

해양레저 분야 복합소재 적용 : 33피트급 아메리카스컵 훈련용 CFRP 세일링 요트 개발

서형석* · 장호윤*[†] · 이인원** · 최홍섭***

Development of 33feet Class America's Cup Training CFRP Sailing Yacht for Marine and Leisure Applications

Hyoung-seock Seo*, Ho-Yun Jang*[†], In-Won Lee**, Heung-Soap Choi***

ABSTRACT: The purpose of this paper is to investigate the current trends of composite applications in the marine and leisure fields and to study the development of 33ft class America's cup training CFRP sailing yacht. In the field of marine and leisure, composite materials have been just used to marine and leisure structures, recently. Especially, since the America's cup of sailing yacht racing has required the light weight and high mechanical performance to make a high speed, CFRP have been recognized as the critical material to construct the racing yacht structures. To establish the process of CFRP racing yacht construction, the design optimizations and production methods of carbon mast and CFRP yacht hull were discussed in this paper. Finally, the constructed CFRP sailing yacht exhibited high performance as the racing yacht through the sailing test.

초 록: 본 논문에서는 해양레저분야에서의 현재 복합재 적용 현황과 33피트급 아메리카스컵 훈련용 세일링 요트 개발에 대해 기술한다. 항공분야와 달리 해양레저 분야에서의 복합재료는 최근에서야 적용 및 사용이 되기 시작했다. 다양한 해양레저 구조물 중에서도 특히, 아메리카스컵 세일링 경주 요트는 빠른 속도를 내야 하기 때문에 경량화 및 높은 기계적 성능이 요구되고 이에 따라 경주용 요트를 건조함에 있어 탄소섬유의 사용은 필수적이다. 탄소섬유강화 플라스틱 경주용 요트 제작 과정을 정립하기 위해 탄소 돛대와 탄소 요트 선체에 대한 최적화 설계와 생산 공법에 대해 논의되었다. 최종적으로 이렇게 제작된 탄소섬유강화복합재 세일링 요트는 운항시험을 통해 경주용 요트로써의 높은 성능을 보여주었다.

Key Words: 해양레저(Marine and Leisure), 탄소섬유강화복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics), 세일링 요트(Sailing Yacht), 아메리카스컵(America's Cup)

1. 서 론

탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유와 에폭시, 폴리에스테르 등의 복합재료는 이미 오래전부터 항공기 분야에 많이

사용되어 왔다[1]. 고성능 복합재료(Advanced composites)가 많이 적용되고 있는 항공분야와 달리 조선해양 특히, 해양레저분야는 최근에서야 요트 선체(Yacht Hull), 돛대(Mast), 서핑 보드(Surf board) 등의 해양레저 관련 기구에 적용이

Received 8 December 2014, received in revised form 29 December 2014, accepted 22 January 2015

*Research Institute of Medium and Small Shipbuilding

*[†]Research Institute of Medium and Small Shipbuilding, Corresponding author (E-mail: hyjang@rims.re.kr)

**Global Core Research Center for Ships and Offshore Plants, Pusan National University

***Department of Mechanical and Design Engineering, Hongik University

되고 있다[2]. 특히, 염수, 자외선, 해풍, 파력 등과 같은 특수한 해양 환경[3-5]에 요트와 같은 해양레저 구조물 등이 노출 되어 있기 때문에 부식의 위험성이 높고 끊임없이 반복되는 파도의 반복 하중에 의해 수명이 단축되는 금속재료에 비해 높은 내부식성, 기계적 강도 및 수명을 가지는 복합재료는 해양레저기구를 설계 및 적용하려고 하는 엔지니어에게 여러 가지 유리함을 제공한다.

