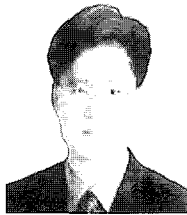


## 2. 해설기사 : 해양레저

### 해양레저보트 설계 및 구조해석

#### Structural Analysis and Design of the Marine Leisure Boat



고재용

Jae-Yong Ko

- 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수
- E-mail : kojy@mmu.ac.kr

#### 1. 서 언

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸인 해양국가로 비교적 복잡한 해안선을 가지고 있으며 이를 이용한 해양레저 활동에 좋은 환경을 가진 나라임에도 불구하고 해양레저 스포츠와 관련된 산업은 극히 저조한 실정이다. 경제성장과 더불어 관광산업의 발달로 다양한 관광활동이 나타나고 있으며, 체험 중심의 레저 활동 또한 증가하고 있다. 또한 주5일 근무제의 실시로 인해 주말을 이용한 관광의 수요도 계속해서 증가하고 있다. 이러한 추세에도 불구하고 우리나라는 세계제일의 조선강국으로 입지를 굳혀가고 있지만 대부분의 해양 레저 스포츠가 선진국에 비해 기술적으로 부족한 실정이며, 특히 해양레저 스포츠의 꽃이라 할 수 있는 요트 분야는 대부분이 수입에 의존하고 있다. 우리나라의 오랜 동안 대형 조선 산업 중심의 기술개발을 통해 축적된 조선 기술력이 높고, 우수한 인력이 많으며, FRP와 비교하였을 경우, 친 환경적 재료이며, 수리가 용이한 점, 또한 대형블록에서 나오는 나머지 철판을 재활용하여 원가절감을 할 수

있다는 장점 등을 가지고 있으면서도 아직까지 국내의 수요는 전무한 실정이며, 이 산업의 활성화도 찾아보기 힘들다. 그러나, 최근 들어 이 분야에 관심이 증가되어, 요트 전문 제작업체들을 기점으로 하여 강선 요트의 건조에 관심이 증대되고 있다. 그러나, 국내의 상황은 요트 설계기술의 부족으로 인하여, 설계는 외국 설계업체에 의뢰하고, 건조만 이루어지고 있는 실정이다. 조속히 강선 요트, 파워 보트, 크루저 요트에 대한 설계기술을 정립하여, 고 부가가치선박을 국외로 수출함으로써 중/소형 조선소의 영세함을 극복할 수 있다고 기대된다. 실제 호주와 일본, 유럽 여러나라에서 이러한 종류의 레저용 보트들에 대해서 수요가 점점 증대하고 있으며, 이러한 선박의 건조에 필요한 표준도 점점 광범위한 영역에서 검토되고 있다.

#### 2. 기본설계

설계 선박은 강선 요트로서 국내에서는 최근 몇몇 업체에 의해서 건조가 이루어지고 있으며, 호

주나 일본등지에서 레저용으로 아주 인기가 높은 선박의 일종이다. 국내에서는 주로 FRP를 주 재료로 한 세일링요트나 레저용요트 그리고 최근 낚시보트 등의 설계 및 건조가 주로 이루어지고 있으나, 환경적인 문제로 인하여 FRP재료는 법적으로 규제대상이 되고 있다. 본 연구의 설계에 있어서 참고한 4가지 형태의 레저보트의 제원을 Table 1에 나타내고 있다. 설계된 레저보트의 형상모델링은 Fig. 1에서 보여지고 있다. 이 레저보트는 소형선이기 때문에 전체적으로 흘수가 작으며, 길이에 비해서 폭이 큰 형태를 갖는 레저용 보트는 재질에 따라서, 선속이 크게 좌우되는 특징을 가지고 있다.

