한국마린엔지니어링학회지 제30권, 제1호, pp. 109~115, 2006. 1 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

세일링 요트의 선형 및 부가물 개발에 관한 연구

안해성† · 유재훈*

(원고접수일 : 2005년 8월 17일, 심사완료일 : 2005년 10월 4일)

Hull Form Development of Sailing Yacht with Sails and Appendages

Hae-Seong Ahn† · Jae-Hoon Yoo*

Abstract : An overview of 30 feet sailing yacht design is presented, with an emphasis on the factors contributing to start-up popularization. After prescribing the configurations of the purposed yacht, the design of the hull form with a rudder and a keel, are schematically described. Also the determinations of the dimensions of the sail and rig are performed.

Key words : Sailing yacht(요트), Hull form(선형), Resistance(저항), Sail(돛), CE(풍압중심), CLR(횡저항중심), Design spiral (설계순환)

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다인 반도국으로 세계 1위의 조선 산업 기술력과 기반(infra)을 갖추고 있으며 선박 관련 산업도 발달하여 해양 레저용 선박의 개발 및 건조를 위한 최적의 기술적 환경도 가지고 있다. 그러나 국내 레저 선박 시장은 아직 초기 단계로서 레저 선박과 관련 기술의 수요가 확실하지 않아 레저 선박의 연구개발이 거의 도외시되고 있으며 레저 산업과 레저 선박 관련기술 수준도 선진국에 비하여 매우 낙후되어 있는 실정이다. 향후 국민 소득의 증가에 따라 국내의 해양 레저와 관련 산업이 고부가가치 해양 산업의 근간이 될 수 있으나 현재 국내의 중소형 조선소는 영세하며 자체적인 기술력을 확보하고 있지 못하여 정부 차원의 지원을 통하여 레저선박 관련 핵심기반 기술을 개발하는 것이 필요한 상황이다. 대형 선박의 주요 핵심기술인 선형설계 기술, 추진기 기술, 유체성능해석 기술, 의장기술 등이 레저선박의 주요 핵심기술과 공통되는 점을 고려하면 세계 최고의 수준에 도달한 대형 선박 관련 기술과 관련 연구 성과, 연구시설 및 연구 인력을 충분히 활용하여 체계적이며 지속적인 연구개발을 수행한다면 레저 선박 개발 및 관련 기술의 국산화가 충분히 가능할 것으로 예상된다. 이러한 여러 상황에서 본 연구에서는 본격적인 실용화를 목적으로 선정된 30피트급 요트의 개발을 위하여 주요 제원의 선정, 선형 도출에서부터 각종 부가물의 설계를 수행하였으며, 이에 대한 결과를 수록하였다.

† 책임저자(한국해양연구원 해양시스템안전연구소), E-mail : hsahn@moeri.re.kr, Tel : 042)868-7243
* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

2. 개발목표

본 연구에서 개발하고자 하는 요트의 개략적인 성능 목표를 정리하면 다음과 같다.

가. 전체 길이: 보급 가격이 비교적 저렴하면서도 거주부 성능 등이 충분히 갖추어 질 수 있는 30피트(9.14m) 내외로 선정한다.

나. 요트의 종류: 중량 킬 (Ballast Keel)을 장착한 슬루프형(Sloop)을 채택한다.

다. 항해성능 및 승정원: 4~6인이 탑승하여 연해와 근해를 항해할 수 있으며, 최고 선속은 6~8노트의 수준의 설계가 되도록 한다.

라. 범용 호환성: 경주가 가능한 크루저급 요트로서, 경주용으로도 운영이 가능한 선형 및 세일, Rig를 선택하고, 이후 경주를 위한 중량의 조절이 가능하도록 한다.

마. 주요성능 및 설계방향:

① 최근 경향중의 하나인 풍하 가닥에서 최적 선속을 가지는 선형.

② 메인세일과 집세일 외에 풍하 가닥용으로 비교적 사용이 용이한 비대칭 스피네이커 장착.