위에서 언급한 해양레저기구 중 탄소섬유의 적용 비중이 가장 높은 해양레저기구는 국제 요트 경기인 아메리카스컵(America's Cup)에 참가하는 고속 세일링 요트이다. 해양의 F1 경기라 불리며 올림픽과 월드컵에 이어 세계에서 세 번째로 큰 국제 스포츠 행사인 아메리카스컵 국제 요트 경기는 국제 스포츠 경기에서 가장 오랜 역사와 전통을 자랑하는 경기로서 국가를 대표하는 최첨단 소재로 이루어진 탄소섬유강화복합재 세일링 요트(Carbon Fiber Reinforced Plastics Sailing Yacht)가 경기에 참가하고 있다[6]. 아메리카스컵에 참가하는 세일링 요트는 자국의 기술로 건조된 배로 참가해야 한다는 경기 규정에 따라 선박설계, 유체역학, 시뮬레이션, 선박건조와 같은 해양레저선박기술, 기상학, 항해학, 위성항법시스템기술, 전자센서 기술, 정보통신기술 등 관련 기초 과학 분야 및 첨단소재와의 기술을 융합하여 설계 및 건조하게 된다. 그러므로 탄소섬유와 같은 복합소재를 적용하여 선체의 경량화 및 기계적 강도를 높이고 선체, 돛대, 킬, 리그(Rig)와 방향타(Rudder) 등과 같은 요트를 구성하고 있는 각 구조물들에 대해 복합소재를 고려한 최적화 설계 및 구조해석이 이루어져야 한다.

Ojeda[7]는 슬래밍 하중(Slamming load)에서의 복합재 일반 쌍동선의 기계적 정적 움직임을 유한요소해석(Finite element analysis)을 이용하여 해석 및 예측하였고, Yakimoff[8]와 Morris[9]는 알루미늄 쌍동선에 대해 다양한 파랑 하중에 따른 구조해석 연구를 수행하였다. 대부분의 연구는 금속재료의 요트에 대해 수행되었으므로, 아메리카스컵의 탄소섬유강화복합재 요트에 대해서는 좀 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 아메리카스컵 본 경기에 사용되는 72피트급 세일링 요트의 훈련에 사용되는 33피트급 아메리카스컵 훈련용 탄소섬유강화복합재 쌍동형 세일링 요트 개발을 목표로 하여 탄소섬유로 제작된 세일링 요트의 주요 구조물인 선체형상 및 돛대 설계 및 개발에 대한 내용을 논의하며, 요트 형상에 대한 성능해석과 시제품 요트를 생산하기 위해 생산 및 제작 방법에 대해 논의하고자 한다.

2. 아메리카스컵 쌍동형 훈련용 요트 설계

2.1 쌍동형 세일링 요트 형상설계 및 유체계산

아메리카스컵의 출전을 위한 경기 요트들은 규정의 범위 이내에서 선체형상, 부가물형상, 돛대 및 리그류등 설계

에서부터 생산에 이르기 까지 고도의 기술들이 적용되고 있으며, 최고의 요트를 제작하기 위해서 수력학(Hydrodynamic)과 공기역학(Aerodynamic)에 대한 해석뿐만 아니라 복합소재 구조체에 대한 유한요소해석 기술이 적용되어 설계가 수행되어진다. 본 논문에서는 초기설계단계부터 각각의 부분에 적합한 탄소섬유 및 수지를 고려한 설계가 수행되어졌으며, 경주용 요트의 특성상 경량화 및 강도의 확보가 중요함으로 탄소섬유의 방향성을 고려한 최적 배치를 통한 각각의 구조체의 설계 및 검토를 수행하였다. 또한 탄소섬유가 적용된 선체에 대한 설계를 수행할 때에 각각의 구조체의 경량화에 따른 유체역학적인 계산도 수행되어졌으며, 요트의 흘수(Draft)는 선미(Stern)의 트랜섬(Transom) 부



Fig. 1. 33feet America's Cup Training Catamaran Yacht

Table 1. Hydrostatics of Catamaran Training Yacht

Measurement	Value	Units
Draft	0.220	m
Displacement	1.592	ton
Volume	1.553	m ³
Waterline Length	10.476	m
Wetted Area	14.428	m ²
Waterplane Area	10.968	m ²
Longitudinal Center of Buoyancy	5.024	m
Vertical Center of Buoyancy	0.137	m
Block Coefficient	0.500	(-)
Prismatic Coefficient	0.587	(-)
Section Area Coefficient	0.852	(-)
Waterplane Area Coefficient	0.776	(-)

분이 잠기지 않는 범위 이내로 배수량(Displacement)이 결정되었고 이는 선체, 구조체, 돛대, 세일, 리그루 및 승선인원과 여유분을 포함하였다. 이러한 기본에 의거하여 33피트급 아메리카스킵 훈련용 쌍동형 세일링 요트를 설계하였으며, 날개형 세일(Wing Sail) 형태의 훈련용 세일링 요트 형상은 Fig. 1에 도시하였으며, 유체역학적인 계산표는 Table 1에 나타내었다.