Table 1. Data of leisure boats

	LOA (m)	LWL (m)	Beam (m)	Draft (m)	Displacement (kg)
A	9.73	8.59	3.76	1.14	15,325
B	12.17	10.31	4.11	1.19	22,145
C	12.80	10.68	3.99	1.04	21,452
D	20.73	18.29	5.54	1.91	35,264



Fig. 1 Shape of the steel yacht

2.1 선형설계

기본적으로 설계한 선형 중 개략적인 저항추정과 기본 계획에 만족하고 선형의 선수 부분의 형상 등을 고려하여 최종선정을 하였으며, 사용된 프로그램은 H-CAD와 AUTOCAD를 사용하였다. 초기의 A, B의 선형은 선수의 형상에서 중심선의 선수형상의 완만한 곡률로 인해 운항 시에

조파저항이 많이 발생될 것이고, 선수의 선저부분에서 피칭으로 인한 많은 압력이 발생하여 조종성이 떨어지는 효과가 일어날 것으로 예상되어 선수형상이 좀 더 매끄럽고 가장 적은 저항값을 보인 C선형을 최종 선형으로 결정하였으며, Fig.2에 나타내고 있다.

선수형상의 경우 V Type의 선수는 U Type의 선형에 비해 점성저항의 비중이 크며 조파저항의 크기는 상대적으로 매우 작다. 따라서 세장비의 향상, 쇄파저항의 감소를 고려하여 V Type의 선수형상을 기본으로 하였다.

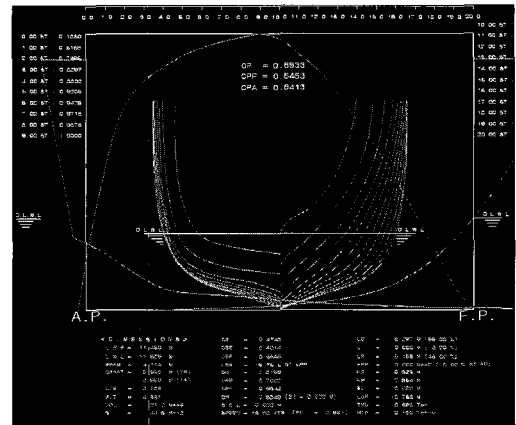


Fig. 2 Final hull design

2.2 구조설계

구조설계에는 KR 경구조선 규칙과 LR HSC 규칙을 적용하였으며, 비교 결과 후자의 규준을 최종적으로 사용하여 구조부재 스캔틀링을 하였다. 상갑판은 횡늑골 방식이며 3개의 수밀격벽 및 갑판거더로 보강을 하였다. 또한, 여가활동(낚시) 등을 위한 강도를 위해 갑판보를 설치하여 보강하였다. 선축 및 선저구조는 단저구조로 하였고, 종강도를 만족 할 수 있는 횡늑골 방식으로 하였다. 엔진실의 중량을 분산하기 위하여 엔진베드를 설치하였고 브라켓으로 보강을 하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 본 설계선의 주요 목을 적용하여 구조설계를 한 결과 KR 경구조선 규칙에 적용한 구조설계가 LR 경구조선에 적용시킨 구조설계보다 전체적인 주요부재의 치수 및 중

량이 더 높게 산출되었다. LR 경구조선에 적용시킨 구조설계에 엔진베드 보강을 위한 늑판과 주갑판 보강을 위한 필러를 추가로 배치했음에도 불구하고 KR 경구조선 규칙에 적용시킨 구조설계의 중량이 더 높게 산출된 것이다. 본 설계선의 주요 목에 근거하여 부재의 치수를 룰에 만족하는 범위 안에서 추정하여 설계하였을 때, 경하중량이 적다는 것은 강재가 적게 들어간다는 뜻이고, 더하여 비용 절감을 가져올 수 있다고 해석된다.

비용 절감과 경하중량 감소는 보급형 강선요트를 설계함에 있어 가장 주안점을 두었던 선박의 속력과 보급형이라는 두 가지 기준을 모두 만족한다고 판단되었다. 부재의 두께나 높이 등의 사양서 관련 부분은 각 규격에서 요구하는 바가 다르기 때문에 서로 차이가 있을 수 있으나, 본 설계선에서는 LR 경구조선과 KR 경구조선 규칙이 규정한 부재의 치수에서 최대한의 안전율을 두어 치수를 산정한 후, 중량을 추정한 것이므로 룰의 허용응력을 만족하면서 경하중량이 적은 LR 경구조선에 의하여 설계를 하는 것이 효과적인 것으로 판단하여 최종적으로 LR 경구조선에 적용한 구조설계를 선택하였다.

