며 이러한 고부가 가치 산업 진출에 대한 분석이 필요하다.

해양플랜트의 미래전망

해양의 석유자원 개발이 본격적으로 진행되면서 경제성있는 대륙붕의 자원은 거의 고갈 상태에 있다. 지속적인 유가 상승으로 경제성이 낮았던 한계 유전의 개발이 이루어지고 있다.

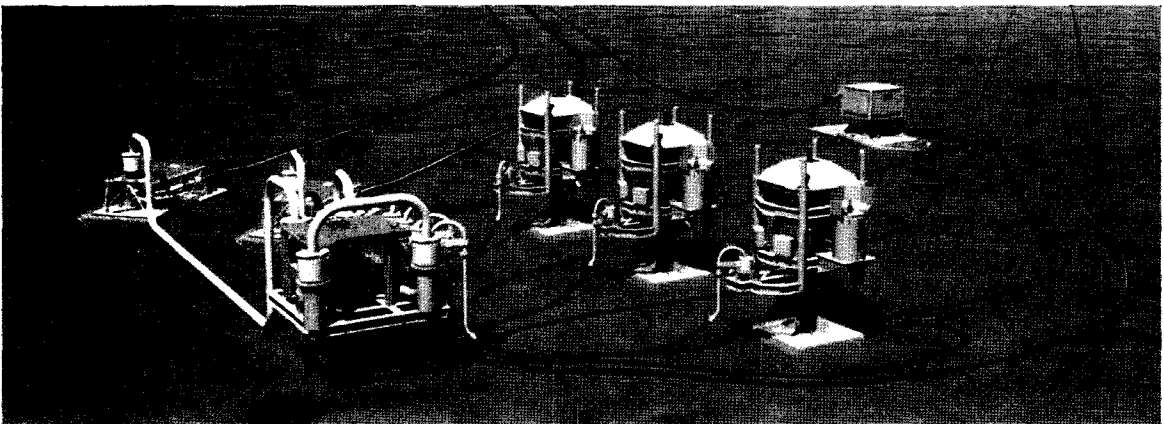
- 1) 육상과 해상 접근이 어려운 5 m 이내의 수심에 위치한 유전의 개발은 작업선 진입을 위하여 대규모 준설이 필요하여 개발비가 비싸며 환경규제에 따른 추가 요구사항이 많아 개발에 소극적이었지만 최근 개발되고 있다.
- 2) 가채매장량이 적은 소규모 유전 역시 이동식 원유생산설비를 이용하여 단기간 생산하는 방식

으로 개발되고 있다.

- 3) 고온/고압으로 기술적인 어려움이 있어 개발을 미루었던 유전은 기술개발과 아울러 고급 사상의 자재를 사용하여 개발이 가능해졌다.

시추기술의 개발로 심해저 유전으로 점점 확대되고 있다. 육상으로부터 1000 km 이상 떨어져 있는 2000 m 이상의 유전이 개발되고 있으며 심해 유전의 대부분은 여러 개의 해저 유정을 유연관 또는 강관으로 연결하여 근처에 계류된 FPSO로 보내고 이곳에서 정제 후 보관하고 충분한 양이 생산되면 바로 탱커에 선적하여 장거리 해저배관이 필요하지 않다. 심해저의 수온이 거의 섭씨 0도 정도로 유전에서 나오는 가스나 원유가 갑자기 냉각되는 하이드레이션(Hydration) 현상을 방지하기 위하여 보온 배관이 필요할 뿐 만 아니라 1000 m가 넘는 라이저가 장기간 외력에 노출되므로 와류진동을 피하기 위한 스트레이크(Strake)가 부착되는 등 심해 유전개발에 필요한 기술연구가 계속되고 있으며 특히 해저 유정시스템에 일부 해양플랜트 기능을 추가하여 독립적으로 생산하는 설비 개발 및 ROV를 이용한 심해설치 공법 개선 등 전체적인 심해 개발 연관 산업이 빠르게 발전하고 있다.

선박 형태의 FPSO는 일단 계류하면 설계 생애 동안 위치를 지키며 생산을 계속하여야 하므로 해역의 해상상태에 견디게 설계된다. 따라서, 다소 해상상태가 양호한 해역(남미 및 아프리카의 적도부근의 대서양)에 설치되는 것이 보통이다. 이에 반하여 미국의



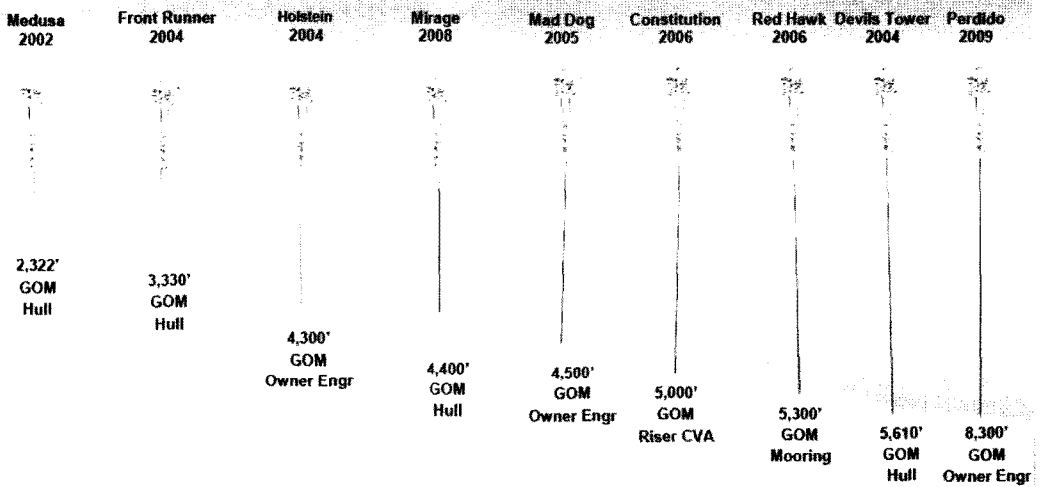
[그림 3] 해저 유정 및 집하구조물

멕시코만은 허리케인의 영향으로 아직 FPSO가 설치된 적이 없지만 최근 채택을 적극 검토 중에 있다.

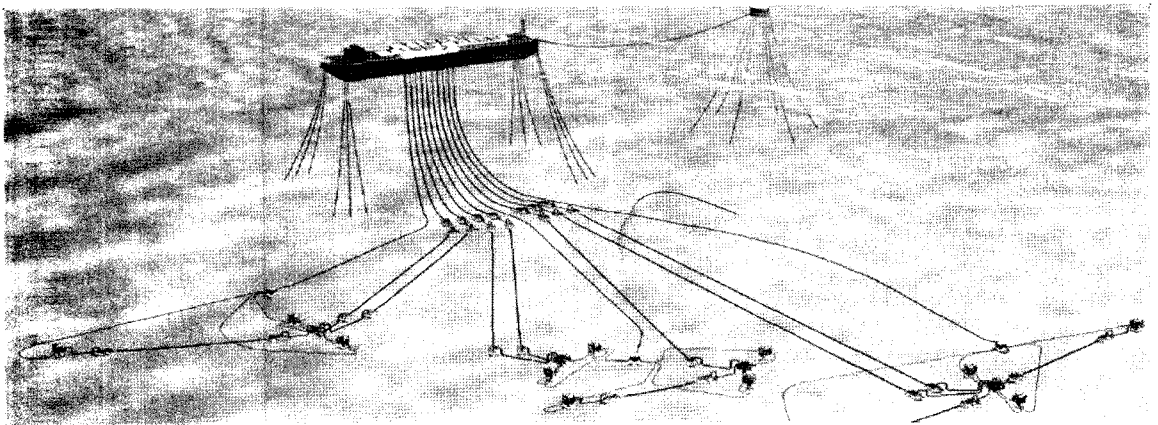
멕시코만의 경우에도 심해유전 개발이 활발하며 2002년 700 m 수심을 시작으로 현재 1500 m를 넘어서 2000 m 수심까지 유전이 개발되고 있다. 현재 심해 개발의 한계는 유전의 경제성을 확인하는 시추선 및 기술이며 일단 시추를 통해 경제성이 확인되면 생산으로 연결되므로 인간의 도전은 계속될 것이다. 초대형 DP 시추선이 계속 건조되고 있으며 아직도 수요가 많은 상황이라 심해유전 개발은 수심에 대한

기록을 계속 갱신할 것이다.