또한 풍향과 풍속에 대한 요트의 성능을 추정하는 요트 속도 예측 프로그램(Velocity Prediction Program)을 이용하여, 세일링 요트의 특성상 불규칙적인 바람과 방향에 대해서 선체하부의 유체정역학적인 데이터를 포함하는 각종 수치데이터와 선체상부의 돛대와 붐(Boom)의 크기 및 세일에 면적을 영향을 주는 각종 리그루의 위치에 대한 수치데이터를 프로그램에 적용하여 얻어지는 세일의 풍압에 대한 요트의 속도예측프로그램을 이용하여 집세일(Jib Sail), 메인세일(Main Sail) 및 스피네커세일(Spinnaker Sail)을 포함한 33피트급 훈련용 쌍동형 세일링 요트의 설계단계에서 속도예측을 수행하고 설계에 반영하였다.

2.2 쌍동형 요트 선체 설계

선체 설계의 가장 중요한 요소는 두 가지이며, 첫 번째 요소는 요트가 유체를 유연히 타고 넘어갈 수 있는 선형을 만드는 것이 가장 중요한 요소이다. 선체의 저항은 마찰저항(Frictional Resistance)과 잉여저항(Residual Resistance)으로 나누어지며, 요트의 선체는 마찰저항보다도 잉여저항이 큰 비중을 차지하고 있다. 또한 잉여저항 중에서도 조파저항(Wave Resistance)에 많은 영향을 받게 되므로 설계 시에는 조파저항을 최소화 할 수 있게 선형이 고려되어졌다.

두 번째 요소는 최소중량 및 구조강도를 확보하는 선형의 설계를 수행하는 것이다. 최소의 중량으로 선체의 흘수를 낮추어 주어 물에 대한 저항을 감소시키는 것이므로 이러한 중량을 감소시키기 위하여 (주)효성에서 생산된 탄소 섬유 프리프레그(Carbon Fiber Prepreg)가 적용되어졌다. 해상에서 파랑에 의한 충격을 요트에 최소화하기 위하여 각각의 구조체의 조립이 되는 부분에 보강을 고려하였고 이러한 일련의 유체정역학적인 계산을 통하여 배수량과 흘수를 동시에 만족하는 선형이 설계되어졌다[10,11].

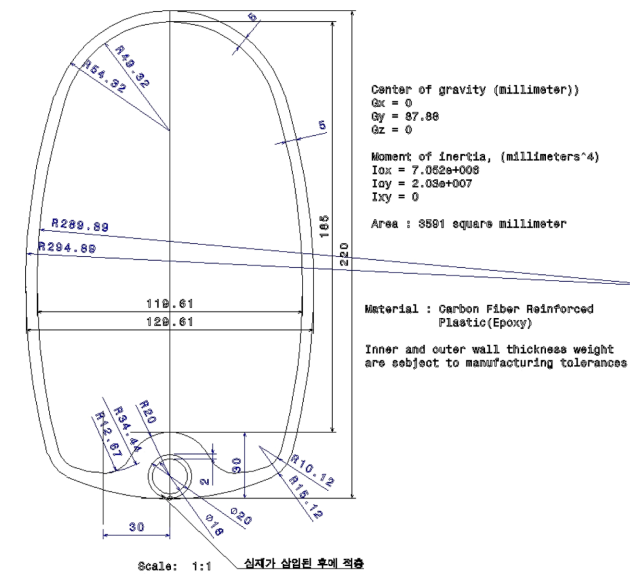
2.3 쌍동형 요트 돛대 설계

세일링 요트의 경우에는 풍압에 의하여 만들어지는 힘에 의한 추진력으로 항주를 하게 되며, 중앙에 위치하는 돛대는 요트의 선수, 선미 및 양현에 와이어가 고정되어진다.