Table 2. Comparison of weight between KR and LR

	KR - 경구조선	Lloyd's - Small Craft
Hull Plate	5,549.152 kg	3,425.548 kg
Deck House	3,079.615 kg	2,746.411 kg
Girder	713.802 kg	337.545 kg
Frame	879.683 kg	1,063.803 kg
Bulkhead Plate	936.403 kg	618.640 kg
Deck Plate	2,643.612 kg	2,203.007 kg

KR 주요부재 총 중량	LR 주요부재 총 중량
13,413.627 kg	10,394.954 kg
Total Weight	Total Weight
14,995.963 kg	12,447.356 kg

### 2.3 인장시험

시편의 양단은 시험기에 고정하기 쉽게 제작하고, 시험기에 고정하기 전에 직경 및 표점거리 등의 치수를 마이크로미터(Micrometer) 또는 버니어캘리퍼스(Vernier Calipers) 등을 사용하여 정확하게 측정해야 한다. 보통 인장강도 및 항복응력은  $0.1kg/mm^2$ 까지 구하게 되므로, 시편의 단면적은  $0.005mm^2$ 까지 정확하게 측정해야 한다. 시편의 표면이 불균일하면 응력집중을 일으켜 연성이 적게 측정되거나, 시편사이에서 인장강도의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 시편의 표면은 매끄럽게 가공하여야 한다. 시험편은 KR 선급이 규정한 시험편 모양과 치수로 가공하였다.

연강으로 된 시험편(Fig. 3)을 인장 시험기에 고정하고, 하중발생장치로 하중을 가하면 축 방향에는 외력에 비례하는 신연이 생기고, 이와 직각 방향에는 수축이 생기면서 횡 단면적이 변한다. 시험초기에는 하중의 증가에 비례하여 신연의 증가가 생겨 Fig. 3에 표시된 바와 같이 직선부분이 생기게 되면서 탄성한계에 이르게 된다. 시험 결과로서 파단된 시험편을 붙여서 표점거리를 측정하고 파단된 시험편의 면적을 측정한다. 최종적으로 항복점의 위치를 결정한 후 이를 토대로 시편의 각종 물성치를 산출한다.

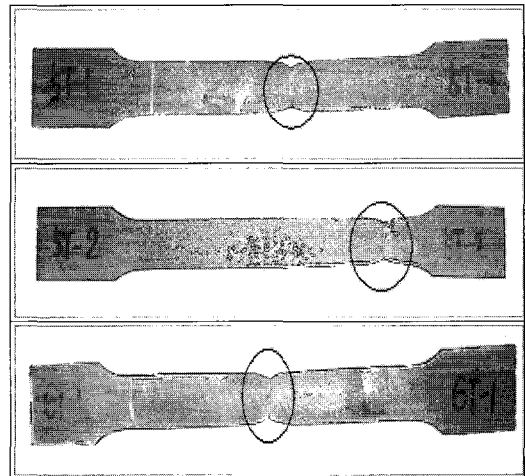


Fig. 3 Specimen Types

### 3. 선수구조부의 구조해석

#### 3.1 구조해석모델

강선요트는 구조상 강선재료를 주로 사용함으로써 여러 가지 강도적인 측면에 대한 검토가 필요하며, 소형 선박이므로 종강도, 횡강도 부분은 Rule의 허용 응력치에 안전율(Safe Factor)만을 주어서 설계를 하여도 충분히 안정된 구조를 만족할 수가 있다. 그러나, 소형선박에서 가장 문제시 되는 것은 국부강도의 평가이다. 본 구조해석에서는 선수부에 슬래밍 동적하중과 선수충격에 의한 선수부의 손상 여부와 선수부의 국부강도를 만족 여부를 확인하고, 엔진베드 부분에서의 중량하중과 횡파하중에 대한 검토를 수행하였다.

