

# 유한요소해석을 이용한 강선요트의 국부강도 평가

박 주 신\* · 고 재 용\*\*

\* 오사카대학교 대학원 조선해양공학 박사과정, \*\* 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수

## Estimation about Local Strength using FE-Analysis for Steel Yacht

Joo-Shin Park\* · Jae-Yong Ko\*\*

\* Graduate Engineering, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Osaka University

\*\* Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University

**요 약 :** 지금까지 국내에서 제작된 요트는 선체의 재질이 FRP로 제작되어 왔으나 FRP는 환경오염 및 해양안전에 관한 법규 규제가 강화되고 있는 국제사회의 인식에 따라 중소형 조선소를 중심으로 강철 재료나 알루미늄 재료를 사용한 선박건조로 변화하고 있는 실정이다. 강선요트의 구조상 강선재료를 주로 사용함으로써 여러 가지 강도적인 측면에 대한 검토가 필요하지만, 소형선박이므로 종강도, 횡강도 부분은 규정에서의 허용 응력치에 안전율(Safe Factor)만을 주어서 설계를 하여도 충분히 안정된 구조를 이룰 수가 있다. 그러나, 소형선박에서 가장 문제시 되는 것은 국부강도(Local Strength)의 평가이다. 본 구조해석에서는 선수에 작용하는 슬래밍 동적하중 및 선수충격에 의한 선수부의 손상 여부와 선수부의 국부강도 만족 여부를 확인하고, 기관받침(Engine bed)부분에서의 중량하중과 횡파하중에 대한 검토를 수행하였다.

**핵심용어 :** 강선요트, 안전율, 선수충격, 슬래밍, 기관받침, 국부강도

**Abstract :** Previously sailing yachts or leisure yachts were mainly made from FRP(Fiber glass reinforced plastic) in the small shipbuilding, but recently there is a trend to replace it for steel or aluminum to substitute FRP for environmental friendly materials. Although It have to need a many checked item in case of hull girder strength and transverse strength normally evaluate base on calculation of class guideline so called direct calculation method. Otherwise, this method of initial structural design considered enough for safety margin on the structure. But, case of small craft must consider for evaluating local strength through rational method. In this paper, check the bow structure members for satisfying results base on allowable stress criterion of damaged bow structure by dynamic load due to slamming and bottom impact load due to pitching motion through finite element analysis. and investigate engine bed structure considering engine weight load and transverse wave load.

**Keywords :** Steel Yacht, Safe Factor, Bow Impact, Slamming, Engine Bed, Local Strength

### 1. 서 론

최근, 국민생활의 질적 향상과 소득증가에 따라 여가 활동 및 레저에 대한 욕구가 높아지고 레저비용의 지출도 증가하며, 레저의 질적 향상이 요구되고 있다. 선진국의 전례를 살펴보면 국민소득 2만불 전후에서 되면 육상레저인구가 해양레저로 추이가 이동되며, 특히 주 5일 근무제 시행으로 급속하게 해양레저의 활성화됨을 알 수 있다.

즉, 육상레저가 자원의 한계로 포화상태에 도달하여 선진국형의 해양레저 및 수상 레포츠분야로 저변이 확대되고 있다.

한편, 해양레저의 중심축을 이루고 있는 요트의 경우, 처음 바람을 이용하여 움직이던 배에서 현재의 요트형태를 이루게 된 것은 17세기 초반 해양국가인 네덜란드에서 만들어진 '야크'라는 배가 그 기원이다. 요트는 1907년 국제요트경기연맹이 창설된 이래 현재까지 특히 선진 해양국가들을 중심으로 인기 있는 해양레저 및 해양스포츠로 발전해 왔다.