③ 선미 형상은 역경사 형태를 채택하여 중량을 최소화하면서도 선미 배수량을 확보하도록 함.

④ Rig는 경주를 고려하여 Fractional Rig를 사용하고, Twin Spreader를 채택.

⑤ Keel은 전체 배수량의 40%내의 중량비를 갖고, 종횡비(Aspect Ratio)가 비교적 큰 형태로 한다.

⑥ 엔진은 설치 및 조작, 그리고 유지 보수가 간편한 Sail Drive를 채택하고, 평수 상태에서 엔진만으로 선체를 6노트 정도로 추진할 수 있는 마력을 선택.

⑦ 러더는 저렴한 비용으로 부착 가능한 틸러식을 사용하나, 휠 형식의 조종 장치도 장착할 수 있도록 선미 트랜섬 후단에 부착하지 않고 선저를 관통하는 형태를 채택하도록 함.

이러한 제반 사항을 바탕으로 개발 목표 대상인 30피트급 세일링 요트를 개발에 착수하였으며, 원활한 설계 작업을 위하여 독자적으로 개량된 Fig. 1과 같은 설계 순환(Design Spiral)프로그램을 구성하였다. 본 설계 순환 프로그램은 전체적인 순환계와 두개의 단계별 순환으로 구성하여 전체 개발 소요 시간을 줄이고도 효율을 올리는 방법으로 되어있다.

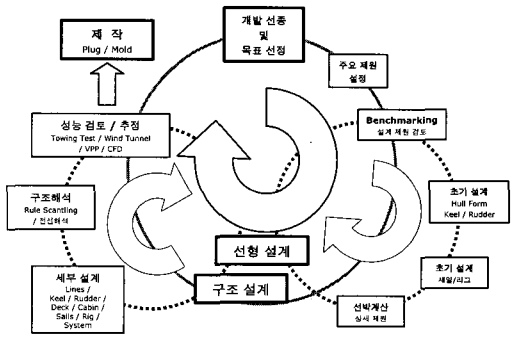

Fig. 1 Modified design spiral

3. 선형 개발

3.1 모선(Parent Ship)의 선정

앞에서 언급되어진 목표 사양 및 성능에 충분히 만족할 수 있는 선형은 일반인이 세일링하는 경우를 염두에 두어 거주부의 특성을 최대한 편리하고도 여유 있게 배치하고, 전체적인 배의 운용이 쉬워야 하며, 파랑 중 안정성 및 항해 안전성이 비교적 우수하고도, 기본적인 성능이 희생되어지지 않도록 해야 한다. 또한 전체 길이에 대한 세일 면적이 크지 않으면서도 최고 선속이 비교적 우수하여 경주에서도 크게 뒤떨어지지 않도록 해야 하며, 최종적으로는 최종 소비자들에게 경제적으로 보급이 가능하도록 생산 및 부품들의 원가가 저렴하게 이루어질 수 있도록 아래와 같은 조건을 모선 선택의 기준으로 제시하여 조사하였다.

가. 전체 길이에 비해 선폭이 비교적 크고,

나. 최대 선폭의 위치가 선미 쪽에 가깝고,

다. 선형의 모양이 전반적으로 단순하며,

라. 조종석과 거주부 공간을 충분히 확보할 수 있는 건현과 플레어를 가지고 있고,

마. 세일 면적과 Rig의 제원을 수정함으로써 선속을 쉽게 증가시킬 수 있는 비교적 가벼운 중량을 가진 천홀수 선형

바. 초보자를 포함한 일반인도 쉽게 운항이 가능한 시스템과 부가물을 설계하도록 함.

Fig. 2는 이러한 기준에 적합하다고 판단되어 선택된 모선의 모습이다. 2004년 MDY'04에 소개되어진 "Mini 6.5"라는 이름의 요트이며, 주요 제원으로, 전장(6.5m), 폭(3.0m), 흘수(2m), 배수량(1.05톤), 발라스트(0.42톤), 메인세일(폭 3.6m, 높이 9.9m) 집세일(폭 2.9m, 높이 10.4m), 총 세일 면적(40.4m2)이다. 선폭 최대점이 선미로부터 수선장의 30%에 위치하고, 경량 구조로 되어 있어 대표적인 천흘수(Shallow draft), 광폭(Wide beam) 선형의 특징을 가지는 경주용 선형이다.

