

해상 부유식 마리아의 초기 설계

정 현* · 오태원* · 남궁성* · 김상배* · 조철희**

*(주)오션스페이스

**인하대학교 선박해양공학과

Initial Design of Offshore Floating Marina System

H. Chung* T. W. Oh* S. Namgoong* S. B. Kim* C. H. Jo**

*Ocean Space Inc., Seoul, Korea

**Naval Architecture and Ocean Engineering Dept., Inha University, Incheon, Korea

KEY WORDS: Floating Marina 부유식 마리아, Offshore Floating Structure 해상 부유식 구조물, Mooring Design 계류설계

ABSTRACT: *Marinas are often located in prime port side locations. In Korea these locations are already developed and reclamation of the existing properties poses many difficulties and financial overhead. Also, to develop a standard marina in Korea with tide ranges up to 6 meters would require considerable dredging and reclamation works needing long lead times and large SOC costs. The Ocean Space's floating marina system is an independent offshore floating static level system that does not require fixed location breakwaters. The entire marina floats with the tide giving a calm consistent berthing condition for vessels irrespective of the surrounding tide and weather conditions. The floating marina system provides also for all of functions needed to marina comprising a breakwater to protect the vessels, the pontoon system to house the vessels, a club house and retail tourism precinct, fuel reservoir and associated support facilities in a turn key self contained unit. The modular nature of the system will mean that initial demand can be met with simple units and then further modules can be added quite easily without the related expansion difficulties or infrastructure. This paper contains the main characteristics of the floating marina system and the design process of the structure. The mooring, motion & stability analysis, the overall & local structural design and the mooring & anchor system design are introduced in this paper.*

1. 서론

우리나라는 국민소득 향상과 주 5일 근무제 등 여가 시간 증가에 따라 해양 스포츠 및 위락시설에 대한 관심이 점차 커지고 있다. 특히 요트 및 보트의 이용 증가에 따라 계류시설로서 마리아의 수요 또한 증대될 것으로 판단된다.

마리아란 요트 및 보트를 계류할 수 있는 시설로서, 기존의 마리아는 주로 해안시설을 이용하므로 신규 마리아 건설시 적지 선정의 어려움, 방파제 건설 및 매립에 따른 지역 사회와의 마찰, 환경오염과 SOC 투자비 증가 등으로 인해 계획 단계에서 부터 많은 어려움을 겪을 수 있다.

본 해상 부유식 마리아는 기존의 해안형 마리아와 달리 완전히 독립된 개체로 해상에 떠있는 부유식 해양구조물의 장점을 극대화 시켰으며, 함체 자체가 파랑으로부터 계류선박을 보호하는 방파제 역할을 수행하면서, 큰 조위차에도 적용할 수 있도록 설계하였다. 또한 충분한 부대시설의 상부 배치를 통하여 해상에 독립된 종합 관광시설이 되도록 하였다.

본고에서는 해상 부유식 마리아의 주요 시설 규모 결정, 운동 성능 및 계류시스템 설계, 구조 해석 등의 초기 설계 결과를 제시하고자 한다.

2. 해상 부유식 마리아 주요 제원

본 해상 부유식 마리아는 미래 수요에 맞추어 2차에 걸쳐 총 400선석 규모로 계획하였으며 1차로 우선 200선석 규모의 마리아를 상정하여 보트관련 시설과 부대시설 규모를 결정하였다.

마리아의 흘수는 설치 해역의 최소 수심과 설계파의 최대 파진폭, 부유체 동요량, 여유 깊이 등을 고려하여 결정하였으며, 건현의 높이는 선체의 강도적 측면과, 갑판침수 및 슬래밍 발생 최소화 등을 고려하여 결정하였다.

마리아의 출입구 항로 깊이는 파랑에 의한 부유체의 수직방향 동요량과 요트의 동요량, 평상시 파고 등을 함께 고려하여 결정하였다.

콘크리트 함체는 외판과 격벽으로 나눌 수 있으며 격벽은 수밀 격벽으로 하고 적절한 배치를 통해 손상시 복원성을 고려하였다.