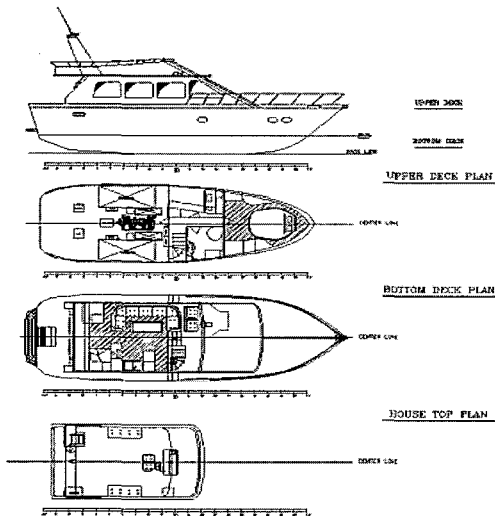


Fig. 4 General arrangement of analysis model

모델링의 범위는 주갑판 아래의 구조물로서, 외측 셸, 내측 셸, 선수격벽, 횡류방향 웹, 거더, 종방향 스틱프너의 구조물을 셸요소로 모델링하였다. 사용된 셸 요소는 9,626개로 구성되어 있으며, 절점수는 10,169개로서 등방성 재료로 가정하였다. 해석을 위하여 상용유한요소 구조해석프로그램인 ANSYS V9.0을 이용하였다. Fig. 4는 해석을 수행할 레저보트의 일반배치도이고 구조해석모델은 Fig 5.에서 나타내었다. 또한, Fig. 6

은 구조해석을 위한 선수구조부의 모델을 보여주고 있다.

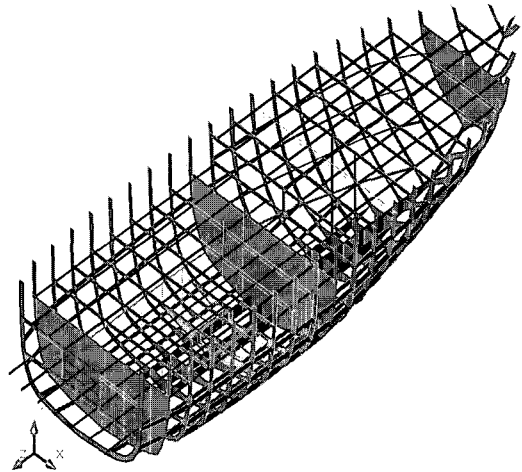


Fig. 5 FEA Model for analysis of leisure boat

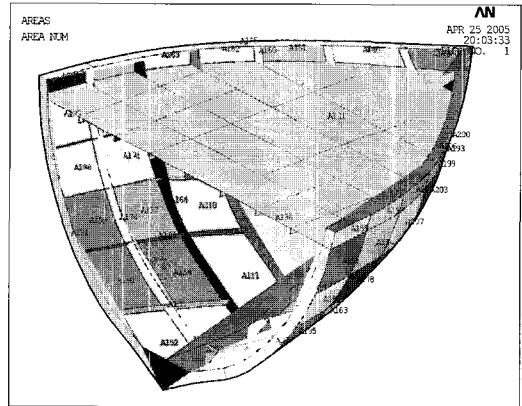


Fig. 6 Bow structure model for steel yacht

#### 3.2 하중조건과 경계조건

경계조건으로는 Fr.17번과 선수격벽을 고정시켰고, 선체 중심단면에는 대칭조건을 적용하였다. 하중은 LR 경구조선(2002)에 의해서 계산된 설계하중을 사용하였다. 외측 셸에는 슬래밍 하중  $35.83kN/m^2$ 을 적용하였고, 보강재와 거더에는 슬래밍 하중  $44.545kN/m^2$ 을 적용하였다. 또한, 선수격벽을 지나 선저부와 만나는 지점에는 선수충격하중을  $11.5kN/m^2$ 을 적용하였다.

Fig. 7은 선수부의 국부유한요소모델에 경계 조건을 적용한 것을 나타내고 있다. 선수격벽의 끝단과 충돌격벽에는 고정지지조건을 그리고 외판과 웹 프레임의 교차점은 불필요한 반력의 발생을 억제하여 주기 위하여 y방향의 변위를 구속하였다.