지금까지 국내에서 제작된 요트는 선체의 재질이 FRP로 제작되어 왔으나, FRP는 환경오염 및 해양안전에 관한 법규 규제가 강화되고 있는 현 시점에서는 장래성이 불투명하고 변형 및 파손위험이 높을 뿐만 아니라 선체 제작 시 외국의 고가(高價) 목형을 수입해야하는 단점을 안고 있다. 그러나 요트의 선체를 강철로 제작함으로써 이러한 문제들을 해결할

\* 대표저자 : 정희원, Joo\_Shin\_Park@naoe.eng.osaka-u.ac.jp 090)1153-9326

\*\* 정희원, kojy@mmu.ac.kr 061)240-7129

수 있다. 강선요트의 구조상 강철 재료를 주로 사용함으로써 여러 가지 강도적인 측면에 대한 검토가 필요하지만, 소형선박이므로 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 국부강도(Local Strength)의 평가이며, (Boote, D et all, 1999) 본 논문에서는 유한요소 구조해석을 통하여 국부강도의 만족여부와 평가 과정들을 설명하고 있다.

## 2. 선구조부의 구조해석

### 2.1 선구조부의 구조해석모델

해석 대상선박은 강선요트(Steel Yacht)로서 국내에서는 아직 도입이 되지 않고 있으며, 호주나 일본 등지에서 레저용으로 각광받고 있는 선박이다. 국내에서는 주로 FRP를 주로 사용한 세일링요트(Sailing Yacht)나 레저용요트(Leisure Yacht) 그리고 최근 낚시보트(Fishing Boat) 등의 설계 및 건조가 주로 이루어지고 있다. 본 구조해석에서는 선수부에 작용하는 슬래밍 동적하중 및 선수충격에 의한 선수부의 손상여부와 선수부의 국부강도 만족 여부를 확인하고, 기관받침 부분에서의 중량하중과 횡파하중에 대한 검토를 수행하였다.

Table 1 및 Fig. 1은 해석 대상선박의 주요 제원 및 일반배치도를 나타내었고, Fig. 2는 해석 대상선박의 유한요소해석모델(FEA Model)을 간략하게 나타내었다.

Table 1 Principal particulars of Analysis Model Ship

L.B.P	11.685m
RULE LENGTH	11.685m
BREADTH(M.L.D)	4.5m
DEPTH(M.L.D)	2.6m
DRAFT(DESIGN)	0.95m

모델링의 범위는 Main Deck 아래의 구조물로서, Out-side shell, Inner-side shell, Collision B.H.D, Transverse web, Girder, Longitudinal stiffener의 구조물을 셸(Shell)요소로 모델링하였다. 사용된 셸 요소는 9,626개로 구성되어 있으며, 절점수는 10,169개로서 등방성(Isotropic) 재료로 가정하였다. 해석을 위하여 상용유한요소 구조해석프로그램인 ANSYS V9.0을 사용하여 탄성정적하중을 하중작용면적에 분포하중으로 작용하였으며, (ANSYS, 2004) Fig. 3에서는 유한요소모델을 나타내고 있다.