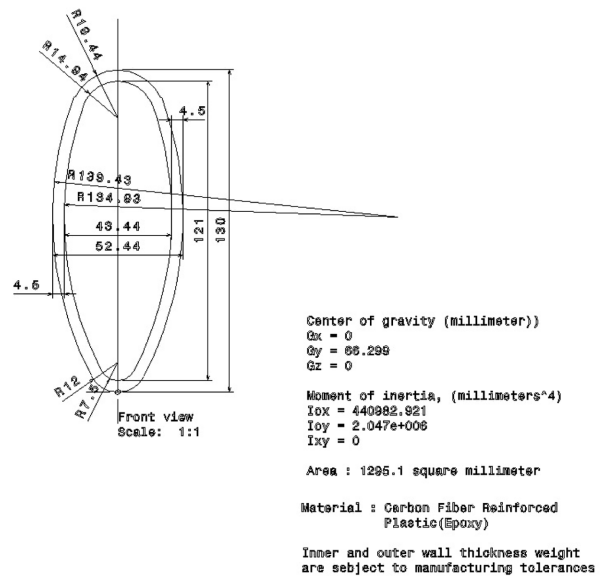
세일에 의해 지지되는 돛대의 리그는 엔진베드와 프로펠러 샤프트를 지지하는 하중에 유사하며, 일반적으로 아메리카스킵의 레이싱 요트의 경우에 돛대의 하부 지지대에는 약 50톤 이상의 압축력이 작용된다. 오래전에는 요트의 돛대는 대부분 목재였지만 오늘날에는 세일링 요트의

경우에는 90% 이상이 알루미늄 압축재가 적용된 돛대가 적용되고 있으나, 가볍고 탄성률이 우수하며, 강성이 좋은 복합소재가 적용된 돛대로 변화되는 추세에 있다. 아메리카스킵의 경우에는 현재 탄소섬유강화복합재 돛대를 장착하여 경주용 요트의 돛대에 굴곡(Curvatures)을 주어 바람이 강한 때에 세일의 형상을 크게 만들어줌으로 효율을 극대화하여 경기를 유리한 방향으로 이끌고 가기도 한다.

이러한 돛대의 설계를 위해서는 강도의 확보가 가장 중요한 요소이다. 구조 강도는 돛대의 형상 단면계수(Section Modulus)에 의해 결정되고 돛대의 길이는 세일링 요트의 크기 및 사용용도에 따라 결정이 된다. 또한 돛대의 설계 시에 중요한 설계 요소는 리그이며, 이러한 리그로부터 전달



(a) Mast Section



(b) Spreader Section

Fig. 2. Mast/Spreader Section Design of Yacht

되는 하중은 선체 변형에 영향을 미치며 이는 선체 갑판(Deck)에 압축력과 선저(Hull Bottom)에 인장력으로 작용하게 된다. 이러한 돛대의 개념설계를 수행할 때에는 주로 선체의 크기에 따라 결정이 되므로 기존 요트에 사용되었던 실적선 데이터들로부터 돛대의 길이 및 단면계수가 결정이 된다. 선체의 길이, 폭 그리고 흘수등과 같은 기본적인 치수에서부터 배수량에 대한 길이 비, 세일 면적에 대한 침수 면적(Wetted Surface Area) 비와 같은 기하학적 계수들에 이르기까지 설계에 필요한 모든 치수들에 대한 1차적인 추정 값을 결정하여 돛대의 길이 및 단면 계수를 결정하였다.

돛대의 길이와 단면계수가 결정이 되면 돛대의 압축력으로 발생하는 좌굴변형을 막기 위하여 수평반침대인 스프레더(Spreader)의 길이와 단면계수가 결정이 되며, 돛대와 스프레더의 단면형상은 Fig. 2에 나타내었다.

돛대에 의해 전달되는 세일 풍압력에 대한 세일요트의 전체하중은 선체거더(Hull girder)가 굽어질 때 리그로부터의 하중작용에 의해 선체 전체에 영향을 미치게 된다. 돛대에 작용하는 하중에서 가장 중요한 하중은 호깅(Hogging)과 새깅(Sagging)와 같은 굽힘 모멘트이다. 정수 중 요트의 돛대에 적용되는 압력이 스테이(Stay), 슈라우드(Shroud), 헬야드(Halyard)에 의해 걸리게 되는데, 그 값은 대략적으로 선체 배수량의 두 배 정도가 된다. 슈라우드에 걸리는 하중은 선체 배수량 정도의 하중이 걸리게 되며, 헬야드에 걸리는 하중은 배수량의 10% 정도의 하중이 걸리게 된다. 앞과 뒤의 스테이에 작용하는 굽힘력은 배수량의 약 85%에 이르는 하중이 걸리게 된다. 슈라우드와 선체 연결부는 풍압이 작용되는 쪽으로 돛대가 변형이 되기 때문에 충분한 강도 및 굽힘에 의한 하중에 견딜 수 있도록 돛대의 단면계수를 결정하였다[12].