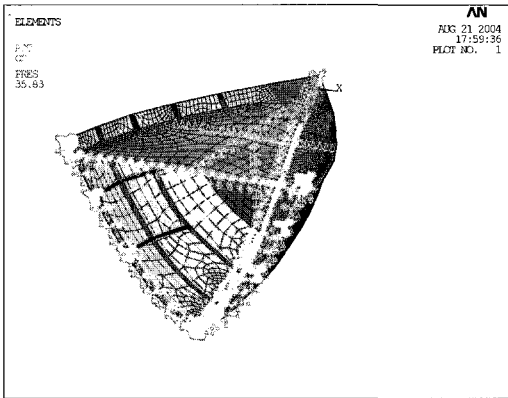


Fig. 7 Boundary condition

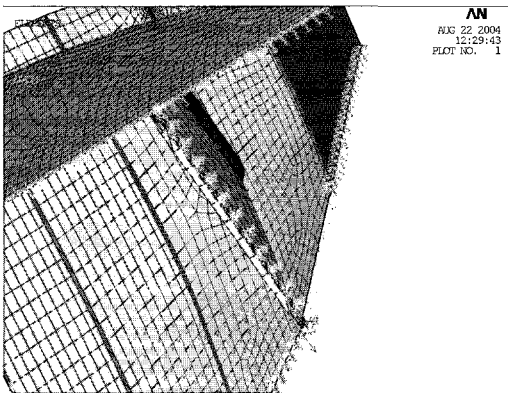


Fig. 8 Loading condition (slamming loading and impact loads)

하중은 등흘수 상태의 수선을 기준으로 하여 틀에서 구하여진 하중을 적용하였다(Fig. 8). 선저부에는 팬팅 임팩트 하중을 작용하고 선저와 선측에는 슬래밍 하중 그리고 흘수아래의 면적에 정유체하중을 적용하였다.

슬래밍 하중을 가함과 동시에 선저에 팬팅 하중을 적용한 상태에서의 변형형상 및 응력분포를 Figs. 9-10과 같이 나타내고 있다. 실제의 처짐

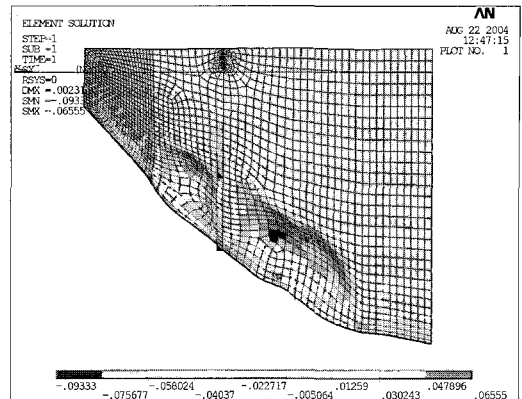


Fig. 9 Deformed shape of shell plate

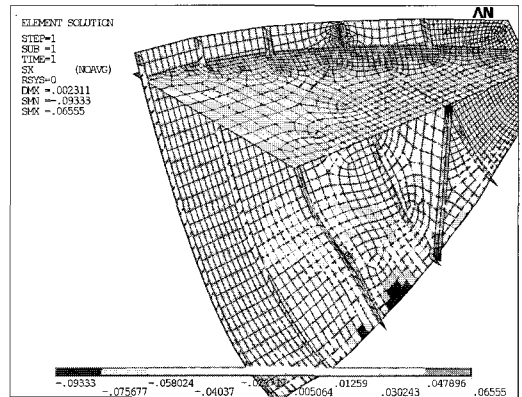


Fig. 10 Deformed shape of transverse frame

형상이 미소하여, 각 스케일값은 100배 확대한 값이다. 선수격벽을 기점으로 하여 상대적으로 웹 간격이 커지는 부위에서 처짐이 크게 나타나고 있으며, 슬래밍 하중에 비해서 팬팅 하중에 의한 구조물의 손상은 극히 작았다.

### 3.3 Collision B.H.D에서의 좌굴 검토

해석에 사용된 유한요소는 셸 요소는(181)이고, 격벽과 스티프너를 동일한 요소로 모델링(Fig. 11)에 적용하였다. 사용된 요소의 개수는 1320개이며 보강재의 요소분할 크기를 기준으로 하여 판넬 전체에 적용하였다. 요소의 메쉬 비율은 1.0을 유지하도록 하였으며 격자분할에 있어서는 Mapp Mesh를 적용하였다. 사용된 재료의 물성치로서는 본 설계에 사용된 SS400 연강의

물성치를 적용하였다. 탄성계수(E)=205.8GPa, 항복응력=235.2MPa, 포아송비=0.3이며 모델의 치수는 길이방향 판재길이=1000mm, 폭방향 판재길이=2,250mm이다.