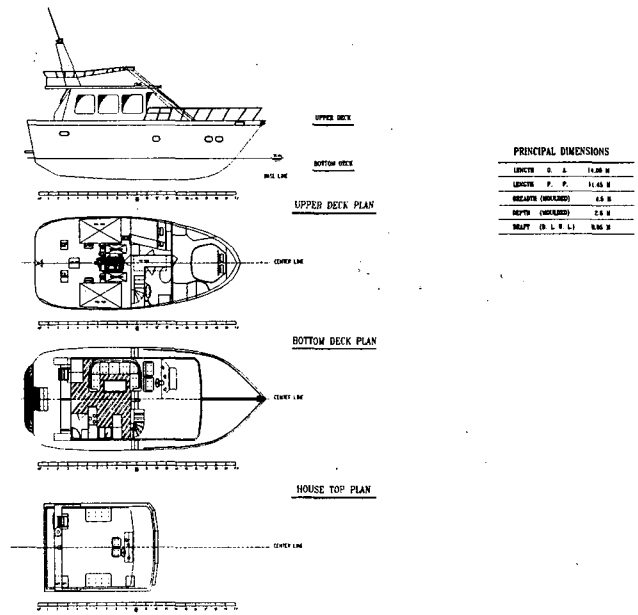


Fig. 1 General Arrangement of Model Ship

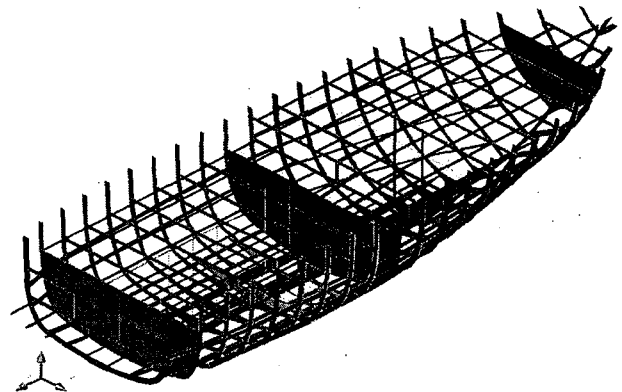


Fig. 2 FE-Analysis Model for Model Ship

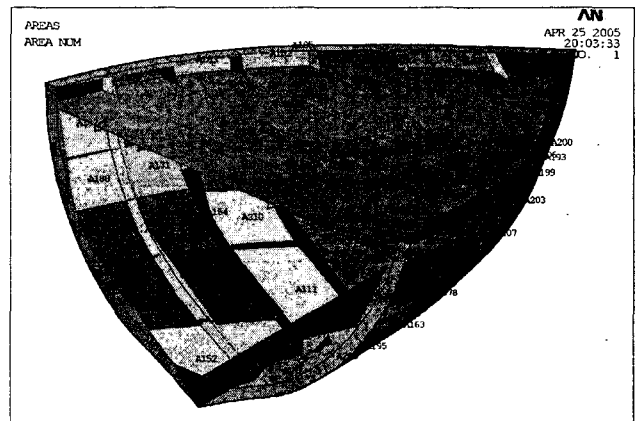


Fig. 3 Bow Structure Model of Steel Yacht for Analysis

2.2 하중조건과 경계조건

Fig. 4에서는 구조해석에 사용된 유한요소모델의 경계조건 적용에 관하여 설명하고 있다. 모델의 끝난 지점인 Frame.No.17번 지점과 선수격벽 부분의 모서리에는 고정조건을 적용하고 선박의 중앙단면에는 좌우대칭조건을 적용하였다. 하중은 LR Rule - Small craft(2002)에 의해서 계산된 설계하중을 적용하였다. Out-side shell에는 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  $11.5kN/m^2$ 로 적용하였다.

