

3차원 설계를 적용한 크루저급 세일링보트의 제작 공정

박근웅 · 김동준^{1*} · 박종헌²

한해해양문화연구소 연구과, ¹부경대학교 조선해양시스템공학과, ²동명대학교 조선공학과

A production process of cruiser sailing boat based on the three dimensional hull design

Gen-Ong PARK, Dong-Joon KIM^{1*} and Jong-Heon PARK²

Department of Research, Institute of Korean Sea Culture, Hanhae, Jinju City Jungchonmyon 660-821, Korea

¹Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea

²Department of Naval Architecture, Tongmyong University, Busan 608 -711, Korea

Recently a modern style sailing boat suitable for Korean sea was designed through full three dimensional design skill by the authors. In this paper, based on this three dimensional hull and deck design, a production process of 31ft class cruiser sailing boat was developed. First of all, it was possible to make the digital mock-up for design boat. Through this mock-up and RP(rapid prototyping) modeling, an appropriate general arrangement of design boat was able to be determined at final. And also the female deck mould was able to be made by a 5-axis NC cutting machine. By doing this method, more higher efficiency and precision for sailing boat production could be achieved than before. Through this research the total process of design and construction for the designed boat was established.

Key words : Sailing yacht, 5-axis NC cutting machine, Three dimensional hull design, Rapid prototyping modeling, Production process

서 론

우리나라는 조선강국의 면모를 가지고 있음에도 불구하고, 고부가가치 생산품목인 해양레저장비, 레저 보트 및 요트 등 레저산업관련 제품에 대한 생산과 설계실적이 매우 저조한 실정

이다. 그러나 최근 국민소득의 향상과 주 5일제 근무로 인하여 여러 방면에서 레저선박의 건조와 설계가 이루어지고 있으며, 국민들 또한 경쟁과 소규모 요트동아리 등과 같이 해양문화를 보다 폭넓게 접하기 시작하면서, 단순히 보는 것에

*Corresponding author: djkim@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-6614, Fax: 82-51-629-6608

서 이제는 함께 즐기는 해양문화의 인식으로 전환되어가고 있다. 여기에 발맞추어 해양레저인구의 증가와 함께 소비자의 요구에 대응하는 레저용 크루저급 세일링보트가 개발되어야 하지만, 관련업체의 상황은 레저용 선박건조에 대한 인식과 경험이 부족하고, 엔진, 모터 및 기타 관련 부품 등은 현재 전량수입에 의존해야만 하는 어려운 입장이다. 세일링보트를 비롯한 고급 해양레저장비는 설계·건조기량 부재, 신제품 및 신기술에 대한 정보 부재 등으로 신제품 개발과 내수기반 확보에 있어서 이미 한계상황에 직면해있다. 특히, 대부분의 제작이 수작업으로 이루어지고 있어서 가공성 및 부재치수의 정확성 등이 떨어지고, 많은 시간이 소요되기 때문에 성능 및 생산성 향상에 큰 영향을 미치고 있다(Park et al., 2004; Kim, 2007).

최근 국내에서 우리나라 전통어선의 선형을 바탕으로 현대 세일링요트의 선형설계에 대한 연구 결과가 발표되었고(Park et al., 2004; Kim et al., 2004; Park, 2004), Yoo et al. (2005b)도 30피트급 요트의 선형개발 및 성능추정에 대한 결과를 내어놓았다. 그리고 설계에 관한 연구뿐만 아니라 요트 세일 사이의 간섭 효과에 대한 수치해석(Yoo et al., 2004; 2005a), Yoo and Ahn (2005)의 30피트급 요트의 유체력에 대한 실험적 연구, Sim(2005)의 세일링 요트의 선형시험기법 연구, Park et al. (2005)의 현대 세일링보트의 설계관점에서 본 전통어선의 성능고찰 등의 논문이 발표되어 활발한 연구가 이어지고 있다. 하지만 이들 연구는 대부분 선형, 수치해석 및 실험적 연구에 집중되어 있고 세일링보트의 제작과 관련된 생산부분에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 우리나라 전통어선의 선형을 바탕으로 개발된 시제선(Kim et al., 2006; Park et al., 2006)에 최신 컴퓨터 기술을 적용하여 제작하는 공정을 연구하고자 하였다. 특히, 수입 레저용 선박의 표면을 보면 10년이 넘은 선박이라 할지라도 표면에 굴곡이 거의 없고

광택 상태가 양호함을 볼 수 있는데 이는 FRP 몰드(mould)를 떠내는 플러그(plug)에 의해 결정되어지는 것이다. 이에 본 논문에서는 완전한 3차원 설계가 이루어진 31ft급 세일링보트의 설계 결과를 이용하여 5축 NC 가공기에 의한 몰드 플러그 제작방법을 검토하였다.