해석에 사용된 경계조건은 선체 네변은 단순지지조건으로 이상화 하였고, 보강재는 하중작용에 대해서 y방향을 구속함으로써 판재와 보강재가 일체거동을 하도록 설정하였다.

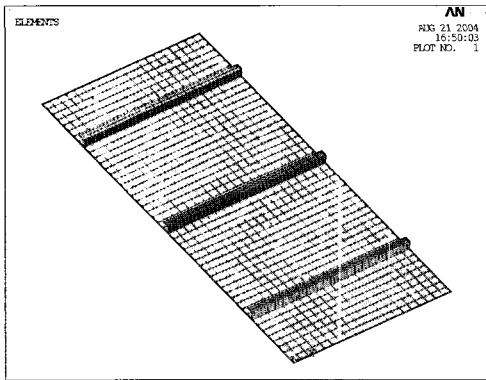


Fig. 11 FEA model for bulkhead analysis

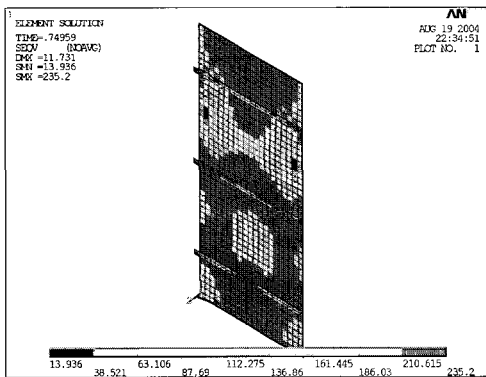


Fig. 12 Equivalent stress distribution

그림 12는 선수적벽의 좌굴발생을 고려한 탄소성 대변형 결과를 나타내고 있으며, 그림에서 보이는 빨간색 부분은 재료의 항복영역을 나타내며, 전역 좌굴 모드 형태를 보이고 있다. 그림 13은 종방향 압축하중 조건에서의 길이방향 응력분포도를 나타내고 있으며, 보강재와 판의 결속부분에서 응력이 크게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 그림 14는 최종강도 상태에서의 처짐분포도를 나타내

며, 보강재와 보강재 사이의 판재부분에서 큰 처짐이 나타나며 이러한 좌굴패턴은 중횡비가 적은 경우에 주로 발생하게 된다.

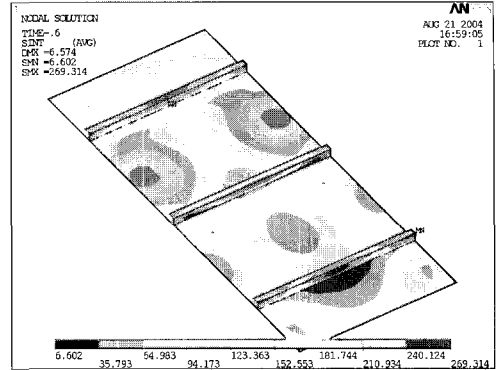


Fig. 13 stress distribution along with longitudinal direction

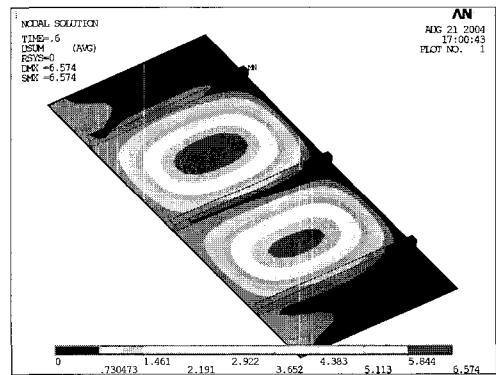


Fig. 14 Deflection mode

### 3.4 Engine BED 부분에서의 중량하중과 횡파하중 검토

해석에 사용된 유한요소는 쉘 요소는 63이고, 엔진 베드, 센터 거더, 보강용 브라켓은 동일한 요소로 모델링에 적용하였다(Fig. 15). 사용된 요소의 개수는 2585개 이며 모델링은 선체의외판, 센터 거더, 사이드 거더, 엔진 베드, 베드 브라켓 만을 모델링에 적용하였으며, 프레임 간격 7-9가지를 모델링에 적용하였다. 요소의 매쉬 비율은 1.0을 유지하도록 하였으며 격자분할에 있어서는 Mapp Mesh를 적용하였다. 사용된 재료의 물성치로서는 본 설계에 사용된 SS400 연강의 물성