2.4 쌍동형 요트 부가물 설계

쌍동형 세일링 요트 방향타의 경우에는 2개의 분할선체(Demi-hull)의 후미에 부착된다. 또한 쌍동형 세일링 요트의 특성상 불규칙적인 바람의 방향과 힘으로 인해서 일반 선박과는 달리 빈번한 항주자세의 변화가 발생하기 때문에 이러한 상황에 대응하기 위해서는 방향타의 신속한 제어를 통한 조종성능의 확보가 무엇보다도 중요하나 요트의 방향을 신속히 전환하기 위하여 방향타를 변환시킬 경우에 방향타에 강한 유체력이 발생하게 된다.

이러한 강한 유체력으로 인해 발생하는 비틀림모멘트(Torsional Moment)에 대한 강도확보와 방향타의 빈번한 제어에 의해 발생하는 피로감을 줄이기 위한 방안으로 경량화가 필요함으로 이를 극복하기 위하여 탄소섬유와 코어재(Core Material)를 적용하여 제작하기 위한 설계를 수행하였다. 또한 방향타의 양력(Lift)을 최대화하기 위한 형상도 고려되었다.

일반적으로 선박 방향타의 성능은 단면 형상(Section shape),

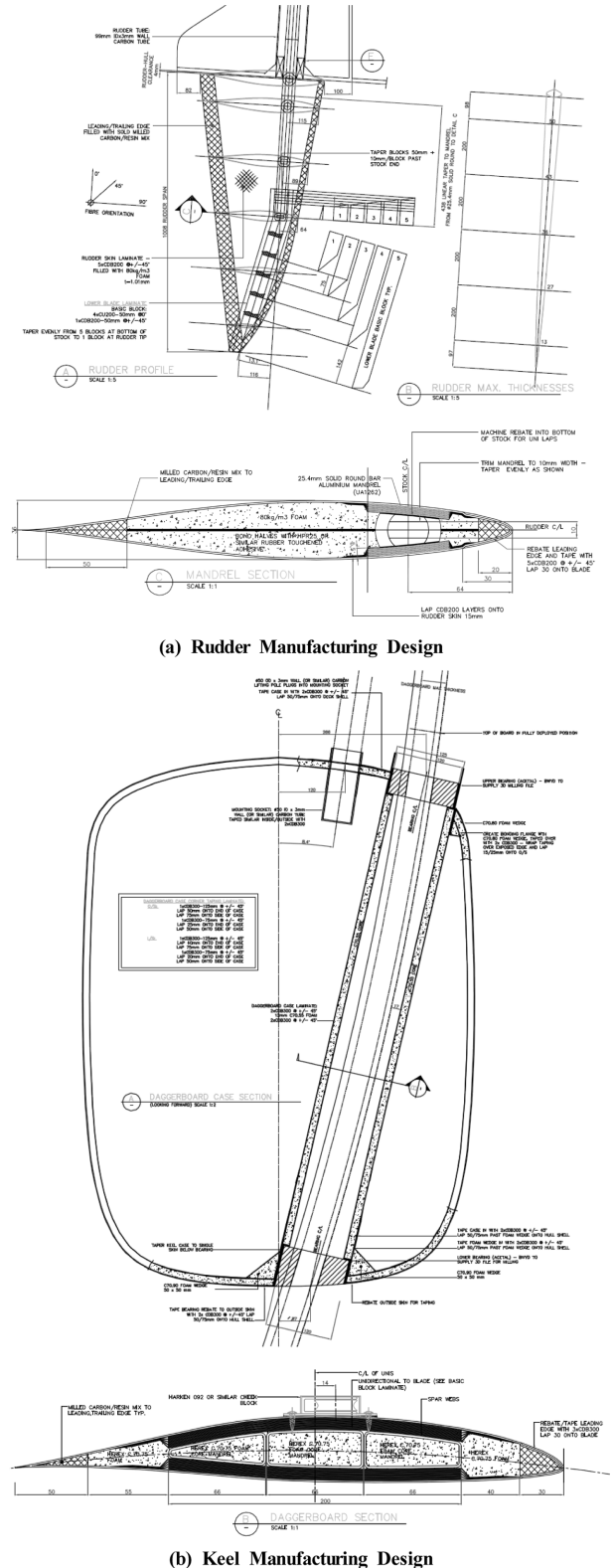


Fig. 3. Rudder/Keel Composite Manufacturing Design

투영 형상(Planform shape)과 중형비(Aspect ratio)와 같은 기하학적 특성과 투영면적에 따라 결정이 된다. 또한 쌍동형 세일링요트의 경우에도 방향타는 선미에 위치하고 있는

며, 흡수로 인한 제약과 선체 하부 길의 길이 때문에 타의 크기에 제한을 받게 되고 면적을 증가시키게 되면 저항 측면에서 해로울 뿐만 아니라 조종성능을 감소시키기도 한다. 따라서 방향타의 설계는 정해진 크기와 면적에서 타의 성능이 최대가 되도록 설계가 수행되어졌다.

30피트급 쌍동형 크루징 세일링요트에 대한 동급선종들의 통계자료조사를 바탕으로 수면하의 선체의 투영 면적 대비 방향타 면적에 대한 비율은 약 5~8%임을 알 수 있으며, 가볍고 흡수가 낮은 경기정일 경우에는 약 15~25%의 방향타의 면적 비율을 가짐을 알 수 있다. 30피트급 쌍동형 요트에서는 선체의 투영면적 대비해서 방향타 면적에 대한 비율이 23%로 설계되어졌으며, 복합소재를 적용한 방향타 및 킬의 생산설계도는 Fig. 3에 나타내었다[13].

3. 쌍동형 훈련용 요트 제작 및 공법

3.1 쌍동형 요트 선체 플러그몰드 제작 및 공법