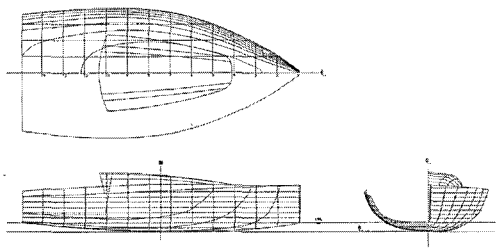

Fig. 2 Lines of parent ship

3.2 유사 비교선

모선의 선택과 함께 개발 선형의 구체적인 제원 도출을 위하여 30피트 내외의 전장을 가지는 유사 선들을 조사하였다. Table 1에는 그 중 대표적인 유사 선종에 대한 값들을 수록하였다.

Table 1 *Comparison of dimensions*

Dimension	unit	Yacht in comparison		
		Columbia30	Auklet9	Yamaha30
Loa	*m*	*9.14*	*9.00*	*9.50*
B	*m*	*2.90*	*3.22*	*3.24*
T	*m*	*2.13*	*1.85*	*1.88*
Δ	*tons*	*1.54*	*2.77*	*3.15*
Ballast	*tons*	*0.64*	*1.17*	*1.18*
I	*m*	*9.45*	*11.50*	*11.40*
J	*m*	*4.42*	*3.40*	*3.37*
P	*m*	*11.28*	*12.00*	*11.90*
E	*m*	*3.43*	*4.20*	*4.33*
S_A	m^2	*40.23*	*44.75*	*44.94*

유사 선종들의 제원들에 대한 평균 수준의 값들을 정리하면 아래와 같다.

(1) 최대 선폭: 3m 내외
(2) 흘수(킬 포함): 1.8~1.9m
(3) 배수톤수: 3톤 내외
(4) 킬의 무게(Ballast): 1톤 내외
(5) 메인세일: 높이 11~12m, 밑폭 4.0m 내외
(6) 집세일: 높이 11m 내외, 밑폭 3.8m 내외
(7) 세일 면적: 40~45㎡

개발되어질 선형에 대한 기본 제원은 상기 범위에서 크게 벗어나지 않는 조건으로 설계하도록 하며, 이러한 주요 제원 및 목표하는 성능을 바탕으로 모선(Parent Ship)을 선택하였다.

3.3 선형(Hull Form)의 도출

모선의 선형으로부터 제원 변경 및 형상 변형에 의하여 원하는 선형을 도출하였으며, 구체적인 내용으로 다음과 같이 개략적인 설명을 수록한다.

(1) 프로파일(Profile)의 형성 : 선수 프로파일은 모선의 것을 큰 변화 없이 사용하였다. 선수부 수면 가름부의 위치를 설계 흘수를 기준으로 흘수 상단(0.4WL)을 기준 접선으로 선정하고, 선수 입사부를 높이 방향으로는 수직하게 만들어 (구축함형 선수부), 횡경사 상태에서도 수선장이 손실되지 않게 하였다 (Killing, 1998). 기존의 모선은 선미 프로파일에 오버행(Overhang)이 존재하지 않아 파랑 중 종동요(Pitching Motion)에 대한 제어력이 약하므로, 수선장의 10% 정도의 길이를 갖는 오버행을 추가시켰다. 그러나 이러한 길이 연장은 선체 총 중량의 증가를 초래하므로 선미 트랜섬에 각도를 주어 중량의 증가를 방지하고, 또한 선미부 조종석(Cockpit) 후미에 선원 구출 및 작업 등에 사용되는 로워데크(Lower Deck)를 배치하였다. 전체적인 선형이 선미부가 넓고 뚱뚱한 형태로서 종방향부력중심의 위치(LCB)가 선미 쪽으로 과도하게 위치할 수 있으므로, 선미부 프로파일의 각도를 키워 선미 쪽 배수량을 줄여주도록 하였다.