치를 적용하였다. 탄성계수(E)=205.8GPa, 항복응력=235.2MPa, 포아송비=0.3이며 모델의 치수는 길이방향 판재길이=1800mm, 폭방향 판재길이=700mm이며 선체의외판에서 엔진베드 높이는 380mm이다.

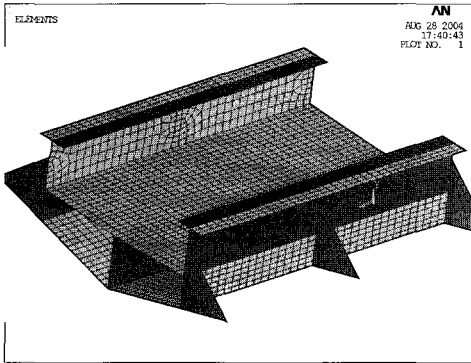


Fig. 15 FEA model for analysis of engine bed

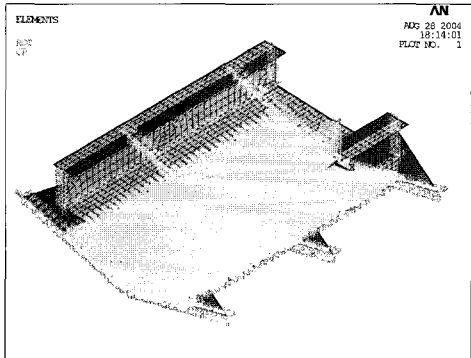


Fig. 16 boundary condition of engine bed

해석에 사용된 경계조건(Fig. 16)은 선체의외판은  $x, y, \theta_x, \theta_y$  구속을 주었고 하중성분은 엔진의 무게(1.043ton)와 횡파하중(35.6MPa)을 산정하여 우현에서 좌현방향으로 하중을 가하였다. 선박의 대각도 경사시에도 엔진의 중량무게와 선박 좌, 우현의 흘수차이에 의한 정수압만큼의 정하중이 작용하더라도 엔진베드가 구조적으로 안정해야 함을 확인하기 위함이다. 이 구조는 좌우대칭 구조이나 전체 모델을 해석에 적용하였다.