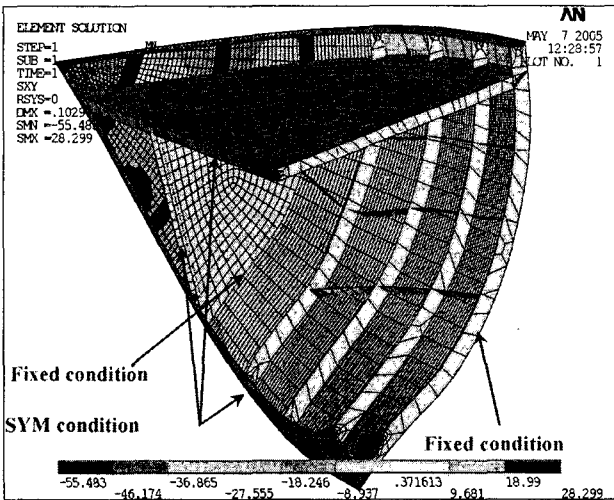


Fig. 4 Application of Boundary Condition

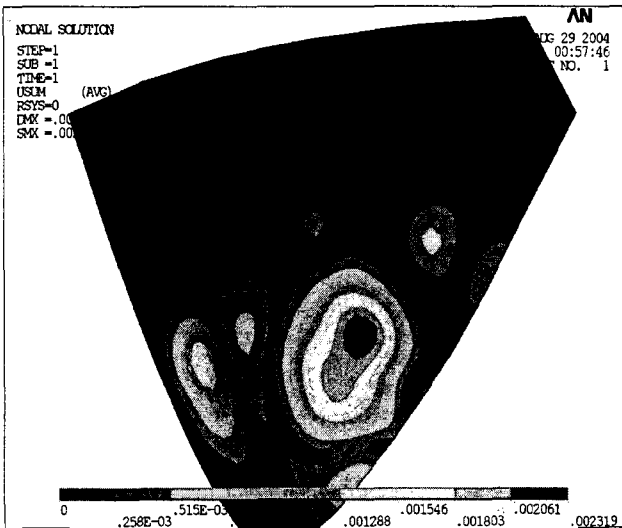


Fig. 5 Equivalent Stress on the Side Shell Plate

Fig. 5는 설계하중을 작용하였을 경우 외판의 응력분포도를 나타내고 있다. 선수격벽 이후의 부위에서 높은 응력값을 나타내고 있으며, 슬래밍하중에 의한 값이 지배적인 것으로 나타나고 있다.

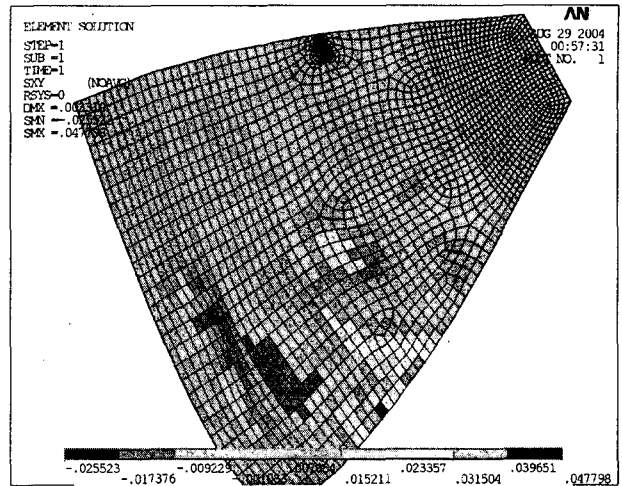


Fig. 6 Shear Force Distribution

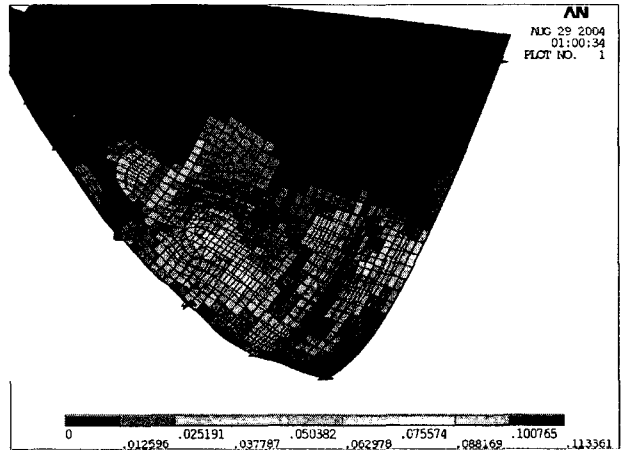


Fig. 7 Von-mises Stress Distribution

Fig. 7과 Fig. 8에서는 전단응력분포와 등가응력분포와 처짐 형상을 각각 나타내고 있다. 전단응력은 선수 하단부에서 높게 형성되고 있으며, 등가응력은 요트의 흡수선 근방에서 높게 나타나고 있다.

Table 2 List of Equivalent Stress

Structural Member	Material	Allowable Stress	Equivalent Stress
Bottom panels exposed to slamming	Mild Steel	141.2 MPa	39.62 MPa
Side structures	Mild Steel	141.2 MPa	62.35 MPa
Deck structures	Mild Steel	141.2 MPa	42.33 MPa
Bulkhead structures	Mild Steel	141.2 MPa	54.11 MPa
각 그림 참조 (변형형상은 Scale 100배로 표현하였음)			

Table 2에서 볼 수 있듯이 계산된 설계하중 하에서의 응력분포는 비교적 낮은 응력수준을 보여주고 있다. 로이드롤(LR, 2002)에서 요구하는 허용 응력값에 만족하고 있으며 선박운용에 따른 선체구조 요구강도를 충분히 만족하는 것으로 판단된다.