쌍동형 훈련용 세일링 요트의 선체를 탄소섬유 복합소재로 제작을 하기 위해서는 몰드(Mold)가 필요하며, 플러그 몰드(Plug Mold)의 제작공정은 탄소섬유 복합소재 요트의 제작공정 중에 가장 먼저 시행되는 작업으로 요트의 원형을 그대로 구현할 수 있는 공정이다. 정밀 가공 기술에 활

용되는 5축 가공기술을 플러그 몰드 제작과정에 도입 및 적용하였다.

5축 가공기 위에 스티로폼을 황삭(Rough Grinding)한 후에 수지를 도포하여 정삭(Finishing)을 수행하여 훈련용 쌍동형 요트의 선체에 가장 중요한 유선형 형상을 구현하였으며, 플러그 몰드를 이용하여 암몰드(Female Mold)를 탈형하고 암몰드에 복합재 상설계 시에 계획된 탄소섬유 프리프레그를 적층한 후에 진공성형공법을 이용하여 탈형(Form Removal)을 하여 선체의 제작을 수행하였으며, 그 과정은 Fig. 4에 나타내었다.

3.2 쌍동형 요트 돛대 제작 및 공법

돛대의 단면형상에서 탄소섬유 복합소재를 적용하기 위해서는 두께 결정이 가장 중요한 요소이고 이는 리그에 의해 전달되는 최대하중으로 고려되어진다. 이러한 하중조건은 돛대의 단면형상, 두께, 스테이의 규격 결정에 가장 큰 영향을 받으므로 하중조건을 산정하기 위해서는 예측 가능한 요트의 운항조건에 따른 세일의 면적에 적용되는 바람의 풍압력을 고려하여 돛대에 걸리는 하중조건을 결정하였다.

한편, 돛대의 두께와 강도를 맞추기 위해서는 몰드 안쪽으로 온도와 강한 내압을 주는 공법을 채택하여 적용하였고 몰드는 알루미늄 주물 및 밀링 가공을 통하여 금형으로 제작하였으며, 내압성형공법을 이용한 탄소섬유 프리프레그와 에폭시 수지(Epoxy resin)를 이용하여 성형 및 제작하였다. 경화 온도 및 압력은 각각 약 120°C, 700 kPa의 조건으로 약 3시간 동안 성형 경화한 후, 제품을 탈형하였으며, 최



(a) Hull/Deck Plug Mold Using 5-Axis Machine



(b) Vacuum Infusion Method of Construction

Fig. 4. Hull/Deck Manufacturing Process



(a) Mast/Boom Metallic Mold



(b) Carbon Prepreg Mast Product

Fig. 5. Mast/Boom Manufacturing Process



(a) Dagger Board Product



(b) Rudder Product

Fig. 6. Appendage Manufacturing Process

종 돛대의 시제품은 Fig. 5와 같이 제작되었다.

3.3 쌍동형 요트 부가물 제작 및 공법

쌍동형 훈련용 요트의 중앙에 부착되는 부가물인 센터 킬(Center Keel)은 진공성형공법이 적용되었으며, 경화 온도 및 압력은 각각 약 80도와 80 kPa이고 성형시간 및 경화시간은 각각 약 1시간과 24시간으로 제작되어졌다. 또한 방향타도 진공성형공법이 적용되어졌으며, 경화 온도 및 압력은 각각 약 80도, 80 kPa이고 성형시간 및 경화시간은 각각 약 40분과 24시간으로 성형 및 제작이 되어졌다. 센터 킬과 방향타에 대한 성형공정 및 시제품은 Fig. 6에 나타내었다.

4. 쌍동형 훈련용 요트 해상시운전

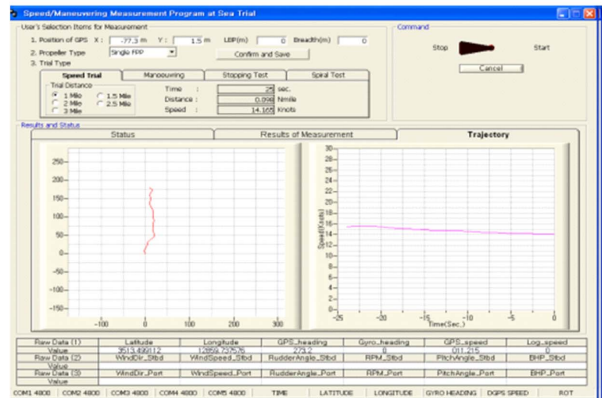
4.1 쌍동형 세일링요트 시운전

세일링 요트가 세일에 의한 풍압을 받아서 항주하게 되며, 바람의 방향에 따른 항주방법은 크게 크로스 홀드(Close Hauled), 리칭(Reaching), 러닝(Running)의 세 가지로 구분이 되며 쌍동형 세일링요트의 시운전에서는 각가지 항주상태를 구현하였을 때에 가장 빠른 속도 및 평균속도를 측정하여 세일링 요트의 성능을 분석하였다.

쌍동형 훈련용 세일링 요트의 속도 측정을 위하여 고정밀위성항법장치(Differential Global Positioning System)를 이용하여 항주속도를 측정하였다. 장치설치 및 속도계측 결



(a) Sea Trial Test Setting of DGPS



(b) Speed Performance Result

Fig. 7. Sea Trial Test Setting and Result Graph



Fig. 8. Sea Trial Test of Catamaran Training Yacht

과 그래프는 Fig. 7, 8에 각각 나타내었다. 또한 요트의 방향 전환 기술인 택킹(Tacking), 자이빙(Gybing)을 통하여 세일

링 요트의 리그류와 로프간의 상호 간섭에 대한 영향을 파악하였다.

쌍동형 요트 해상시운전 속력시험결과로 해상에 대한 뷰포트 등급(Beaufort Grade)이 4등급에 해당되는 해상 풍속 10.69~15.36 knot일 경우에 쌍동형 훈련용 세일링요트는 평균속도는 14.17 knot이며, 최고속도는 15.72 knot가 되는 것을 예측결과를 통해서 알 수 있었다. 이는 해상풍속 대비 우수한 성능을 내는 것을 시운전을 통해 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 해양레저분야의 여러 구조물 중 고기능성 복합재료가 많이 적용되고 있는 아메리카스컵 훈련용 세일링 요트의 선체, 돛대 및 각종 부가물에 대한 설계 및 제작 과정에 대해 기술하였다. 해외에서는 아메리카스컵 훈련용 세일링 요트 설계 및 제작에 대해 많은 경험이 있으나 현재 우리나라의 경우 탄소 섬유를 적용하여 세일링 요트 선체와 돛대 제작에 관련된 경험이 전무하여 본 연구를 수행하는 과정에서 실제 시제품을 설계 및 제작에 많은 노력과 시간이 요구되었다.

이러한 노력과 연구 개발을 통하여 단계적으로 아메리카스컵 훈련용 세일링 요트에 적용되는 복합재 설계를 수행하였으며, 절차에 의해 각종 구조체에 적용되는 성형 공법들을 이용하여 설계와 제작을 수행함으로 성공적으로 시제품을 제작 및 완성할 수 있었다. 시제품의 제작을 통하여 최종적으로 세일링 요트를 시운전을 수행한 결과 탄소섬유강화복합재를 적용한 요트에 대해 강도 확보와 경량화에 의해 높은 세일링 성능을 보여주는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 설계, 생산공법, 시운전으로 이루어지는 전체 세일링 요트 제작 과정은 탄소 복합재를 적용하는 다른 선박 개발에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소기업 기술혁신개발사업 미래선도과제에서 지원하고 있는 '20ft급 세일링 요트용 복합소재 마스트 개발(과제번호: S2049851)' 과제와 2014년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2011-0030013)을 받아 수행되어졌으며, 지원에 대해 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Barbero, E.J., Introduction to Composite Materials Design, CRC Press, Florida, USA, 2011.
2. Greene, E., Marine Composites, Eric Greene Associates, Inc., Maryland, USA, 1999.
3. Seo, H.S., Han, J.W., Kwon, Y.W., and Jang, H.Y., "Investigation of Tensile Strength of Aramid Specimens subjected to Salt Water," *Proceeding of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Symposium*, Jeju Convention Center, Korea, May. 2013, pp. 1922-1944.
4. Mourad, A.H.I., Beckry, M.A.M., Tamer, E.M., and Gramin, M.E., "Effect of Seawater and Warm Environment on Glass/Epoxy and Glass/Polyurethane Composites," *Applied Composite Materials*, Vol. 17, No. 5, 2010, pp. 557-573.
5. Merah, N., Nizamuddin, S., Khan, Z., Al-Sulaiman, F., and Mehdi, M., "Effect of Harsh Weather and Seawater on Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite," *Applied Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 29, No. 3, 2010, pp. 3104-3110.
6. Jang, H.Y., Park, C.H., Cho, J.H., Kwon, Y.W., Seo, H.S., and Brett, B.W., "An Investigation for Optimum Shape Design and Manufacturing Method of 33feet Class America's Cup Training Catamaran Yacht Applied to CFRP," *Proceeding of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Symposium*, Jeju Convention Center, Korea, May. 2013, pp. 1912-1914.
7. Ojeda, R., Prusty, G., and Salas, M., "Finite Element Investigation on the Static Response of a Composite Catamaran under Slamming Loads," *Ocean Engineering*, Vol. 31, No. 7, 2004, pp. 901-929.
8. Yakimoff, P., "State-of-Art Computer Simulation for Structural Analysis of High Speed Catamaran," *Proceeding of the 4th Fast Sea Transportation*, Sydney, Australia, July. 1997, pp. 107-114.
9. Moris, J.A., "A Three Dimensional Structural Analysis of a Large Wave piercing Catamaran Design," *Proceeding of IMAS91 High Speed Marine Transportation*, Sydney, Australia, Nov. 1991, pp. 89.
10. Park, C.H., Jang, H.Y., Jeong, J.W., Lee, B.S., and Chun, H.H., "A Study on the Ship Resistance and Moment Prediction for Running Attitude of 30 Feet Catamaran Sailing Yacht," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 47, No. 3, 2010, pp. 321-327.
11. Jang, H.Y., Park, C.H., Kim, H.W., Lee, B.S., and Lee, I.W., "A Study on the Sail Force Prediction Method for Hull Hydrodynamic Force Measurement of 30Feet Catamaran Sailing Yacht," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 47, No. 4, 2010, pp. 477-483.
12. Seo, H.S., Kwon, Y.W., Jang, H.Y., and Oh, D.K., "Investigation of Design of Carbon Mast for Sailing Yacht," *Proceeding of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Symposium*, Jeju Convention Center, Korea, May. 2013, pp. 1919-1921.
13. Ahn, H.S., and Yoo, J.H., "Hull Form Development of Sailing Yacht with Sails and Appendages," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 30, No. 1, 2010, pp. 109-115.