이러한 구조해석을 통해서 본 강선요트의 엔진베드 부분은 엔진의 중량하중과 대각도 경사시 흘수 차이에 의한 정수압하중이 작용하더라도 구조

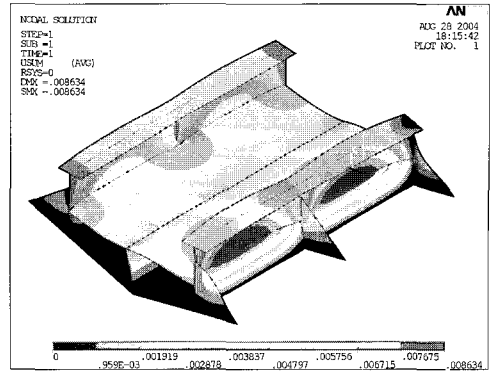


Fig. 17 Deflection mode of engine bed

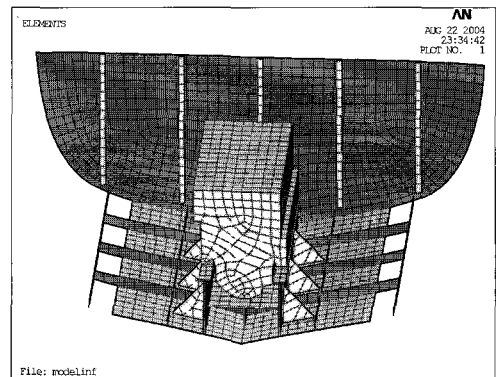


Fig. 18 FEA model considering bulkhead, engine and engine bed

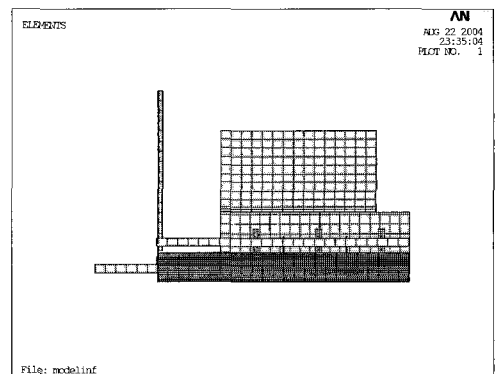


Fig. 19 Iso VIEW of FEA model

적으로 충분한 강도를 보유하고 있는 것으로 판단되었다. 엔진베드의 위치는 내측거더와 같은 위치에 놓이게 하여 충분한 강도를 지닐수 있도록 배치하였으며, 엔진베드에 작용되는 횡파하중에 대

비하여 국부강도 보강용 브래킷을 각 방향마다 3개씩하여 총 6개를 배치하여 최대 처짐량은  $0.8634\text{mm}$ 로서 모두 허용처짐(처짐/두께 $\times 1$ )보다 작게 분포하였다(Fig. 17). 엔진베드와 엔진베드에 작용하게 되는 횡파하중에 대비하기 위하여 엔진베드 보강용 브래킷의 두께가  $20\text{mm}$ 로서 상대적으로 큰 단면계수값을 보유하면서 설계하중이 작용하였을 경우 구조적으로 전혀 문제시 되지 않음을 알 수가 있었다. 참고로 이후 해석결과에 대한 그림은 너무 미세한 변형으로 인하여 스케일 팩터를 6900배 한 그림이다.

Figs. 18-20까지는 엔진베드를 포함하고 있는 프레임 간격 7, 8, 9 공간 전체모델을 유한요소모델로 하여 해석한 자료를 나타내고 있다. 하중과 경계조건을 같고, 사용된 요소도 같다. 해석 결과에 있어서는 중량하중과 횡방향 파랑하중에 대한 엔진베드의 구조응답을 보기 위해서는 앞에서 제시한 엔진베드, 보강 브래킷 부분과 외판 그리고 거더만을 모델링하여 얻은 구조응답 결과가 상당히 신뢰적인 값을 나타내었다.

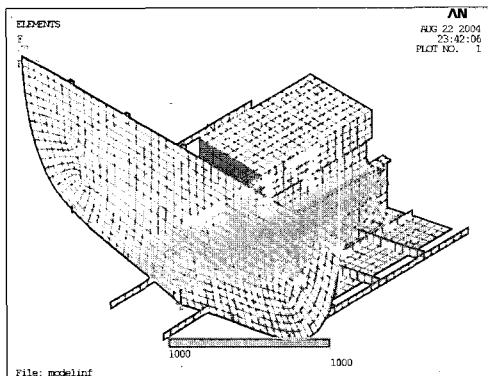


Fig. 20 Transverse wave load and engine weight load

## 4. 결 론

본 논문에서는 강선요트의 설계에 사용된 시제선에 관하여 소형선박의 구조강도 평가에 있어서 구조해석 상용코드인 ANSYS를 적용하여 적용된 것을 통하여 얻어진 설계하중을 적용하여 국부강도 구조해석을 수행하였다.

- 1) 선수부의 계산된 설계하중의 작용 시의 응력분포는 LR구조기준의 허용응력값을 충분히 만족하였다.
- 2) 강선요트의 대각도 경사시를 고려한 경우에도 구조는 안정적인 강성을 지니고 있으며, 구조기준에도 만족하였다.
- 3) 소형선박의 구조강도의 평가에 있어서 구조기준과 구조해석을 겸용한 방법을 통하여 선박의 구조 안정성을 명확하게 규명할 수가 있다.

## 참고문헌

- [1] 오석진, 김만수, 서인성, 이경석(2002), "VLCC 선미부 화물창에서 Inside Long.BHD의 최적 구조배치 및 구조안정성 평가", 추계학술대회 논문집, pp.389-394.
- [2] ANSYS Mechanical Tutorial v9.0 (2004).
- [3] LR-Small craft design (2002).