### 3. 기관받침(Engine BED)부분에서의 중량하중과 횡파하중에 대한 검토

해석에 사용된 유한요소는 Shell요소(Shell 63)이고, 엔진베드, 센터거더, 사이드거더, 트랜스프레임, 보강재는 동일한 요소로 모델링에 적용하였다. 사용된 요소의 개수는 6290개, 절점수는 7088개이며 Frame. No. 7-9까지를 모델링에 적용하였다. 요소의 메쉬(Mesh) 비율은 1.0을 유지하도록 하였으며 메쉬 분할에 있어서는 맵 메쉬를 적용하였다.(오석진 등, 2002) Fig. 8은 유한요소 구조해석에 사용된 기관받침 모델을 나타내고 있다. 각 요소간의 불평형력을 최소화 하기 위해 메쉬 비율을 일정하게 유지하고 있다.(Hayman, B, 1991) 사용된 재료의 물성치는 본 설계에 사용된 SS400(Mild steel)의 물성치이며 다음과 같다. 탄성계수(E)=205.8GPa, 항복응력( $\sigma_y$ )=235.2MPa, 포아송비( $\nu$ )=0.3이며 모델의 치수는 길이방향 판재길이=1200mm, 폭방향 판재길이=850mm이며 선체의 판에서 엔진베드 높이는 200mm이다. 해석에 사용된 경계조건은 선체의외판은 UX, UY, ROTX, ROTY 구속을 주었고 Fig. 9에서 나타내고 있다. 하중성분은 엔진의 무게(1.043 ton)와 횡파하중(35.6MPa)을 산정하여(LR, 2002) 우현에서 좌현방향으로 하중을 가하였다. 이것은 선박의 대각도 경사시에도 엔진의 중량무게와 선박 좌, 우현의 흡수차이에 의한 정수압만큼의 정하중이 작용하더라도 기관받침이 충분한 국부구조강도를 만족하는지를 유한요소 구조해석을 통하여 평가하기 위해서이다.