재료 및 방법

시제선의 3차원설계 및 프로세스

우리나라와 같이 레저선박산업이 활성화 되어있지 않은 경우에는 시제선 제작을 위한 전반적인 작업들, 즉 각종 선체 액세서리들(accessories) 및 부가물들(appendages)의 가공, 그리고 배치를 위한 작업들이 설계과정 중에서 철저히 검토되어야 한다. 이러한 목적을 위해 모든 설계는 완전한 3차원 설계로 진행되었다. 본 연구의 전체적인 설계방법론은 나선형 설계방법

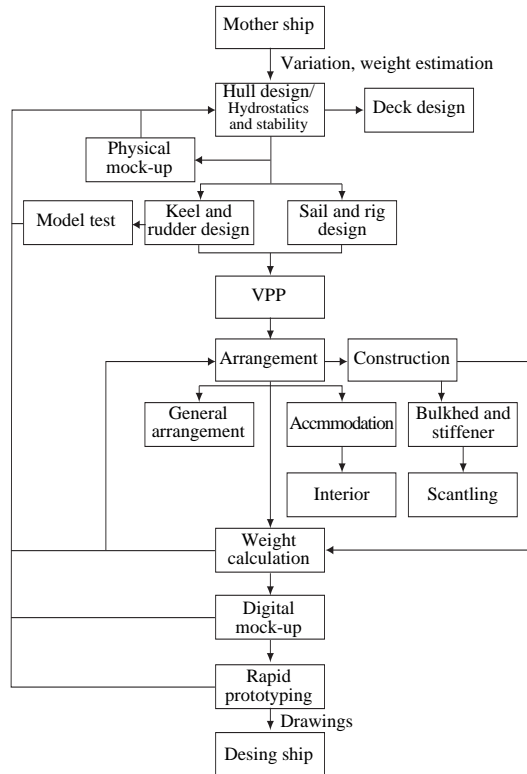


Fig. 1. Design process of design ship.

(Larsson and Eliasson, 2000)을 따르고 있으나, 3차원 설계가 진행된 관계로 전체적인 항목간의 연관성이나 계산순서 등의 과정에는 약간의 차이가 있었다. Fig. 1은 시제선의 설계 프로세스를 나타내고 있다.

속성성형기 모델링을 통한 사전 검토

선체와 갑판의 설계가 완료된 후, 몰드제작에 앞서 속성성형기(rapid prototyping, RP) 장비를 이용한 모델생성 및 검토 작업이 이루어졌다. 이 단계에는 모든 부분들이 3차원으로 설계를 끝낸 뒤이므로 여건만 허락한다면 선형검토, 각종 해치(hatch)류의 적정배치 여부 및 틈새조사, 피팅(fitting)류의 배치검토 등 다각적으로 모델을 이용하여 최종 사항들을 점검할 수 있다. 이 과정을 통해 설계가 완료되며 제작공정에 대한 계획 수립도 가능해진다.

Fig. 2는 속성성형기 장비로 구현된 시제선의 12:1 축적의 모델이다.



Fig. 2. Rapid prototyping model of design ship.

갑판 및 선체 플러그 제작

일반적인 FRP 작업은 먼저 만들고자 하는 형상을 나무 등으로 플러그를 만들어서 이를 이용하여 몰드를 떠내어야 한다. 그러나 대량생산이 아닌 시제선 제작에 있어서는 만약 NC 가공기

를 이용하여 바로 암플러그(female plug)를 만들게 되면 이러한 공정을 한 단계 줄이게 된다. 뿐만 아니라 형상 제작과정에서 발생할 수 있는 오차도 줄일 수 있으며, 미려한 곡선형상을 한 요트 갑판의 세세한 부분까지 정밀한 표현이 가능해진다. 본 연구에서는 이러한 목적을 위해 NC 가공기를 이용하여 갑판의 암플러그를 바로 제작하고자 하였다. 이러한 과정은 모든 설계가 3차원으로 수행되었기에 가능한 것이었다.

암플러그를 NC 가공할 경우 플러그용 재료로 나무나 우레탄 폼을 사용하는데 재료나 중량을 줄이기 위해 갑판형상을 표현할 수 있는 최소한의 적층단면을 구성한 뒤 보강목을 설치한다. NC 가공은 하나의 플러그 형태로 가능하지만, Fig. 3과 같이 NC 가공기의 영역 및 작업의 용이성을 위해 전체적으로 4등분으로 먼저 분할한 뒤, 총 6개의 파트로 나누어서 가공하였다. 갑판 전부는 높이가 800mm이고, 후부는 구조상 일체가 가공되어야 할 선미 트랜섬(transom)을 고려할 때 1,300mm이었다. 높이 제한(NC 가공기 자체 높이 및 폭의 제한성)에 대해서는 구조상의 중요도를 고려하여 일정한 높이에서 나누어 가공하였다. 선수에서 중앙부분의 5,983.4mm까지 잘라서 정리한 설계단면은 0-5,983.4mm로 스테이션(station) 1-6까지는 1m 간격으로 나누고, 스테이션 7은 5,983.4mm로 맞추었다. 선수에서 중앙부분의 5,983.4mm까지 잘라서 정리한 나머지의 설계단면은 0-3,731.7mm로 스테이션 1-4까지는 1m 간격으로 나누고, 스테이션 5는 3,731.7mm로 맞추었다. 갑판 외에 부속 설계

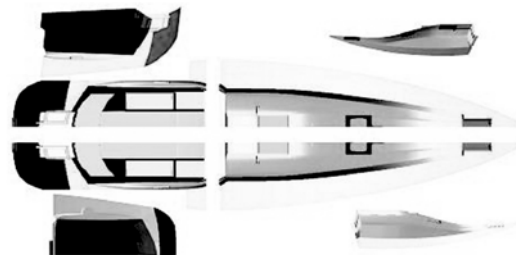


Fig. 3. Division for NC manufacturing.

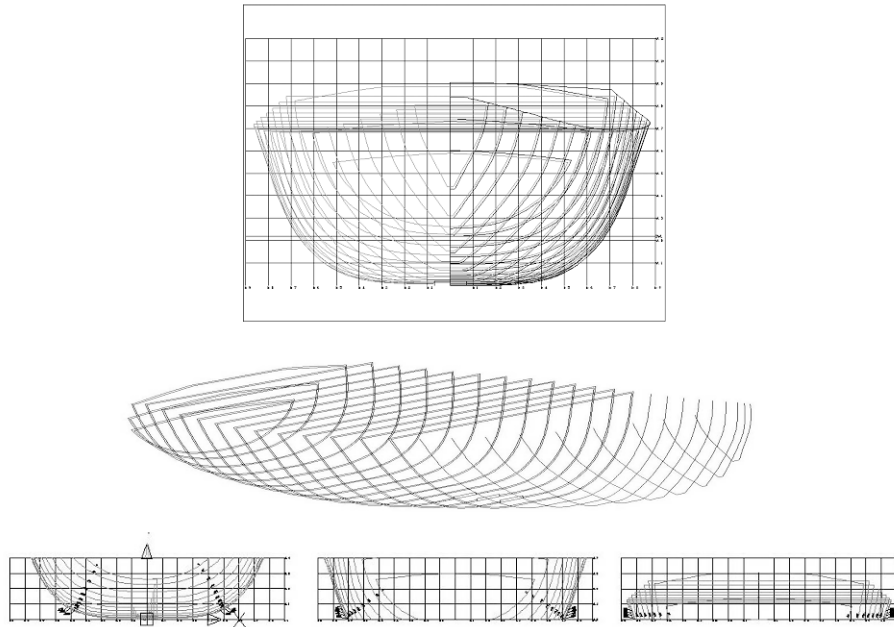


Fig. 4. 7mm deduct body plan of design ship(for frame cutting).

된 해치류의 덮개 및 선미배수관 등도 NC 가공기를 이용하여 암플러그로 가공하였다.

선체 플러그는 업선된 재료를 사용하여 전통적인 방식의 몰드 플러그로 제작하였다. 여기서 전통적인 방식이란 일반적으로 플러그 제작의 기존 방식인 프레임(frame) 제작을 위해 현도를 실시한 후, 프레임을 만들어 고정시키고 그 위에 배튼(batten)을 붙여 선체형상을 제작하는 과정을 말한다. 본 연구에서는 현도작업 공정을 줄이고 선체 몰드의 정밀도를 향상시키기 위해 Fig. 4와 같이 배튼 두께를 고려하여 새로운 단면형상을 생성한 뒤 전산출력해 사용하였다. 공법상의 제작방법이 결정되면 선체표면을 살리기 위한 배튼의 적절한 두께가 결정되고, 그 두께를 감안한 프레임을 그려내는 것이다. 선체 프레임 단면형상은 Maxsurf program의 디덕트(deduct) 기능을 이용하였다.

설계된 선형을 정도 높게 만들기 위하여 보다 많은 프레임의 형상을 이용하고자 하였다. 시제선의 경우는 AP(after perpendicular)에서 FP(fore



Fig. 5. Frame arrangement of hull mould.

perpendicular)까지 단면을 20등분하여 설계하였다. AP 뒷부분에서는 0.3m로 한 구획을 추가하였고 FP 앞부분에서는 0.3m로 두 구획을 추가하여 선수미의 형상을 재현하였다(Fig. 5).

시제선의 제작

시제선의 제작은 (주)현대라이프보트에서 수행되었으며, 킬(keel) 및 러더(rudder), 골격재(backbone), 타축(rudder shaft) 등의 제조 및 가공

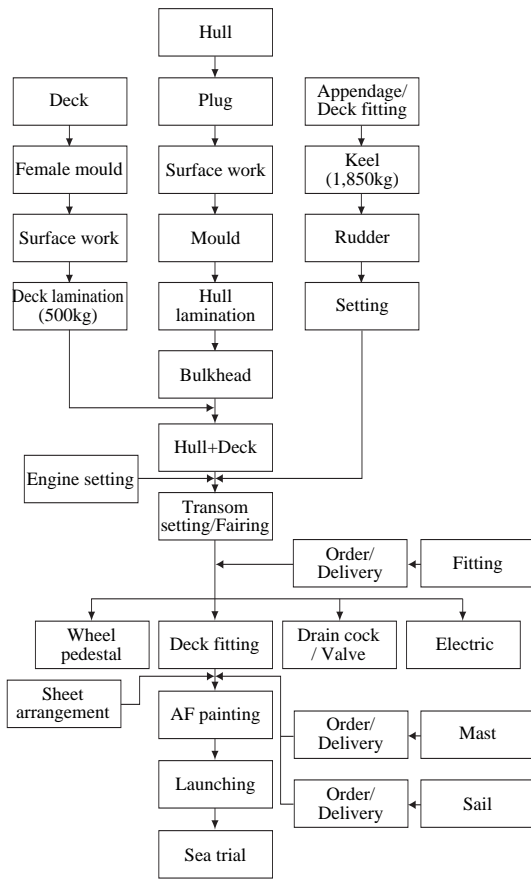


Fig. 6. Detail of manufacturing process.

을 관련업체에 맡겨 국산부품가공의 가능성을 타진하였다. 그리고 조타시스템(rudder system), 리그(rig), 세일(sail) 등은 제작업체의 자문을 받아 생산설계를 진행하였다. Fig. 6은 시제선의 실제 제작공정을 도표화하여 나타낸 것이다.

선체 제작은 몰드제작 후, 선체적층작업과 동시에 보강재 제작, 선체격벽 제작 및 설치, 체인 플레이트(chain plate) 설치, 낙뢰방지 장치, 기관 설치검토 순으로 진행하였다. 몰드는 유리섬유를 보강한 폴리에스테르 수지(polyester resin)로 만들었으며, 이와 같은 FRP 몰드는 견고하고 탄력이 있으며 무게가 가벼운 장점이 있다(Fig. 7).

갑판 제작을 위해서는 갑판 플러그가 분할 제작되었기 때문에 가공 후의 암플러그의 조립에

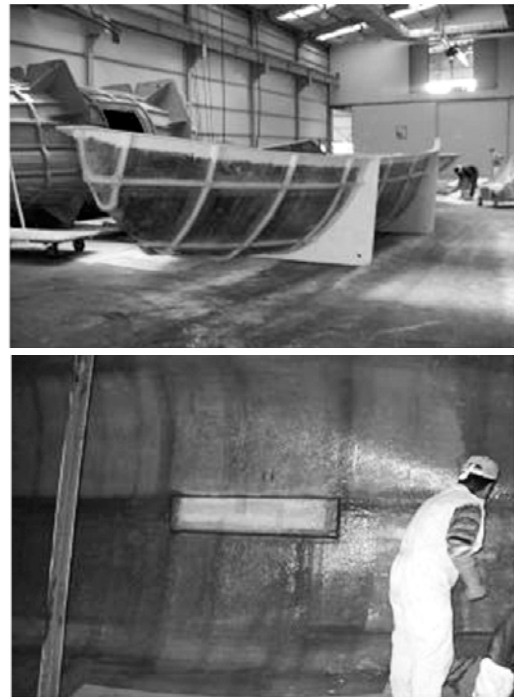


Fig. 7. Hull mould and hull construction.

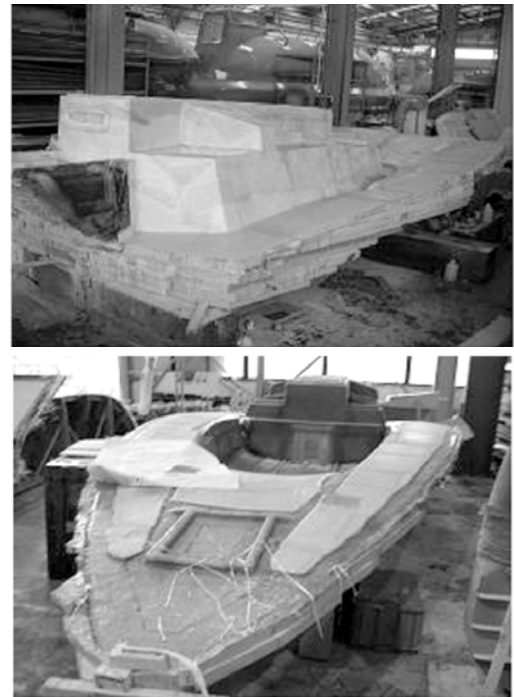


Fig. 8. Deck laminate and core construction.

대한 고려가 필요하였다(Fig. 8). 이후로 갑판 압몰드의 표면손질 및 추가보조 작업에 이은 적층 계획을 수립하였다. 적층이 끝난 후 갑판의 장품 설치장소를 결정하고 보강문제를 검토하였다. 갑판 탈형에 이어 갑판 조종실에 관련된 부속 가공물을 제작 및 설치하였다.

3차원 설계를 함으로써 플러그 및 구조재 제작 시에 정도를 높이기 위한 부수적인 작업들을 수행할 수 있었으며, 제작기간 단축과 공정의 정밀성을 기할 수 있었다. 특히 갑판부의 NC 5축 가공에 의한 정밀성은 갑판과 선체의 접합에 오차가 거의 없었다는 것으로 확인할 수 있었으며 앞으로 갑판의 다양하고 화려한 외관이나 인테리어 디자인의 적용 가능성을 보여주었다.

부가물 제작 및 리그의 설치

핀킬(fin keel)의 재질은 납 또는 주철이 일반적이고 별브가 붙는 경우는 납으로 하는 경우가 많다. 납은 비중이 큰 금속이면서도 값이 싸서 밸러스트용으로 적합하지만 강도가 부족하여 중량물

을 다루는데 국부적인 손상을 입기가 쉽다. 소량의 안티몬을 혼합함으로써 강도를 보강할 수 있으며 시제선의 경우는 스테인리스(stainless)판을 골격으로 안티몬(antimony) 5%를 첨가하여 비중 10.97 정도에서 주조하였다(Fig. 9).

타는 스페이드 러더(spade rudder)로 NACA 63A-010의 익형을 사용하였으며, 전체 타축 2,118mm 중, 타 내부에 설치되는 골격재의 축은 상부가 직경 76.2mm, 길이 1,121mm로 하였다. 먼저 준비된 몰드에 적층을 시작하고, 타 골격을 삽입한 뒤 골격을 고정하기 위한 거꾸집(우레탄 폼(urethane foam)재)을 설치하였다. 양 타판을 고정하기 위하여 FRP 작업을 끝낸 후 바이스(vise)로 압축하고 골격사이의 빈 공간에 우레탄을 발포하여 완성하였다. 타축 베어링장치는 상부에 플렌지(flange)가 달린 롤러베어링(upper roller bearing)을, 하부 롤러베어링은 스테핑박스(stuffing box)를 분리하여도 수밀이 될 수 있는 것을 선택하였다(Fig. 10).

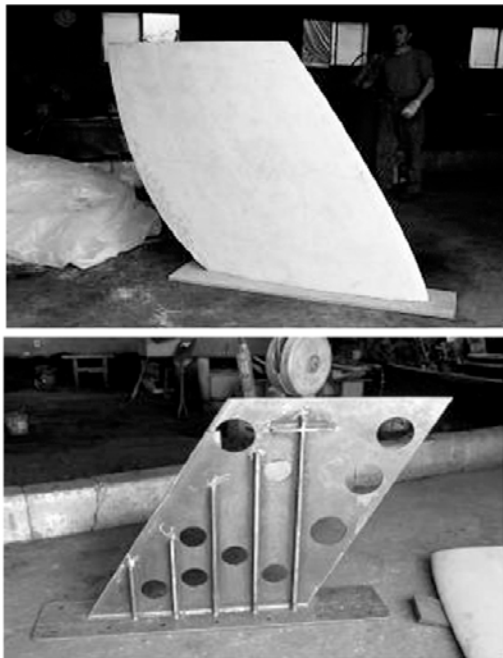


Fig. 9. Plug and backbone of keel.

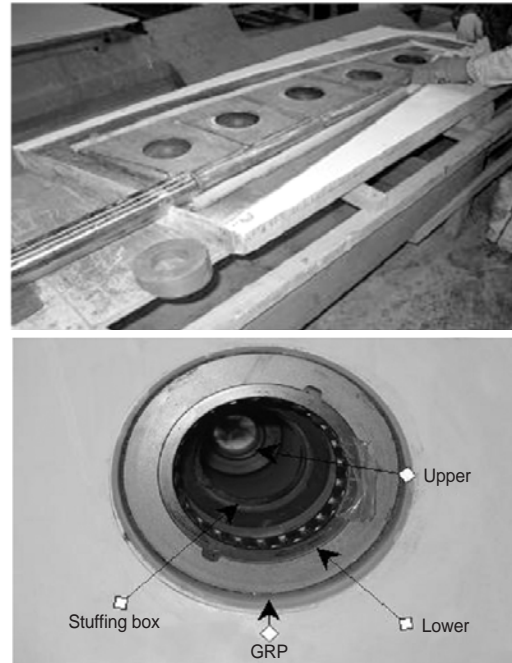


Fig. 10. Assembly of bearing and stuffing box & rudder production.

조타장치로는 EDSON의 Classic rack and pinion system에 킬러(tiller)에서 휠(wheel)까지 직접 붓으로 연결된 CD-i® Geared steering pedestal 장치를 사용하였다. 이것은 설치가 간편하고 설치할 수 있는 선택의 범위가 높은 장점이 있다. 시제선의 선미부분과 조종실 하단부분이 큰 배수구의 배치로 인하여 구조가 조금 복잡하다. 체인과 와이어로 된 장치(chain and wire systems)와 턴버클 형식의 드래그링크를 사용한 장치(turnbuckle-style drag link for easy adjustment)의 적용을 검토하였다. Fig. 11은 기본 장치들에 필요한 간격과 공간을 설정한 것이다.

피팅으로는 마스트의 스탠드 리깅(standing rigging)을 잡기 위한 리깅 베이스로 슈라우드드(shroud)를 잡아주는 슈라우드드 체인 플레이트, 포어스테이(forestay)를 잡기 위한 스템 피팅(stem fitting), 백스테이(backstay)를 잡아주는 백스테이 피팅을 들 수가 있다. 외국에서는 갑판 피팅들을 AISI-316으로 제작하고 있으나 시제선에서는 AISI-304를 이용하였다. 스템 환봉 316은

국내에서 쉽게 구할 수 있었으나 파이프류 또는 적절한 플레이트는 주문 제작이 필요하였다.

시제선의 리그유형은 마스트 헤드 리그(mast head rig), 킬 스텝 마스트(keel step mast), 이단 스프레드 리그(double spreader rig)이면서 6-11°의 후방경사를 가진 스프레드(swept spreader)이

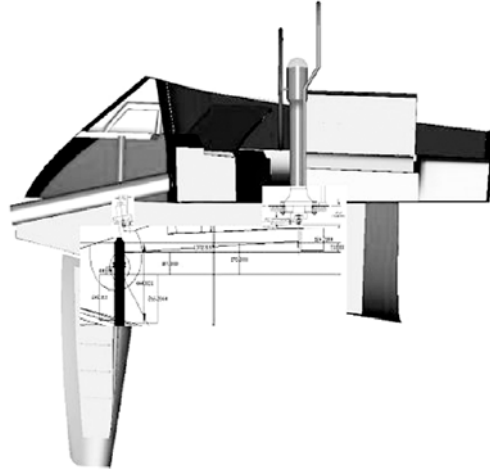


Fig. 11. Profile of rudder installation.

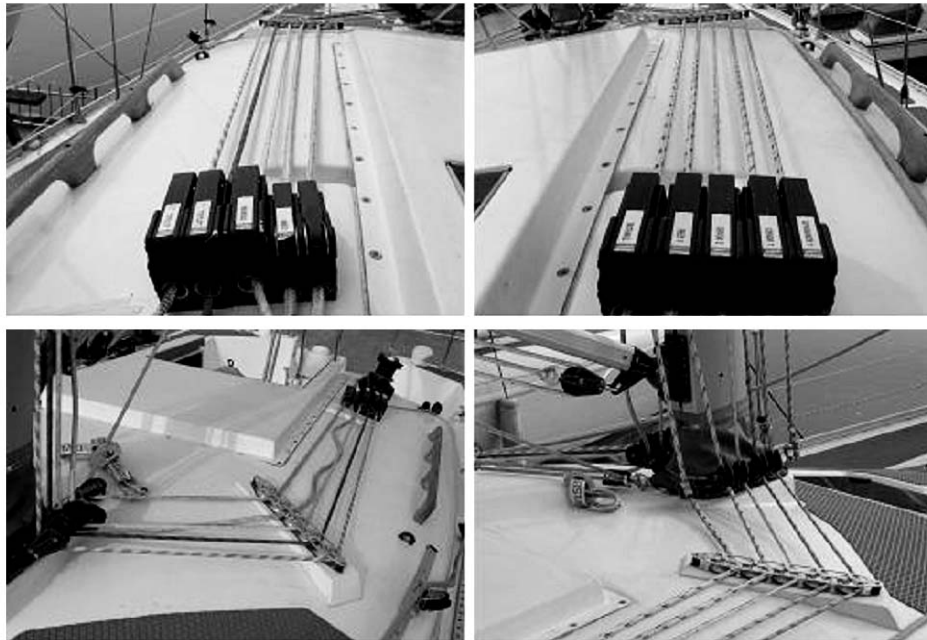


Fig. 12. Sheet arrangement.

다. 선수미방향 리그는 백스테이와 포어스테이 만을 고려하였다. 폭 방향 리그는 캡(cap) 슈라우드(V1, V2, D3), 중간 슈라우드(D2), 하부 슈라우드(D1)를 배치하였다. 세일 조절에는 크게 3부분으로 메인세일(main sail), 제노어세일(genoa sail), 스피네커(spinnaker)의 조절을 들 수가 있다(Fig. 12). 조절하는 시트(sheet)의 종류로는 클루에 설치되는 시트와 헤드의 헬리야드(halyard)류가 3가지 세일에 공통으로 사용된다.

주 윈치(primary winch)의 크기는 제노아 시트의 부하를 견딜 수 있는 크기를 택하면 메인 시트나 스피네커 시트를 충분히 조절할 수 있다. 따라서 주 윈치의 크기는 세일 면적이 큰 제노아의 최대세일면적 150%(35m²)을 기준으로 하여 size 46(power ratio 46:1)으로 선택하였다. 이외에도 런닝 리깅(running rigging)류의 굵기 결정은 대양항해를 고려하여 한 사이즈 높게 결정하였다(Nicolson, 2004).

결 론

우리나라의 FRP 레저용 선박산업의 기술력은 오랜 기간 동안 정체되어 왔다. 폴드플러그 제작에서 제품의 출하까지 10년 전과 발전된 것이 거의 없다. 그 이유 중 하나가 FRP 자재와 FRP 선박관련 새로운 기술 및 공법의 보급과 정보교류의 통로가 없다는 것이다. 레저용 선박은 겉모습뿐만 아니라 새로운 기술의 도입으로 선박의 주행성 향상과 작업공정의 대량 생산화를 통한 원가절감을 해야 한다. 현재 FRP 레저용 보트 제작에 사용되고 있는 플러그 제작의 경우, 2차원 설계에 의한 작업이기 때문에 작업자의 숙련된 기능에 의존해야만 하고, 표면처리 및 부분 수정을 위한 작업 등으로 제작기간이 많이 걸리고 있다. 따라서 가공성 및 정밀도 향상과 제작소요시간을 줄이기 위해서는 제품의 완전한 3차원 설계와 NC 가공기를 이용한 제작이 절대적으로 필요한 시점이다. 시제선의 설계는 제작을 위한 설계단계에서 전 과정을 완전한 3차원 설계를

진행하여 설계결과를 속성성형기 모델링을 통하여 설계상의 문제점을 사전에 검토함과 동시에 각종 액세서리의 개폐부위 점검 및 가시적 판단을 실선 제작이전으로 앞당김으로써 완성도를 높일 수 있었다. 또한 5축 NC 가공기를 이용한 폴드개발등 치밀하게 계획된 시제선의 전 제작공정을 통해 열악한 관련 인프라산업 현실과 기존 제작공정의 문제점을 파악하였다. 이러한 경험을 통해 개선된 제작공정을 정립하였고 각 제작업체와의 협력방법을 파악하게 되어, 앞으로 새로운 세일링보트 개발시 시행착오를 줄일 수 있고 개발기간도 단축할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 기자재산업의 국산화 가능성을 충분히 검토할 수 있게 되었다. 본 논문을 바탕으로 우리나라의 중소형조선소가 고부가가치 산업인 레저용 선박을 설계·제작하여 세계시장으로 진출하는데 실질적인 도움이 되었으면 하는 바람이다.

참고문헌

Kim, D.J., J.H. Park, B.M. Choi and G.O. Park, 2004. Development of cruiser/racer version sailing boat based on the traditional fishing boat. The primary report of Korea Industrial Technology Foundation. pp. 221.

Kim, D.J., G.O. Park, H.S. Park, S.W. Shin, L.T. Hien and T. Nakayama, 2006. Development of cruiser/racer version sailing boat based on the traditional fishing boat. The final report of Korea Industrial Technology Foundation. pp. 228.

Kim, S.I., 2007. Development of the automatic machining technology for boat's wooden patterns. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 44(2), 174 - 179.

Larsson, L. and R.E. Eliasson, 2000. Principles of Yacht Design. International Marine of McGraw-Hill. pp. 334.

Nicolson, I., 2004. The Boat Data Book. Sheridan House, Inc. pp. 192.

Park, G.O., 2004. A study on the hull form of the Hansun

- for development of modern sailing boat. M.E. Thesis, Pukyong National University, Korea. pp. 124.
- Park, J.H., G.O. Park and D.J. Kim, 2004. A study on the characteristics of traditional Korean fishing boats for development of a sailing boat. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 18(4), 71 – 76.
- Park, G.O., D.J. Kim, J.H. Park and B.M. Choi, 2005. A study on the performance of the traditional Korean fishing boats from the view point of modern sailing boat design. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(1), 50 – 56.
- Park, G.O., D.J. Kim, J.H. Park, I.C. Kim and S.M. Sim, 2006. Development of cruiser/racer version sailing boat based on the traditional fishing boat. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(4), 504 – 511.
- Sim, S.M., 2005. A study on the techniques for sailing yacht model tests with sailing condition. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea. pp. 144.
- Yoo, J.H., I.R. Park, J. Kim, H.S. Ahn, S.H. Van and P.G. Lee, 2004. Calculations on the interactions between main and jib sail. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting The Society of Naval Architects of Korea*, pp. 181 – 189.
- Yoo, J.H., I.R. Park, J. Kim, H.S. Ahn, S.H. Van and P.G. Lee, 2005a. Calculations on the interactions between main and jib sail. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(1), 24 – 33.
- Yoo, J.H., S.H. Van, H.S. Ahn, J. Kim and S.H. Kim, 2005b. Development of 30 feet sailing yacht and performance predictions. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(1), 34 – 42.
- Yoo, J.H. and H.S. Ahn, 2005. Experimental study on the hydrodynamic forces of 30 feet sailing yacht. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(3), 233 – 240.
-
- 2008년 10월 8일 접수
2008년 10월 31일 1차 수정
2008년 10월 31일 수리