밸러스트 중량은 만재시 적정 흘수를 유지하고 함체 평형 유지를 할 수 있는 최소한의 소요 중량으로 하였다.

Table. 1 마리아 주요제원

길이(m)	400
폭(m)	400
진현(m)	4.5
홀수(m)	4.0
무게중심(m)	3.09
부심(m)	1.5
GM(m)	4469.3
배수량(ton)	460,000
콘크리트 중량(ton)	280,000

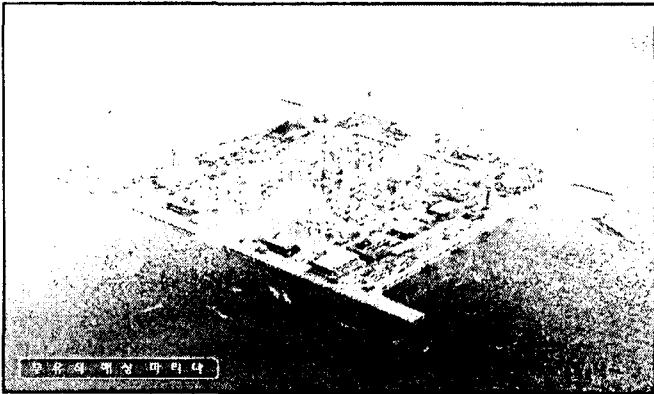


Fig. 1 해상 부유식 마리아 조감도

3. 마리아 주요 시설의 규모 결정

3.1 수역 면적

마리아의 수역 면적을 결정하기 위하여 수요에 따른 보트의 구성, 계류시설의 기준, 항로폭과 선회장 기준 등을 검토하였다. 1차 계획은 200선석 규모로서 보트 구성은 호주, 뉴질랜드, 일본의 대표적인 지역인 Perth, Auckland, Fukuoka 등을 비교하여 사회적 Trend가 비슷한 일본을 모델로 하였다.

Table. 2 Boat Mix (200척 기준)

보트 길이 기준	척수
32ft	48척
34ft	8척
42ft	72척
44ft	8척
52ft	56척
59ft	8척
합계	200척

마리아 내의 요트나 보트의 계류시설 기준은 항만시설물 설계 기준서 마리아 편과 일본 항만 시설의 표준기술(2002) 마리아 편을 참조하였다.

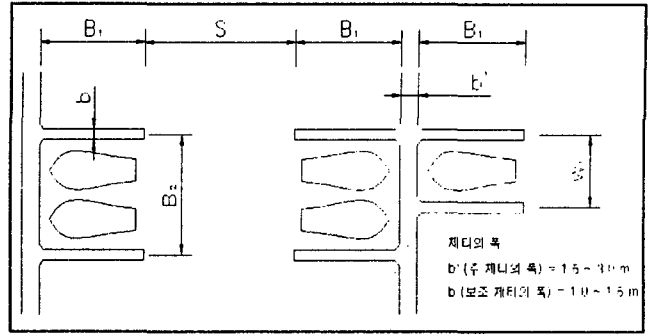


Fig. 2 계류시설

Table. 3 계류시설의 제원

선장	Berth 길이	슬립(Slip)	제타간 거리(최소)
L	$B1=(1.0\sim 1.2)L$	$S=(1.5\sim 2.0)L$	$W1=(\text{선폭})+b+(0.3\sim 0.6m)$ $W2=(2\times\text{선폭})+b+(1.5\sim 2.0m)$

항로폭은 국내와 일본, 영국의 기준을 참조하였으며, 각 나라별 항로폭은 25.3~36m로, 본 마리아의 경우 최대 요트 길이 18m를 고려하여 40m의 항로폭을 적용하였다.

Table. 4 항로폭의 선정

구분	국내	일본	영국
산출 근거	• 5.4B • 1.5L, 2.0L	• 2L (엔진부착 요트길이)	• 30.0m • 최대 보트 폭(B)의 5배
산출폭	• 27.5m(B=5.1m) • 36m(L=18m)	• 36m	• 30m • 25.5m(B=5.1m)
적용	○(40m)		

선회장은 양측 항로가 연하는 중앙구역에 3L을 직경으로 하여, 항만 시설물 설계 기준서에 따라 적용하였다.

보트의 구성, 계류 시설, 항로 폭, 선회장 기준 등을 적용하여 결정된 수역 면적의 총 넓이는 56,000 m^2 로, 한쪽 100선석은 소형 위주 배치, 다른 쪽 100선석은 중대형 위주의 배치로 각각 수요층을 달리하여 배치하였다.

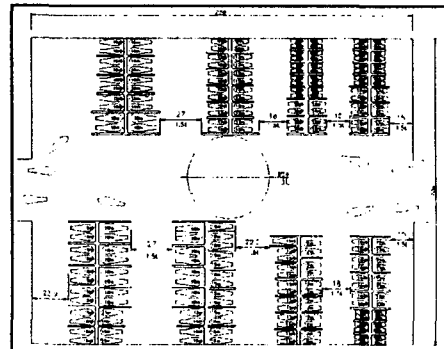


Fig. 3 항로 폭, 선회장 및 요트 배치

3.2 마리나 상부 데크 및 함체 내부 시설 배치

상부 데크 위에 배치된 각종 시설들은 기본시설, 작업용 시설 등으로 나누어 일본 및 영국의 사례와 국내 건축 조례를 근거로 소요 면적을 산출하였다.

Table. 5 마리나 상부 데크 시설

시설 명	면적(m ²)
보관 및 수리시설	2,400
마리나 지원 시설	3,500
레크레이션 센터	4,500
강습시설	500
샤워 및 관리시설	1,000
관리동	400
쇼핑센터	1,000
화장실, 샤워실	600
간이숙박시설	2,000
관측탑	200
클럽하우스	1,000
만남의 광장	600
헬리포트	1,000

해상 마리나 구조물은 해안에서 떨어진 독립된 해양 레저 시설용 구조물이기 때문에 함체 내에는 연료 저장탱크, 동력실, 오페수 처리 시설, 급수 저장 탱크, 밸리스트용 해수탱크 등 Utility 시설이 필요하다. 또한 함체 내부 시설과 함체 외부는 모두 이중 격벽을 적용하여 사고 시 함체 안전에 영향이 최소화되도록 하였다.

마리나 내부 시설의 면적 및 용량은 해상 마리나 일일 최대 이용자수를 고려하여 결정하였다.

Table. 6 마리나 내부 시설

시설 명	면적(m ²)
동력실	3,500
연료 저장탱크실	4,000
오페수 처리시설	3,000
급수 저장탱크실	4,500
밸리스트용 해수 저장 탱크실	48,000
중앙 보일러실	2,400
저장 및 자재창고	2,400

4. 설계 특성

4.1 마리나 구조형식 및 재료 선정

구조형식의 결정을 위해서는 마리나의 설치 위치, 해상 및 기상 조건, 해저 지형 영향 등을 고려하여야 한다.

국내 부유식 마리나의 설치 예상지는 수심이 보통 20~30m이며, 큰 조위차를 보이는 게 특징이다.

마리나의 구조형식은 폰툰(pontoon)형의 경우 실제 건조 사례가 다수 있으며, 구조물이 대형화함에 따라 파랑에 대한 운동성

능이 반잠수식과 큰 차이를 나타내지 않는 특성을 가지고 있다. 또한 20~30m 수심에 설치되는 경우 반잠수식에 비해 건조비가 저렴하며, 매립식 해상구조물과 비교하여도 경제적 우위를 점할 수 있다.

해양 구조물의 재료로는 콘크리트제와 철강제가 주로 사용되고 있다. 본 해상 마리나에는 부식 및 내구성 측면에서 유리한 콘크리트를 주 재료로 적용하고 철강재는 부 재료로 사용하였다.

4.2 부유식 마리나의 계류해석 및 운동 성능 검토

본 마리나 시스템의 경우 평상시 파랑에 대한 동요는 거의 문제가 없는 것으로 검토되었다. 그러나 이상시 파랑에 의해 갑판 침수(Deck wetness), 슬래밍(Slamming), 슬로싱(Sloshing) 등의 현상이 발생할 수 있고, 선박의 충돌이나 각종 사고로 인해 함체 내부의 침수가 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 또한 계류 요트의 보호를 위해 부진동이나 항내 정온도 등의 검토가 필요하다.

갑판 침수 및 슬래밍 발생 가능 여부는 함체의 6자유도 운동 중 영향이 가장 큰 Heave Motion을 검토하여 발생 확률을 계산하였으며, 검토 결과 슬래밍 발생 가능성은 거의 없으나, 갑판 침수 가능성은 다소 있으므로 향후 이를 고려하여 함체 설계에 반영할 계획이다.

슬로싱 현상은 부유식 구조물의 동요에 의해 탱크 내부의 유체가 움직이는 현상으로 구조물의 안정성에 영향을 줄 수 있으므로 고유진동수, 작용 높이, 측판압등을 고려하여 설계시 반영하였다. 본 설계에서는 DnV Rule를 적용하여 슬로싱 압력을 구하고 구조해석시 적용하였다.

마리나 시설의 경우 항내 정온도를 파고 0.1m, 주기 2.0초(PIANC 기준) 이내로 유지하여야 한다. 본 마리나는 이상시 마리나 출입구와 하부로부터 파랑 에너지 침입이 예상되며, 부진동 발생 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 항내 침입 파랑을 차단하는 방법을 고려하였으며, 구조물의 고유 진동주기와 침입파랑의 고유진동주기를 비교하여 부진동 발생 가능성도 검토하였다.

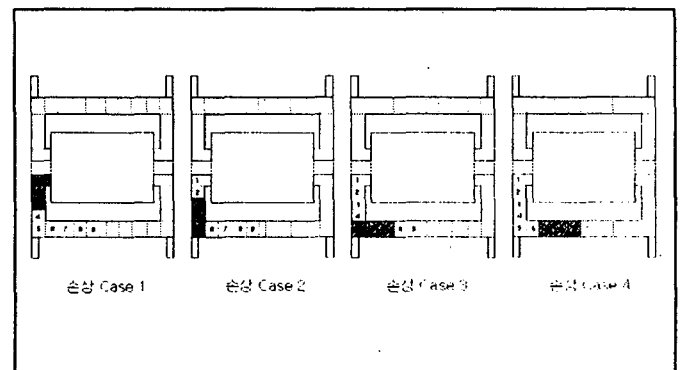


Fig. 4 손상시 함체 침수구역 가정

4.3 계류시스템 설계

계류장비 및 시설은 부유체의 크기 및 형태, 수심, 파도, 바람, 조류 등에 의한 환경하중의 크기 및 작용 주기, 해저지형 및 토층 불성, 해저지진의 발생 유무 및 강도 등에 따라 그 선택의 폭이 영향을 받는다.

돌핀 계류시스템은 대형 부유구조물의 친해 계류를 위한 대표적인 방식으로 본 마리나에도 확대 적용하게 되었다.

본 해상 부유식 마리나 계류 시스템의 기본 구상 방향은 소요 부속품이 비교적 단순한 형식이면서 큰 조위차에도 효율적인 계류를 할 수 있고, 계류력과 마찰력에 충분한 능력을 갖는 부속장치를 설계하는 것이다. 또한 시공시 별도의 시공 비용이 부가되지 않도록 하며 유지 관리가 용이한 시스템을 구상하였다.

1) 계류 시스템

계류시스템은 자켓식 돌핀과, 돌핀과 마리나 합체를 연결하는 가이드 프레임, 돌핀과 가이드 프레임의 접속부로 구성된다.

자켓식 돌핀은 큰 수평 하중에 충분한 강도를 가지며, 변위량이 작고, 축력과 전단력이 큰 장점을 갖고 있어 설치 기수와 공사비를 절감할 수 있다.

돌핀을 계류시키는 가이드 프레임 부분을 콘크리트 재질로 제작하는 것은 콘크리트 마모도가 크고, 시공법과 인장하중에서의 부적합성으로 인해 적절하지 않다고 판단되어 철강재로 설계하였다.

급속성 보호 완충재는 부싱(Bushing) 재질의 내마모성 완충재를 사용하였다. 부싱은 부유 구조물의 조위차에 의한 상하 운동시 마찰력에 의해 가이드 부분이 손상되는 것을 방지하며, 마찰시 발생하는 소음을 저감시킨다. 부싱의 마모율은 관련 공식과 계수를 이용하여 추정하였고 이를 통해 소요 부싱 두께를 산정하였다.

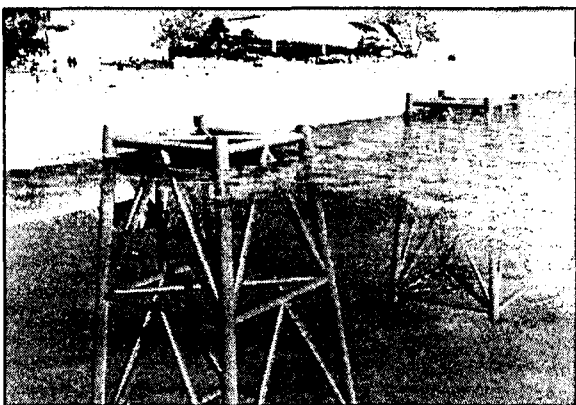


Fig. 5 마리나 계류시스템 조감도

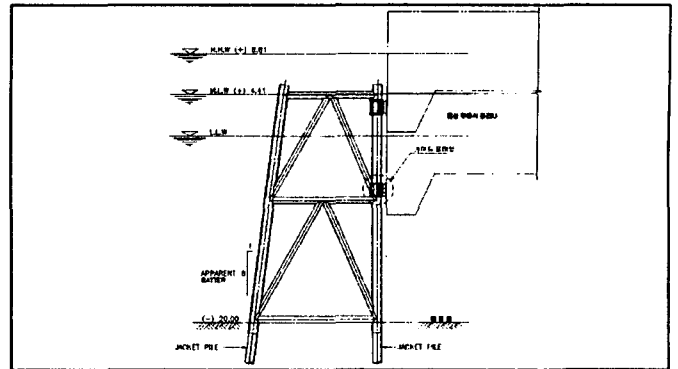


Fig. 6 자켓 돌핀 입면도

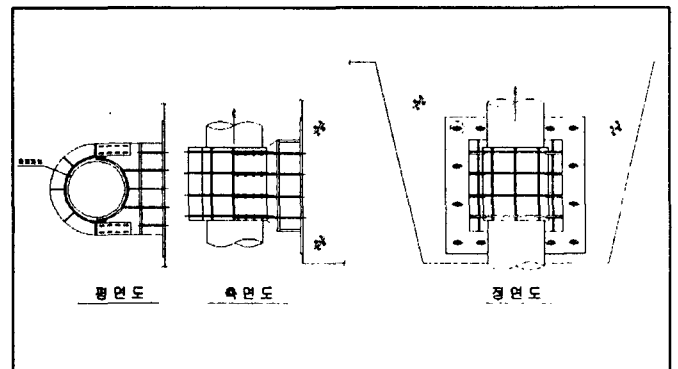


Fig. 7 계류연결부

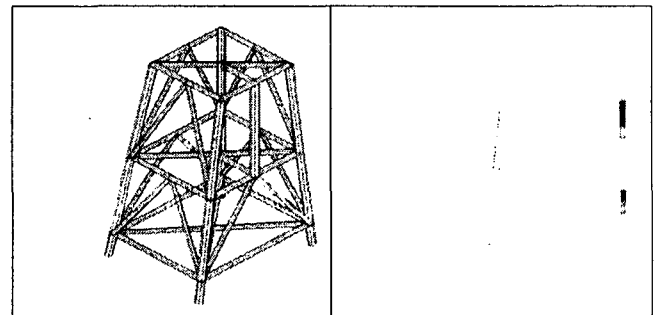


Fig. 8 자켓 돌핀 구조해석 결과

2) 계류시스템의 설계 외력

계류시스템의 설계 외력으로는 풍압력, 파력, 조류력, 지진력, 정수압 등이 있다. 본 계류시스템의 계류력 산정을 위해 계류안정성 해석 프로그램인 Ariane-3D를 사용하여 태풍시(이상시) 기상자료를 근거로 파랑에 의한 표류력을 포함한 최대 계류력을 산정하였다.

Table. 7 계류 설계 조건

파랑		풍속(m/s)	조류속(m/s)	수심(m)
파고(m)	파주기(sec)			
5.5	9.0	45.0	1.6	20.0

Table. 8 부유식 마리나의 최대 계류력

구분		최대 계류력	
파랑	입사각	안전계수 미적용	안전계수 2.5 적용
파고=5.5m, 주기=9.0초	25도	12,500kN (1,276톤)	31,250kN (3,188톤)

3) 돌핀 설치 기수 및 배치

마리나 구조물에 걸리는 최대 계류력은 안전을 고려시 3,200톤이며 돌핀 1기당 320톤을 받는 것으로 하여 총 10기를 마리나 측면에 각각 5기씩 설치하는 것으로 배치하였다.

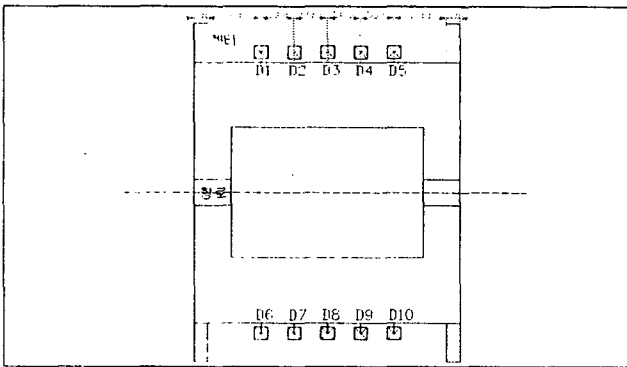


Fig. 9 부유식 마리나 계류 돌핀 배치

4.4 합체 구조 해석

구조해석은 합체 전체의 강도 측면에서 본 전체 강도해석과 합체를 구성하고 있는 평판, 보강재, 합체 연결부 등의 국부 강도해석으로 나눌 수 있다.

또한 해양구조물은 파랑하중과 같은 장기 피로하중에 의한 피로파괴도 고려하여야 한다.

1) 전체 강도해석

전체강도해석에서는 부유구조물의 단면형상, 중량분포, 파랑 등을 고려하여 각 부재에 작용하는 응력과 변위를 계산하게 된다.

본 설계에서는 가장 극한 상태인 Sagging & Hogging시와 계류력 작용시, 그리고 Slamming과 Sloshing 작용시에 대하여 STAAD-Pro 범용구조해석 Program을 사용하여 구조해석을 실시하였다.

해상 부유식 마리나는 Concrete Box Girder가 Main Frame을 이루고 사각보, 기둥, 상하부 슬라브에 의해 구성되며 적용된 하중은 자중, 진발하중, 설비하중, 활하중과 계류하중 등이다. 해석 결과 본 마리나는 모든 작용 하중에 대해 충분한 강도를 가지도록 설계된 것으로 검토되었다.

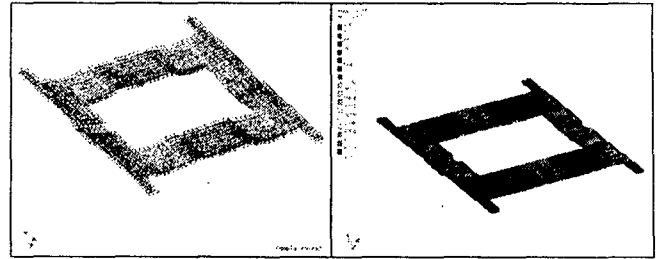


Fig. 10 Sagging & Hogging 구조해석 결과(변위 & 응력)

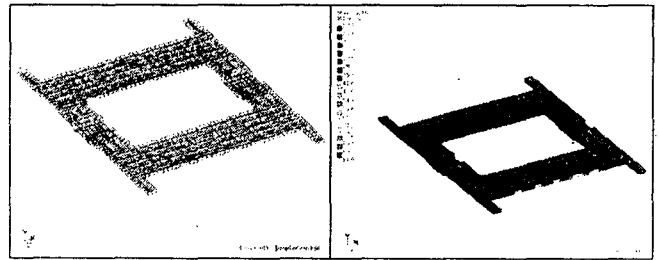


Fig. 11 Mooring 구조해석 결과(변위 & 응력)

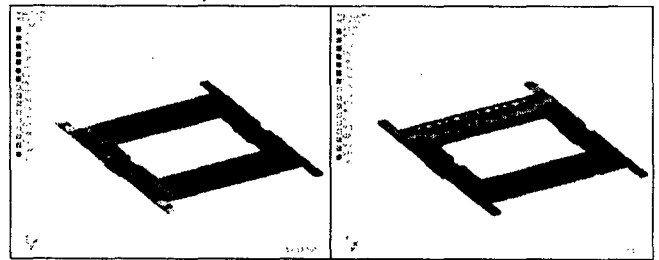


Fig. 12 Slamming 구조해석 결과(응력)

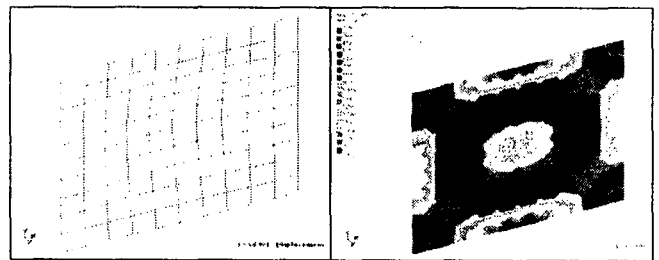


Fig. 13 Sloshing 구조해석 결과(변위 & 응력)

2) 국부 강도해석

국부 강도해석은 응력 집중이 가장 많을 것으로 예상되는 합체 연결부와 계류연결부, 통로부 및 선박 충돌 하중을 고려한 Jetty 연결부에 대하여 수행하였다.

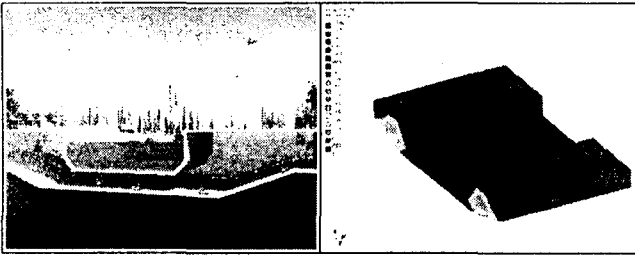


Fig. 14 해저 통로부 및 구조해석 결과

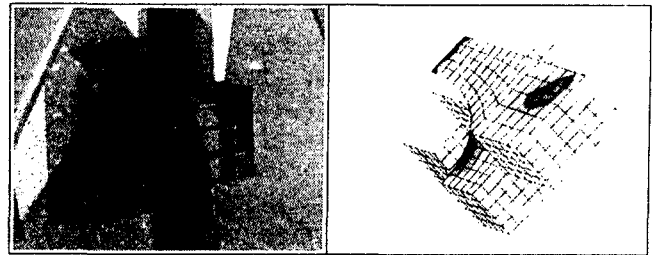


Fig. 17 계류연결부 피로해석

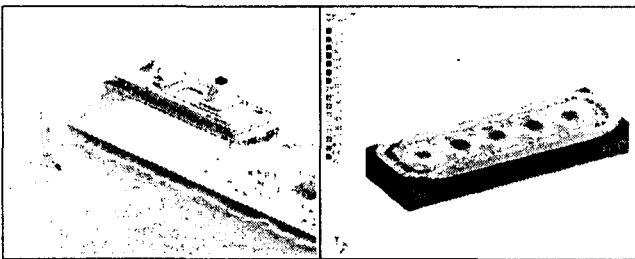


Fig. 15 Jetty 및 선박 충돌시 구조해석 결과

3) 피로해석

해양구조물은 파력의 반복적인 작용으로 피로하중이 발생하며, 따라서 설계시 피로검토도 함께 이루어져야 한다. 본 설계에서는 부유식 구조물로서 취약한 부분으로 여겨지는 계류 연결부와 돌핀 자켓 부분에 대해 피로해석을 수행하여 보수보강 여부를 검토하였다.

해석 프로그램은 적정 파력을 산정을 위해 GT-SELOS를 사용하였으며 돌핀 자켓의 경우 GT-STRUDL OFFSHORE를 사용하여 검토하였다.

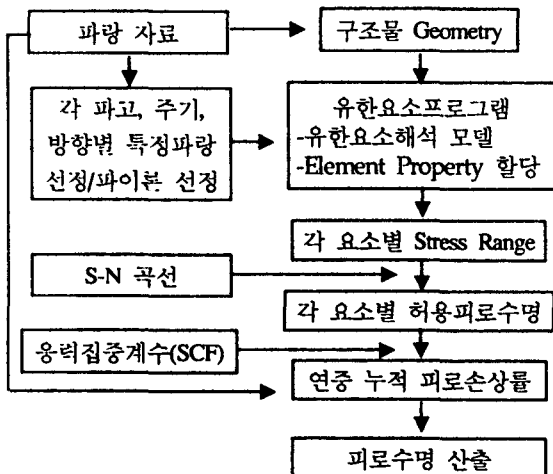


Fig. 16 피로해석 흐름도

5. 결론

본 고에서는 해상 부유식 마리아의 초기설계를 수행하였다. 마리아에 대한 주요 제원을 설정하고, 수역면적을 마리아 설계 기준에 의해 산정 하였으며, 마리아 이용자수를 예측하여 상부 데크의 시설 규모를 결정하였다.

마리아 구조형식은 폰툰(pontoon)형으로 하였고, 콘크리트를 주재료로, 철강재를 부재료로 하였다.

갑판 침수(Deck Wetness), 슬래밍(Slamming), 슬로싱(Sloshing)등이 일어날 가능성을 검토하고 구조해석에 적용하였다. 또한, 손상시 복원성, 마리아 수역내의 정온도 유지 방안과 부진동 발생 가능성을 검토하였다.

계류시스템은 큰 조위차에도 적용할 수 있는 자켓식 돌핀으로 하였고 자켓과 합체 연결부는 완충재로 부싱을 적용하였다. 또한 자켓 구조물과 계류 접속부에 대한 구조해석과 피로해석을 수행하였다.

합체에 대한 구조해석은 합체 전체에 대하여 Sagging & Hogging 및 계류력 발생시, 슬래밍과 슬로싱 압력 작용시에 대하여 수행하였으며, 국부적으로는 응력집중이 가장 크게 발생하는 합체 연결부, 계류 연결부, 통로부, 그리고 Jetty 연결부에 대하여 수행하였다.

향후 합체 운송시 안정성, 합체 접합, 앵커 설치 등의 해상 설치 기술과 계류시스템의 방식 및 마모 방지, 피로 방지 대책 등 운영 및 유지관리 기술을 개발할 계획이다.

후 기

본 연구는 해양수산부 중소·벤처기업 기술개발 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 정태영의 「해양공간이용 대형 복합플랜트 개발(세부과제 : 시스템 종합기술 개발)」, 1998. 12., 한국기계연구원
2. 홍사영 「초대형 부유식 해상구조물 기술개발」 2001.12., 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
3. 임채환의 「해양공간이용 대형 복합플랜트 개발(세부과제 : 부유구조물 구조·용접 기술개발)」, 1998. 12., 한국기계연구원