(2) 프레임 라인 (Frame Line): 전체적인 프레임 라인은 기존의 모선과 같이 U자형을 가지도

록 하였으며, 선수부 흘수선 아래의 프레임 라인은 모선보다 플레어(Flare)를 벌려주었다. 이러한 플레어의 형성은 선미부가 비교적 뚱뚱한 선형의 경우 횡경사가 발생하게 되면 과도한 선수 트림을 유발하게 되므로 이를 억제할 수 있는 보조적인 역할을 하게 된다. 선미부를 포함한 전체적인 프레임 라인의 형상은 모선보다는 좀더 원형에 가깝도록 설계하여 횡경사(Heel) 상태에도 원활한 수선면을 갖도록 유도하고, 횡경사 각도의 변화에 따라서 급격한 복원력의 변화가 생기지 않도록 하여 항주 중에 승정원들이 느끼게 되는 급격한 힐의 변화가 나타나지 않을 수 있도록 설계하였다.

(3) 각종 선형 계수의 조절: 초기 설계 단계에서 추정된 총 톤수를 바탕으로, 흘수 0.4m에 대하여 배수량이 3.3톤이 되도록 하였다. 선형의 최대폭은 7번 스테이션에 두었으며, 선형 계수 중에 LCB의 값은 되도록 중앙부에서 크게 벗어나지 않도록 하였으며, 횡경사가 되어도 급격한 LCB의 변화가 생기지 않도록 하였다. 개발되어진 선형의 개략적인 모습은 Fig.3 과 같다.

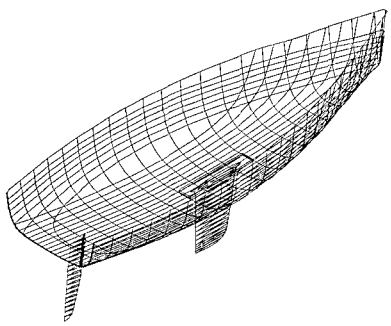

Fig. 3 Designed hull form

4. 선박 계산

4.1 기본 선박 계산

선형의 개발부터 기본적인 선박 계산은 모두 일반 상선용으로 사용하는 HCAD 프로그램을 사용하였다. 선형의 전장은 9.14m이며, 최대 폭은 3m로서, 계산되어진 각종 선형 계수들은 Table 2에 정리하였다. 선형 설계를 위한 기본 입력 자료인 선체를 포함한 각종 탑재물의 중량은 초기 설계 단계에서 최소~최대값의 범위를 산정하였으며, LCG, VCG의 값들도 일정한 범위를 허용하며 추정하였다. 선체의 중량은 FRP를 성형하는 적층 재료를 바탕으로 추정되어졌다. 추정되어진 선체의 총 중량은 큰 오차범위에서는 2.9~3.6톤으로 얻어졌으며, 이를 바탕으로 선형의 배수량 및 흘수를 산정하였다.

Table 2 Hydrostatics of designed hull

parameter	value	parameter	value
Loa	9.14 m	C_W	0.537
Lwl	8.25 m	C_P	0.592
B max	3.02 m	C_M	0.523
Draft	0.4 m	KB	0.255 m
Disp.	3.3 m3	KM	1.878 m
Mass	3.4 ton	LCF	-0.365 m
WSA	15.5 m2	TPC	0.146 ton
LCB	-0.54%	MTC	0.037 ton-m

4.2 횡경사 상태의 계산

요트에 있어서 횡경사는 대부분의 범주 시에 나타나는 일반적인 자세이다. 특히 바람이 불어오는 쪽으로 거슬러 올라가는 경우에는 횡경사가 심해져 30도 이상의 경우도 흔하게 발생하게 된다. 따라서 요트의 선형 설계에는 횡경사 상태에서의 선형을 포함한 각종 선형 계수들을 검토하여야 하며, