

해양 부유식 구조물의 개발 현황 소개

Introduction to the Current Stage of Development of the Floating Offshore Platform



鄭 鉉*
Chung, Hyun

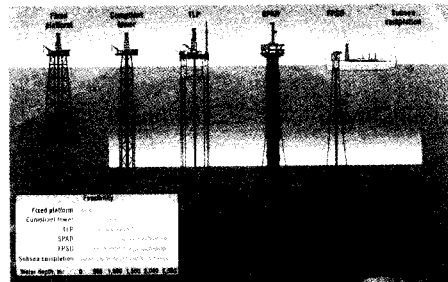
*해양 기술사, (주)대우 항만단지설계팀 차장,
본회 홍보위원.

1. 서론

해양 공간을 효과적으로 이용하는 것은 우리가 21세기로 나아가는데 있어서 매우 중요한 도전이다. 지금까지 우리가 삶을 영위해 온 육상 공간은 더 이상 개발할 수 있는 여지가 거의 없어지고 있다. 이제 남은 땅이라고는 접근하기 힘들고 개발이 어려운 사막이나 오지 또는 동토이거나 우리가 환경적으로 보존하지 않으면 안 되는 산림 또는 열대 우림 지역이 있을 뿐이다. 이 때문에 근해의 해상 신도시라거나 해안을 매립해 쓰는 친수 공간, 임해 공간 등이 개발되고 있지만 이것마저도 거의 개발이 끝나가고 나머지 해안 지역은 환경 보존을 위해 남겨두어야 하는 상황이 점차 도래하고 있다.

우리가 만약 기술적으로나 경제적으로 매립이 불가능한 연근해 또는 심해 지역에 인간 거주나 활동을 위한 영역을 자유로이 건설할 수 있다면 그것처럼 우리를 육지의 구속에서 해방시켜 주는 것은 없을 것이다. 그리고 이러한 시도는 이미 세계적으로 진행되고 있다. 그것이 바로 부유식 구조물을 바다에 띄워 안정성을 확보해 보려는 시도이며 이미 여러 곳에서 상당히 성공적인 결과를 나타 상업적인 단계에까지 올라서고 있다.

가장 활발히 해양 부유식 구조물을 연구 개발하고 있는 곳은 바로 다국적 석유회사 들이다. 이들은 심해의 석유나 가스 자원을 안정적으로 개발하기 위해 여러 부유식 구조물들을 연구하고 있는데, 그 중 가장 대표적인 것이 모빌사의 해상 부유식 LNG 플랜트이다. 그 외에 다국적 석유회사에서 직접 생산에 투입하고 있는 TLP (Tension Leg Platform), 반잠수식 플랫폼, FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) 등이 있는데 이 중 현재 가장 많이 사용되는 것이 FPSO이다. <그림 1>은 현재 해저 석유 개발에 적용되고 있는 각종 구조물들을 수심 순으로 살펴본 것이다.



<그림 1> 해저석유개발에 사용 중인 구조물들

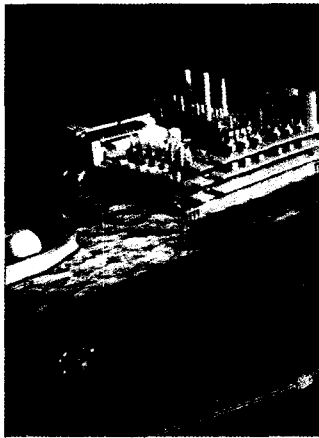
한편 미국과 일본에서는 각기 정부 차원에서 MOB(Mobile Offshore Base)와 메가플로트

(Megafloat)를 개발 중에 있다. 여기서는 이러한 부유식 구조물들을 간단히 살펴봄으로써 세계적 추세를 알아볼 수 있는 기회로 삼고자 한다.

2. 모빌(Mobil)사의 부유식 LNG 플랜트

1) 플랜트의 기능

세계 메이저 석유회사 중 하나인 모빌(Mobil)사는 수심 200m 정도의 심해 상에서 해저의 천연 가스를 끌어올려 이를 컨덴세이트(Condensate)와 가스 성분으로 분리한 후, 가스 성분을 다시 액화하여 LNG로 만들고 이를 현장에서 바로 LNG 운송선에 싣기 위한 대형 부유식 LNG 플랜트를 구상하였다.(<그림 2> 참조)



<그림 2> 모빌사의 부유식 LNG 플랜트

이 부유식 구조물은 총 2백만 배럴 이상의 LNG 저장 기능을 보유하며 이밖에 운영 및 작업 요원 250여명이 숙식할 수 있는 시설과 유지관리를 위한 시설을 설치하여 자급자족형인 플랜트로써의 기능을 강화하였다.

2) 구성 및 크기

함체는 한 변의 길이가 165m에 이르는 정사

각형 도넛 모양의 콘크리트로 만들어진다. 함체 내에는 LNG 저장탱크, 컨덴세이트 저장탱크, 발라스트(Ballast)용 해수 저장탱크 등이 있으며 이중 발라스트 탱크는 함체의 경사를 방지하고, 다른 배와 충돌 시 LNG 탱크를 보호하는 역할을 하도록 함체 주위를 따라 바깥쪽에 배치된다.

함체 위에는 총 무게가 약 10만 톤에 달하는 생산시설과 적하 장비가 설치된다. 이러한 시설이 놓일 수 있는 공간을 확보하기 위해 함체 위에 4층의 데크(Deck) 구조물을 설치한다. 이 데크는 아래로부터 Main Deck, Spar Deck, Mid Deck, Top Deck이라 불린다.

한편 주 풍향이 변하더라도 플랜트에 직접 영향이 없는 방향에서 하역 작업이 지속될 수 있도록 두 개의 기계식 하역 장비를 대각선 반대 방향 코너에 각각 한 개씩 위치하도록 하였다.

3) 재료

함체의 재료를 강재가 아닌 콘크리트로 한 이유는 아래와 같다.

- LNG와 같은 저온 상태에서 내성이 우수하다.
- 녹슬 염려가 없어 유지관리가 편리하다.
- 피로(Fatigue) 현상에 대한 저항력이 우수하다.
- 함체의 무게를 높임으로써 높은 질량 관성 모멘트와 낮은 무게 중심을 갖게 하여 운동 특성이 우수하다.
- LNG 누출 시, 화재 시, 선박 충돌 시 또는 물체 낙하 시 저항성이 우수하다.
- 무겁고 큰 장비를 지지하기 위한 구조적 안정성이 우수하다.
- 건설비용이 상대적으로 저렴하며 공기가 짧다.
- 특별한 기술을 요하지 않는 저임의 노동력을 사용하여 건설이 가능하다.



4) 합체의 고정성 확보

합체의 고정성은 사각형 합체의 각 코너에 1,027m의 길이와 15cm 지름을 갖는 고 강도 체인을 달아 이를 해저 지반에 고정시킴으로써 확보한다. 이 계류선은 한 코너에 6개씩 총 24라인을 설치하며 필요시 체인과 와이어 로우프를 혼합하여 사용하는 경우도 있다. 계류선은 전체 지름이 약 2km인 원 형태로 해저에 넓게 퍼져 균일 간격으로 배치되며 따라서 합체 지부는 충분한 여유 공간을 확보할 수 있다. 이를 통해 가스를 끌어올릴 수 있는 라이저(Riser)와 파이프라인, 케이블 등의 연결이 용이해 진다.

계류선을 해저에 고정시키기 위하여 현지 토질 조건에 맞게 파일을 설치하여야 한다. 파일의 크기는 보통 지름이 2.1m, 길이가 43m이며 한 개의 중량은 160톤 정도이다.

5) 합체의 운동 특성과 안정도

LNG 플랜트는 가스 처리 시설과 LNG 운송선으로의 하역 문제 때문에 상당히 엄격한 운동제한치를 필요로 한다. 따라서 합체 주위의 계류선 외에도 합체 옆쪽에 수평으로 일련의 평평한 돌출체(Damper)를 나오게 하였으며, 합체의 중앙에 사각형 도넛 모양의 빈 공간인 문 풀(Moon Pool)을 두어 라이저와 각종 파이프라인을 통과하도록 함으로써 합체의 운동 중에도 해당 시설에 큰 무리가 가지 않도록 하였다.

또 합체를 대칭 모양으로 함으로써 어떤 방향

〈표 1〉

태풍반복주기	1년	100년
유의파고	5m	11.8m
최대파고	9.5m	22.4m
파주기	10초	13.9초
1분 평균풍속	-	110노트
표면 해류속도	-	3.7노트

의 태풍에도 같은 운동 특성을 갖도록 하였다.

합체의 운동성을 검증하기 위해 〈표 1〉과 같은 조건하에서 컴퓨터 프로그램을 사용한 운동 해석과 수조에서의 모형 실험을 동시에 실시하였다.

이러한 실험을 통해 나온 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉

태풍반복주기	1년	100년
Heave Motion	0.3~0.4m	4.2~4.5m
Roll Motion	0.7~0.8도	6.2~8.0도
Pitch Motion	0.7~0.8도	6.2~8.0도

〈표 2〉에서 보는 바와 같이 합체는 그 크기가 크고 무게 중심이 하부에 위치하기 때문에 우수한 운동 특성을 지닌다. 따라서 태평양 주변에서 발생하는 100년 주기 태풍에도 끄떡없이 LNG 생산이 가능하며 연간 하역 가능시간도 95% 이상 확보할 수 있다. 하역이 불가능한 시간에도 합체 내의 저장 공간이 8일 생산 분에 해당하기 때문에 지속적 생산에 거의 문제가 없다.

한편 심각한 선박 충돌 사고로 합체 한 쪽이 완전히 손상되어 해수로 가득 찼을 경우에도 단지 5도의 경사만을 이루는 것으로 나타났다.

이와 같이 LNG 플랜트는 상당히 무겁고 높이가 높은 기자재가 많은데도 불구하고 합체의 안정도가 매우 높은 것으로 판정되었다.

6) 안전

합체의 외부 둘레로는 발라스트용 해수와 냉각수, 음용수 등을 따로 저장하도록 하고 LNG와 컨덴세이트 저장 탱크는 그 안쪽으로 배열하였으며 모두 이중 격벽을 적용하여 다른 선박과의 충돌 시 문제가 없도록 하였다.

합체 상부 배치는 대각선을 그어 문 풀(Moon Pool)을 중심으로 한쪽에는 유류 가스 소각 설비, 액화 설비 등과 같이 휘발성 연료를 사용하는 고

위험 설비를 위치시키고, 숙소, 정비소, 하역시설, 저장실, 지원시설, 발전시설 등과 같은 저 위험 시설들은 다른 쪽에 분리하여 위치하도록 하였다.

또한 주 파향, 너울, 바람 방향 등을 고려하여 고 위험 지역 화재 시나 파괴시 저 위험 지역으로 문제가 확산되지 않도록 합체 고정 시 합체의 방향을 잘 잡도록 하여야 한다.

7) 향후 적용 가능성

모빌사의 부유식 LNG 플랜트는 육상 LNG 플랜트보다 비용과 공기 면에서 25% 이상 절감되는 효과를 갖는다.

먼저 비용 면을 살펴보면 부유식 플랜트에서는 항만 시설, 해양 가스 처리 시설, 해저 파이프라인 등을 따로 건설할 필요가 없어 해당 공사비와 유지관리비를 절약할 수 있으며, 육상 플랜트에서 이러한 시설들의 문제 발생 시 생길 수 있는 다운타임을 방지 할 수 있다.

또 부유식 플랜트는 합체를 4개의 동일한 작은 합체로 나누어 각기 다른 드라이 도크(Drydock)에서 제작한 다음, 안전 해역으로 견인 이동하여 포스트텐션(Post-tension)과 그라우팅(Grouting) 공법을 사용하여 조립함으로써 공기의 절감을 피할 수 있다. 합체 위의 상부 플랜트 모듈(Module)들도 세계 각지에서 각 모듈을 따로 제작한 후 안전 해역까지 운반하여 설치, 조합, 완성시킴으로써 공기를 크게 단축시킬 수 있다. 또 운반 시 모듈별로 시운전을 미리 실시할 수 있다.

부유식 LNG 플랜트의 또 하나의 강점은 기존 육상이나 해상 Infra에서 아무리 멀리 떨어져 있어도 LNG 생산이 가능하다는 것이다. 이는 해양 가스 생산의 경제성을 획기적으로 개선시킬 수 있다. 따라서 한 가스전(Gas Field)에서 일정 기간 작업한 후 다른 가스전으로 이동시킴으로써 소량 가스전에서도 경쟁력 있게 적용이 가능하다.

3. 메가플로트(Megafloat)

1) 메가플로트란?

일본 연안역 중 매립이 가능한 수심 20m이하 지역은 현재 거의 남아있지 않은 상태이다. 따라서 21세기에는 수심 20~50m 지역이 본격 개발될 것이며 이를 위해 일본정부는 메가플로트를 가장 경쟁력 있는 구조로 판단하여 이의 개발을 서두르고 있다. 메가플로트는 해상 부유식 강재 구조물로서 21세기에 해상매립을 대신하여 해상 공항, 해상 물류 기지, 폐기물 처리시설, 해상 발전소, 레저용 시설, 해상호텔, 항만터미널 등으로 활용될 수 있을 것이다. 이 메가플로트는 해상매립에 비해 다음과 같은 장점들을 가지고 있다.

- 액상화 등의 우려가 없고 지진에 보다 큰 저항성을 지닌다.
- 건설기간이 매립 소요기간의 1/2로 짧고 건설비도 크게 경감된다.
- 해상에 건설하기 때문에 장래 시설의 연장이 용이하고 이동성을 지닌다.
- 매립에 비해 환경 친화적이다.
- 매립시 필요한 침하 대책이나 매립재의 확보가 불필요하다.
- 바다 깊이나 해저 지반조건에 관계없이 설치 가능하다.

2) 1차 메가플로트

일본 정부는 1차 메가플로트 프로젝트를 통해 300m × 60m × 2m 되는 부유체를 요코스카 연안에 1996년 완공하고 현재는 용접, 환경문제와 지진, 쓰나미, 태풍, 부식 등에 영향이 없는지를 검토 중에 있다. 해류, 조류, 플랑크톤, 지진, 태풍, 높은 파랑 등에는 문제가 없는 것으로 이미 판명되었다.

메가플로트는 서로 다른 조선소에서 제작된 크



기가 각각 100m × 20m × 2m 되는 9개의 부유식 강구조체를 건설 현장에 예인하여 상호 접합하고 이를 해저에 계류색으로 고정시켜 완성한 것이다.

이러한 구조물은 건설과 유지관리를 위해 효과적인 수중용접 방법을 개발하는 것이 절대적으로 필요하다. 또한 해양 환경에서 녹이 스는 현상을 막기 위해 전극 방식을 채용하여야 한다.

안전 문제를 고려하여 부유식 구조물 내부를 여러 개의 격실로 나누었으며 만약 그 중 한 개의 격실이 파손되어 침수되더라도 구조물 전체의 안정에는 영향이 없도록 설계하였다.

그러나 아직도 해결해야 할 문제로는 ▶ 계류색이나 앵커가 파손되었을 때 구조물이 떠내려가 주변의 배나 항구에 충돌할 가능성 ▶ 부유식 구조물을 해상 공항으로 사용할 때 항공기가 활주로에 착륙하면서 일정 각도로 접근해야하나 구조물의 Roll 또는 Pitch 운동에 의해 일정 각도 유지가 어려울 가능성 ▶ 강재의 부식 문제 ▶ 유지관리 비용의 상승 ▶ 환경 문제 등을 들 수 있다.

3) 2차 메가플로트

일본정부는 1차 메가플로트 수행 시 발생된 문제점들을 보완하고 기술을 보다 향상시키기 위해 야심에 찬 2차 메가플로트 계획을 세워 현재 시행 중에 있다. 이번 계획의 목표는 동경만의 해상공항 가능성 여부를 검증하기 위한 시험 부유식 구조체를 완성하는 것이다. 전체 구조물의 크기는 길이가 약 1km, 폭이 100m에 이르며 활주로의 폭은 60m이다. 구조물의 설계수명은 100년이며, 일본 정부에서는 예산 130억엔을 지원하여 1998년도에 착수, 2000년 완공 예정이다. 이 구조물은 완성 후 세스나기 또는 70명의 승객을 실은 YS11기 등의 이착륙 등에 사용될 예정이며 장차 폐기물 처리 시설, 소형 화력발전소, 고속

해상 수송을 위한 중간기지 등으로도 활용 가능할 것으로 보인다.

금번 사업에서 특히 중점적으로 검토하고 있는 사항은 ▶ 구조물의 수평 변이를 방지하기 위한 계류 방법과 ▶ 부유 철구조물의 자력장이 소형 비행기 착륙 시 비행기내의 자기컴파스에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구 등이다.

4) 오키나와 미군 해상 헬리포트

오키나와 해상 헬리포트란 주일미군이 현 오키나와 후텐마(Futenma) 공군 기지를 대체하여 해상에 건설하려는 기지이다. 해당 지역의 수심은 낮은 곳이 약 3m, 깊은 곳이 약 70m에 이르며 설계파고는 6m이다. 기지의 크기는 길이 1,500m, 폭이 600m이며 이 중 활주로의 길이와 폭은 각각 1,300m와 45m이다. 기지의 탑재 헬기로는 UH-1, AH-1, CH-53/46 등이 있으며, 그 수는 총 66대, 필요한 기지 인원은 총 3,900명에 달한다. 상부시설에는 정비창, 관제탑, 소방 및 구조 시설, 보급품 저장 시설, 격납고, 창고, 유류 저장 시설, 숙소 및 기타 지원 시설 등이 있다. 기지의 설계 수명은 40년, 건설 소요 기간은 7년이며 예상 공사비는 약 40억불이다.

기지는 반드시 향후 제거가 가능한 공법으로 건설되어야 하므로 <표 3>과 같이 잭업식, 폰툰식, 반잠수식 중 하나로 결정될 예정이다.

<표 3>

분 류	잭업식 (QIP)	폰툰식 (메가플로트)	반잠수식
내용	파일 지지	방파제 안에 정박시킨 부유식	반잠수식 부유 구조물
건설비(십억엔)	250-330	260-420	490-500
제거비(십억엔)	260	270	600
유지관리비 (백만엔/1년)	300	300	350
공사기간	5년	5.5년	6.5년

잭업식은 QIP(Quick Installation Platform) 식이라고도 한다. 이는 이동식 잭업을 사용하여 떠 있다가, 고정 시는 파일을 내려 정 위치시키는 구조물이다. 태풍과 같은 기상 조건하에서 고정성을 확보하기 위해서는 1만개 이상의 파일 설치가 필요하며 따라서 제거 과정이 타 구조에 비해 매우 불리하다. 또한 충분한 내부 공간이 부족하며, 수심이 너무 깊으면 설치가 곤란하고, 지진시 안정성과 이동성이 불리하다는 단점이 있다.

폰툰식은 반잠수식에 비해 형태가 간단하여 유지관리비가 저렴하나 태풍시의 안정을 위해 해저에 계류색으로 고정시키고 추가로 주위에 방파제를 두어야 한다.

반잠수식은 형태가 복잡하여 유지관리비가 높으나, 해파를 통과시키는 구조이므로 방파제를 따로 설치할 필요가 없다. 그러나 폰툰식과 마찬가지로 해저에 계류색으로 고정시켜야 한다. 반면 반잠수식은 자력 추진으로 항해가 가능하다.

이 해상 헬리포트의 건설을 위해선 높은 비용, 기술적 문제, 환경 문제 등 해결하여야 할 문제들이 많이 남아있다.

4. FPSO 석유생산 플랫폼

1) FPSO란?

FPSO(Floating Production, Storage & Offloading)는 부유식 생산, 저장, 하역 시설의



〈그림 3〉 FPSO

약자로 특히 심해에서의 해저 석유 생산에 초 사용되기 시작한 부유식 구조물이다. 이것은 자력 추진이 가능한 유조선 모양의 구조물로써 일정 지점에서 작업 시는 메가플로트와 마찬가지로 해저 지반에 계류색과 파일로 선체를 고정시킴으로써 안정성을 확보한다. (〈그림 3〉 참조)

〈표 4〉는 전 세계적으로 현재 설치 중이거나 설치 완료된 주요 FPSO와 해당 수심을 살펴본 것이다.

〈표 4〉

No.	석유회사	프로젝트 명	위치	수심 (m)	준공 연도
1	Petro-Canada	Terra Nova	Newfoundland, Canada	90-100	2001
2	Texaco	Captain	North Sea	107	1996
3	Texaco	Galley	North Sea	150	1998
4	Amoco	Liuhua 11-1	South China Sea	300	1996
5	Statoil	Asgard	Offshore Norway	240-310	1998
6	Statoil	Lufeng 22-1	South China Sea	333	1998
7	Statoil	Norne	Offshore Norway	380	1997
8	British Petroleum	Foinaven	British Offshore	400-600	1996
9	British Petroleum	Schiehallion	British Offshore	400	1998
10	Petrobras	Procap 2000	Offshore Brazil	300-2,000	1998

FPSO는 기존 유조선을 개조해 쓰거나 신조선으로 제작하기도 하는데 기존 유조선을 개조해 쓸 때는 반드시 적용 해상 조건의 변화에 따른 접합부의 피로(Fatigue) 문제를 주의 깊게 검토하여 보강 조치하여야 한다. FPSO 설계 시 강재의 피로 문제를 보통 선박 설계시 보다 더 심도 있게 검토해야 하는 이유는 다음과 같다.

- 보통 선박은 정기적인 유지보수를 위해 드라이도크(Drydock)에 들어갈 수 있으나, FPSO는 설계 수명 기간 동안 드라이도크에 들어갈 수 없으며 따라서 정기적인 수선 없이 계속적으로 작업을 하여야 한다.
- 보통 선박은 그 수명의 70% 정도만 외해에



서 보내나 FPSO는 거의 영구적으로 바다에 떠 있어야 하므로 피로 하중(Fatigue Loading)에 그대로 노출된다.

- FPSO는 일정 위치에 고정되어 있는 관계로 보통 선박에 비해 피로 하중의 방향이 일정 방향에 집중된다.

2) FPSO의 장점

지금까지 해저 석유 생산 시설에 가장 많이 쓰여 온 고정식 해양구조물에 비해 FPSO가 갖는 장점은 다음과 같다.

- 기존의 조선기술에 의거하여 제작이 가능하다.
- 건설 및 시운전을 위해가 아닌 조선소에서 완수할 수 있어 외해 현장 작업을 최소화할 수 있으며 따라서 이로 인한 비용 절감이 가능하다.
- FPSO의 각 조립 요소(Module) 즉 FPSO 선체, 원유 처리 플랜트, 계류 시스템 등을 세계 여러 곳에서 동시에 따로 제작하여 한 곳으로 이동, 조립함으로써 공기의 단축과 제작비의 절감이 가능하다.
- 원유 생산량 변화 등 기능 변화에 따른 상부 기자재의 추가 설치나 변경이 용이하다.
- 한 곳의 작업이 끝나면 이동하여 다른 곳에서 작업이 가능하다. 즉 현장 설치와 철수, 이동이 편리하다.
- 고정식 구조물에서는 설치가 어려운 저장 및 적하시설의 설치가 용이하다.

3) FPSO의 계류 시스템

FPSO는 해상 고정을 위해 터릿 무어링 시스템(Turret Mooring System)을 사용한다. 이는 원통 모양의 터릿에 계류용 체인이 직접 부착된 것이다. 또한 베어링 시스템이 내부에 설치되어 있어 날씨의 변화에 따른 FPSO의 회전 움직임을

을 자유롭게 허용함으로써 FPSO에 작용되는 외력을 최소화할 수 있다.

터릿 시스템은 보통 뱃머리에 위치하는데 이렇게 하면 FPSO의 움직임이 보다 자유롭고 상부 공간을 절약할 수 있으며 저장능력을 늘릴 수 있는 장점이 있다. 만약 터릿 시스템을 배 중앙에 위치시키면 트러스터(Thruster)를 추가로 두어 외력의 영향을 최대한 줄여야 하고 보강이 많이 필요해 비용 면에서 불리하다.

바람과 해류가 서로 다른 방향으로 작용하는 경우에는 터릿 시스템만으로 효과적인 반응(Response)을 하기가 역부족일 때가 많다. 이를 위해서 근래에는 트러스터와 다이나믹 포지셔닝 시스템(Dynamic Positioning System)을 동시에 적용하는 FPSO가 많이 있다.

4) FPSO 선체의 재료

보통 FPSO 선체는 강재로 만들어지는데 요사이 이는 콘크리트 재료도 선호되고 있다. 이는 콘크리트가 강재에 비해 부식이 잘 일어나지 않고 피로 하중에 대한 수명이 보다 길며, 온도에 대한 영향이 작아 고온 유류나 저온의 가스를 저장하는데 유리하기 때문이다. 또한 공기나 비용 면에서도 콘크리트가 상대적으로 경쟁력이 있다.

5. MOB

1) MOB 란?

MOB는 미국 해군에서 차세대 해양기지로 추진하고 있는 해상 부유식 구조물로 Mobile Offshore Base의 약자이다. 이것은 세계 여러 곳의 해상에 배치되어 고정익 화물기 등 해군 비행기의 이착륙이 가능하도록 설계된 떠있는 병참기지로 현재 미 해군 연구소에서 기술적 타당성을 검토 중에 있다.

2) MOB의 특징

MOB는 최소 1,500m의 길이와 150m의 폭, 75m의 깊이, 40m의 흘수를 갖는다. 이것은 전체가 하나의 구조체가 아니라, 길이 방향으로 여러 개의 모듈을 연결하여 이루어지는 구조이다. 전체 무게는 170만 톤 정도이며 이 기지에는 80만 m²의 건화물과 4만m³의 연료를 저장할 수 있는 시설, 그리고 유사시 한번에 250명의 승무원과 3천명의 병력이 주둔할 수 있도록 설계된다. 또한 태풍이나 허리케인 등 어떠한 기상 조건하에서도 C-17 화물기의 이착륙이 가능하여야 하며, MOB에서 화물선으로의 하역도 동시에 가능하여야 한다.

MOB의 설계 수명은 정밀 검사 시까지 약 40년이며, 설계 수심은 3,000m이다. MOB의 각 모듈은 작전상 다른 곳에 따로 위치하다가도 화물기 이착륙이 필요하게 되면, 빠른 시간 내에 결합하여 하나의 구조체가 될 수 있도록 되어있다. 따라서 각 모듈은 자력 추진으로 10노트 이상의 속도를 낼 수 있어야 한다.

3) 현재 추진 상황

현재 개발 중인 MOB에는 <표 5>에서 보는 바와 같이 개발회사가 각각 다른 4가지 종류가 있다.

<표 5>

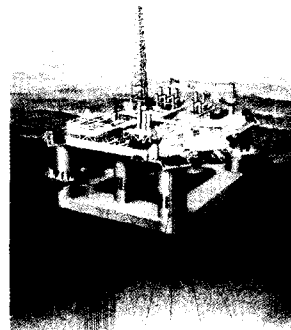
MOB 종류	개발 회사
힌지형 반잠수식 모듈 (Hinged Semisubmersible Modules)	McDermott
유동성 교량 연결 반잠수식 모듈 (Semisubmersible Modules with Flexible Bridges)	Kvaerner
독립적 반잠수식 모듈 (Independent Semisubmersible Modules)	Bechtel
콘크리트/강재 복합 반잠수식 모듈 (Concrete/Steel Semisubmersible Modules)	Aker Norwegian

이 4가지 형태 구조물의 다른 점은 여러 작은

모듈을 어떻게 결합하여 하나의 MOB 구조체로 만드느냐에 있다.

MOB를 한 구조체로 만들지 않고 여러 개의 모듈이 연결된 구조체로 만드는 이유는 모듈 사이의 상대적 움직임을 허용함으로써, 파도로 인한 휨 모멘트를 감소시킬 수 있기 때문이다. 그러나 상대적 운동을 너무 많이 허용할 경우 모듈 간의 연속성이 안 좋아져 비행기 이착륙에 문제가 발생할 수 있다는 단점이 있다.

MOB의 기본 형태인 반잠수식은 상재 하중을 여러 개의 원형 기둥이 지지하며 이 기둥들은 아래쪽에서 두 개 또는 네 개의 매우 크고 평행한 폰툰을 통해 서로 연결되는 구조이다. <그림 4>는 석유 시추선에 쓰이는 반잠수식 구조를 보여주고 있다.



<그림 4> 반잠수식 시추선

반잠수식은 일정 장소에 고정될 때는 충분한 발라스트를 통해 몸체를 가라앉혀 폰툰을 완전히 잠기게 함으로써 수표면 면적을 최대한 감소시켜 파랑과 해류에 대한 저항을 감소시킨다. 이 때문에 반잠수식 모듈은 큰 몸체에도 불구하고 상대적으로 외력의 작용을 적게 받으며 따라서 안정성이 매우 우수하다. 하나의 폰툰은 보통 유조선 크기로 이동시에는 흘수를 되도록 작게 하여 몸체를 띄우고 이에 따라 두 개의 선체모양 형태로



움직이게 된다. 그러므로 모듈은 그 크기에도 불구하고 이동성이 용이해 진다.

4) 향후 개발이 필요한 사항

MOB의 실용화를 위해 앞으로 중점적으로 연구 개발되어야 할 핵심 기술에는 ▶ 모듈간 연결 기술 ▶ 해양환경에 견디는 대체 재료 기술 ▶ 태풍시 정위치 확보 및 유지 기술 ▶ 파도, 해류 등의 외력에 대한 운동 반응 감쇄 기술 ▶ 건설 및 유지관리 기술 ▶ 공해 상에서의 화물 하역 기술 등이 있다.

6. 결론

해상 부유 구조물 설계시 가장 중요한 것은 어떻게 하면 설계 외력을 효과적으로 감소시킬 수 있는가에 있다. 설계 외력 중 가장 큰 것은 역시 파랑에 의한 것이며 이 파력을 가장 잘 회피하는 것이 부유 구조물의 안정성과 경제성 그리고 유지관리적인 측면에서 보다 우수한 구조물을 만들 수 있는 관건이 된다. 이러한 관점에서 보았을

때 파력이 가해지는 면적을 최소화할 수 있도록 한 반잠수식 MOB가 가장 효과적인 해상 부유식 구조물로 판단된다.

해상 부유식 구조물은 바다나 공중을 통한 접근이 용이하고 통신이 막힘이 없이 편리하다는 장점을 지닌다. 그리고 해저 케이블과 해저 파이프라인을 통한 전기 공급과 급배수가 용이하며, 사고 발생 시 탈출이 쉽다. 또한 한 곳에서의 화재나 폭발이 이웃의 다른 구조물로 쉽게 전이되지 않는다는 장점도 있다.

이러한 장점들에 앞서 역시 가장 중요한 것은 해상 공간의 무한한 가능성을 들 수 있다. 21세기에는 누가 해양 공간을 선점하여 새로운 영역을 확대해 나가느냐가 한 나라의 미래와 국력의 신장을 결정할 수 있을 것이다.

이를 볼 때 우리 나라도 하루빨리 해양 공간 개발을 위한 마스터플랜을 세워 이를 하나하나 착실히 밟아 나감으로써 적어도 해양 개발이라는 면에서는 선진국과 어깨를 나란히 할 수 있어야 할 것이다.

(원고 접수일 1999. 9. 10.)

참고문헌

1. Floating LNG Plant will stress Reliability and Safety / C. D. Kinney, H. R. Schulz, W. Spring / Mobil Technology Co. / World Oil / July 1997
2. Mobil tackles Floating LNG Challenges / S. Bhattacharjee, D. Garrett, B. Sweetman / Mobil Technology Co. / Offshore Engineer / July 1997
3. Design advanced for Large-scale, Economic, Floating LNG Plant / Marie M. Naklie / Mobil Technology Co. / Oil & Gas Journal / June 1997
4. Unique Hull Design for Floating LNG / G. Z. Gu, G. C. Hoff, G. R. Thompson / Mobil Technology Co. / Offshore / July 1997
5. Topside Challenges of Floating LNG / J. T. Mok, K. A. Yost, J. R. Lopez / Mobil Technology Co. / Hydrocarbon Processing / July 1997
6. Classification of FPSO's for Extreme Environments / M. J. Maguire / Lloyd's Register of Shipping / Proceedings of the Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference / May 1998
7. Development Trends in Deep Water / John Waddell / Kvaerner H&G Offshore / Offshore Technology
8. Classification of FPSO's / George Alford / Lloyd's Register of Shipping / Offshore Technology
9. Floating Production - The Turnkey Option / Peter Lovie / Bluewater Offshore / Offshore Technology
10. Mobile Offshore Base / Gene Remmers et al. / Office of Naval Research / Proceedings of the Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference / May 1998