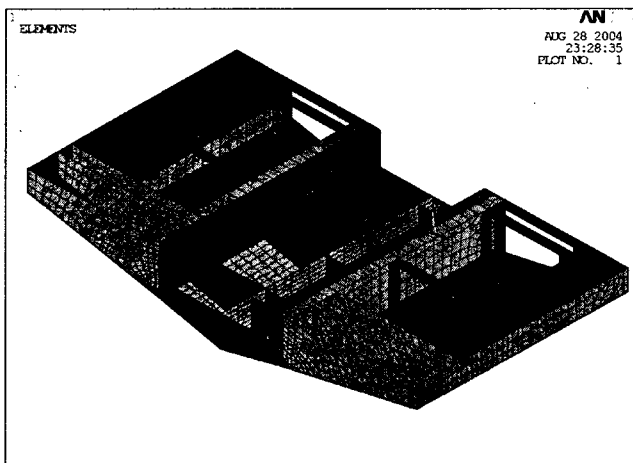


Fig. 8 Finite Element Analysis Model

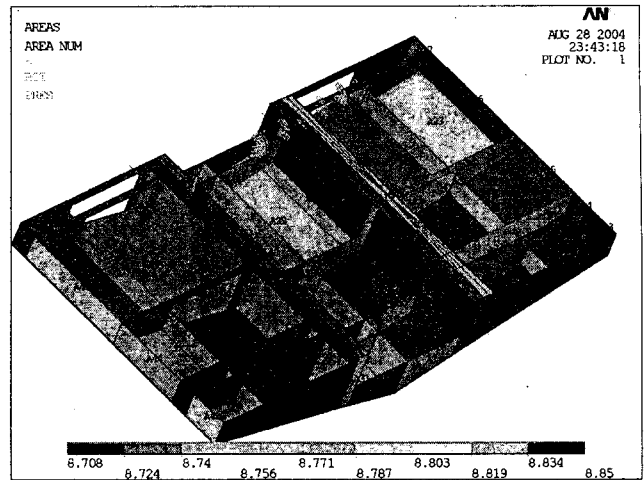


Fig. 9 Application of Boundary Condition

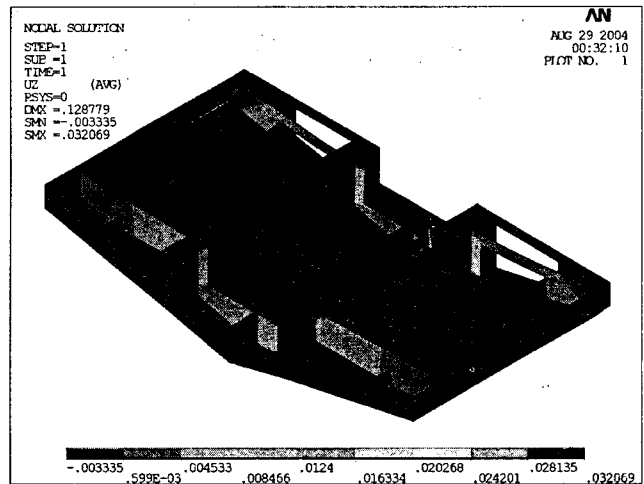


Fig. 10 Deformed Shape under Weight Load

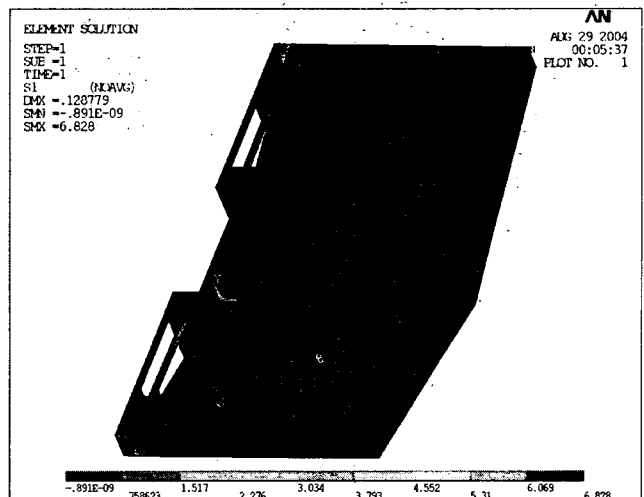


Fig. 11 Equivalent Stress Distribution

Fig. 10에서는 엔진의 자체중량 하중을 적용하였을 경우 베드의 처짐형태를 나타내고 있다. 사이드거더와 트랜스프레임이 주로 하중을 담당하고 있는 것을 알 수가 있다. Fig. 11은 등가응력을 나타내고 있으며, 그 응력 수준은 아주 미소하게

국부적으로 나타나고 있다. Fig. 12는 횡파하중을 작용시켰을 경우의 엔진베드 측면도를 나타내고 있다.