급속히 증가하는 가스 수요에 따른 가스전 개발이 최근 해양 플랜트의 주류를 이루고 있으며 기존 유전에도 폐가스를 활용을 위한 가스 플랜트가 추가되거나 별도의 가스처리 및 정제 플랫폼을 추가 설치하고 해저배관을 통하여 육상 LNG 기지로 보내고 있다. 심해 유전의 대부분이 원유개발이었지만 FPSO의 대형화로 압축가스가 아닌 액화천연가스 플랜트의 실용화가 추진되고 있다. LNG FPSO의 등장으로 심해 가스전의 개발이 본격화 될 것으로 예상된다.



[그림 4] SPAR 구조물의 설치수심 증가



[그림 5] 심해 유전 및 FPSO(Spread Mooring)



<표 1> LNG와 GTL 비교

구분	LNG	GTL
프로세스	물리적 변화(가스) 비촉매 처리	화학적 변화(나프타, 정제유) 대부분 고정액 촉매처리임
설비	3 ~ 4 complex 2 integrated train	5 ~ 8 complex 5 ~ 6 integrated trains
플랜트 요구면적 (10억 SCFD 기준)	0.3 × 0.3 km	1 × 1 km
상품화	육상 LNG 기지에서 기화시켜 사용	완제품으로 제공되므로 바로 사용

원유의 생산 감소에 대한 대체 수요를 충족시키기 위하여 천연가스 기술개발 및 연구가 오래전부터 진행되어 왔으며 특히 선박 운송을 위한 액화 기술이 핵심이다. 통상적인 LNG의 대안으로 연구 개발된 GTL(Gas-To-Liquid)은 획기적인 기술이며 이미 실용화 단계에 이르렀다. 프로세스를 단순화하기 위해 연구가 계속되고 있지만 기존 액화천연가스와의 비교하면 다음과 같다.

상기 비교표에서 볼 수 있듯이 LNG나 GTL 해양플랜트는 육상의 정유공장과 유사하며 대규모 프로세스 플랜트가 해상으로 이동하는 것이므로 기존 FPSO(320 m × 60 m × 30 m)에 비하여 선박의 크기가 초대형화(400 m 이상) 되어야만 한다. 이러한 대규모의 선박을 건조할 수 있는 Dock은 세계적으로 몇 개 야드로 제한되지만 국내 조선소의 경우 건조 가능하여 기존 해양플랜트 제작기술과 접목한다면 향후 고가의 LNG FPSO 시장을 주도할 것으로 판

단된다.

GTL 기술은 특허권을 가지므로 늦었지만 국내에서도 이에 대한 집중 연구를 통하여 자체적인 프로세스 기술을 보유할 수 있다면 향후 대규모 해양 가스플랜트 시장에서 절대적인 우위를 가질 수 있으며 최근 대두되고 있는 동해안의 메탄 하이드레이트 개발과도 연계 가능할 것이다.

상기 심해 및 가스전 개발에 따른 초대형 해양플랜트가 미래시장의 주류를 이루겠지만 이동이 자유로운 소규모 해상 발전 및 담수 플랜트에 대한 틈새시장에 대한 예측도 가능하다. 최근 인기있는 남미의 소형(5 MW 이하) 발전기를 수출하는 대신 선박에 설치된 중소형 발전플랜트를 안벽에 접안시켜 도시에 전원을 공급하고 육상의 담수플랜트를 건설하지 않고 담수화 플랜트를 선박에 설치하여 생산된 담수를 공급하는 서비스도 경쟁력 있는 미래 산업이 될 수 있을 것이다. (10)