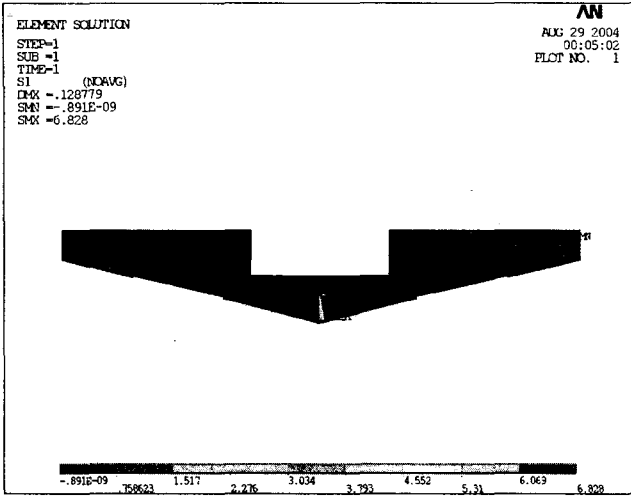


Fig. 12 Deformed Shape under Trans Wave Load

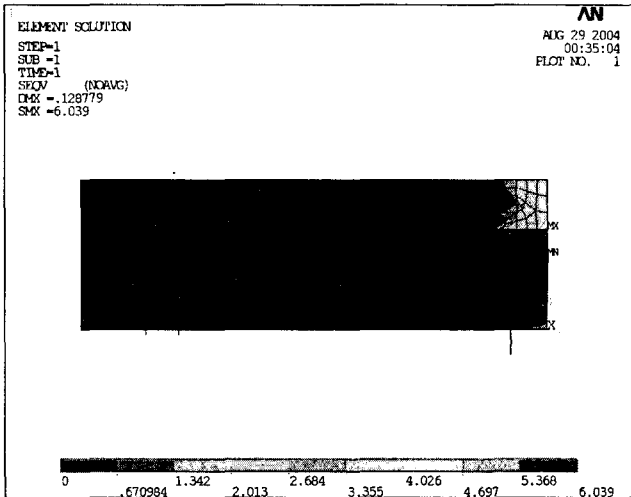


Fig. 13 Stress(x-direction) on the Engine Bed

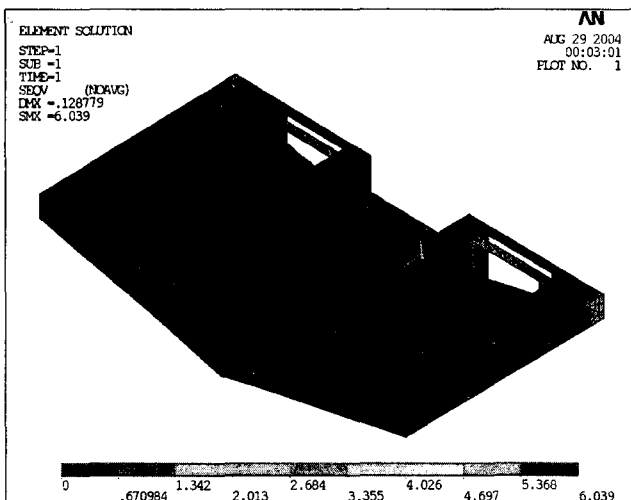


Fig. 14 Shear Force Distribution X-Y Direction

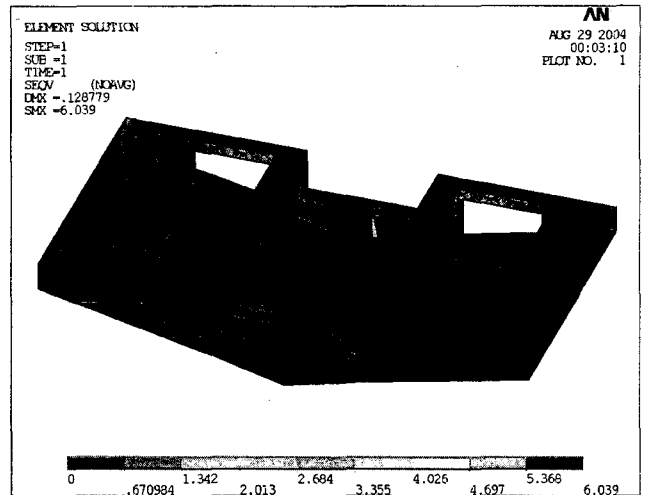


Fig. 15 Shear Force Distribution Y-Z Direction

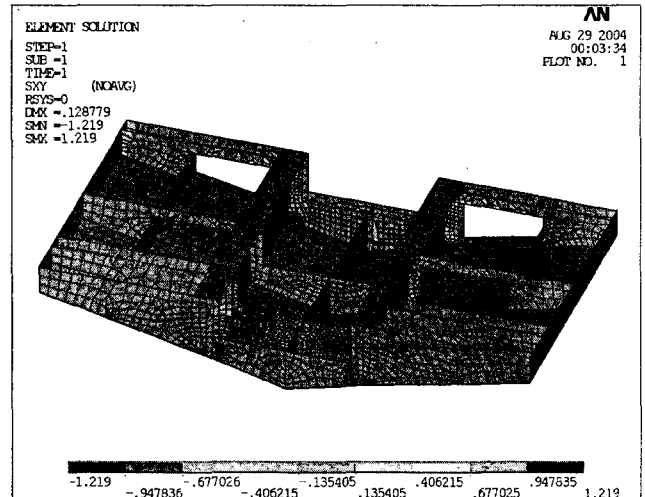


Fig. 16 Shear Force Distribution Z-X Direction

Fig. 13은 횡파하중이 작용하고 기관받침에 엔진의 자체중량이 분포하중으로 작용하였을 경우 x축 방향의 주응력 분포만을 나타내고 있으며, 선수방향 엔진베드 부분에서 높은 응력분포를 나타내고 있다. Fig. 14-16은 각 좌표계 평면별로 작용하는 전단응력 분포를 나타내고 있다. 기관받침구조에 발생하게 되는 전단응력은 국부적으로 발생하고, 그 크기는 주응력에 비해서 미소하였다. 이러한 구조해석을 통해서 분석해본 결과 강선요트의 엔진베드 부분은 엔진의 중량하중과 횡파로 인한 대각도 경사 시 흡수 차이에 의한 정수압하중이 작용하더라도 구조적으로 충분한 강도를 보유하고 있는 것으로 판단되었다. 기관받침의 위치는 내측 거더와 같은 위치에 놓이게 하여 충분한 강도를 지닐 수 있도록 배치하였으며, 기관받침에 작용되는 횡파하중에 대비하여 횡강도 보강용 프레임을 총 3곳에 배치하여 최대처짐량은 0.12879mm로서 모두 허용처짐(처짐/두께<1)보다 작게 분포하였다. 초기구조설계 시 기관받침과 측면 베드에 작용하게 되는 횡파하중에 대비하기 위하여 기관받침 판 두께를 20mm로 설계를 하여 횡

파하중이 작용 하더라도 구조적으로 전혀 문제시 되지 않음을 알 수가 있었다. 기관받침 해석결과에 대한 모든 Figure는 최종 변형 스케일팩터(Scale Factor)를 100배의 비율로 나타내고 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 강선요트의 설계에 사용된 시제선에 관하여 소형선박의 구조강도 평가를 하기 위하여 로이드구조 규준에 의한 설계와 이를 검증하기 위하여 유한요소 구조해석(ANSYS 9.0)을 하여 각 구조부위 마다 설계하중을 적용시키고, 그에 대한 평가는 로이드 규준을 통하여 확인하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 선수부의 계산된 설계하중의 작용 시의 응력평가는 로이드구조기준의 허용응력값을 충분히 만족하였다.
- 2) 엔진베드 구조의 대각도 경사시를 고려한 경우에도 국부구조강도는 낮은 응력수준을 보였으며, 안정된 구조를 지니고 있었다.
- 3) 소형선박의 국부구조강도의 평가에 있어서 선급 구조 규준과 유한요소 구조해석을 겸용한 방법을 통하여 소형선박의 구조 안정성을 명확하게 규명할 수가 있다.

#### 후 기

이 연구는 산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 수행되었다.

#### 참고문헌

- [1] 오석진 · 김만수 · 서인성 · 이경석(2002), VLCC 선미부 화물창에서 Inside Long.BHD의 최적 구조배치 및 구조안정성 평가, 대한조선학회, 2002년도 추계학술대회 논문집. pp. 389-394.
- [2] ANSYS Manual(2004), Mechanical Hydro-static Part Tutorial, Part 2, Swanson inc., pp. 314-372.
- [3] Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft(2002), Volume 3, Part 4, July, pp. 1-5.
- [4] Boote, D., Figari, M. and Sculati, A. (1999), Ultimate Strength assessment of Fast Mono-Hull Vessels, Proc 5th, International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 99'), Seattle, USA. pp. 175-181.
- [5] Hayman, B., Haug, T. and Valsgard, S.(1991), Response of Fast Craft Hull Structures to Slamming Loads. Proc. International Conference on Fast Sea Transportation, Seattle, USA., pp. 124-130.

원고접수일 : 2005년 6월 14일

원고채택일 : 2005년 12월 20일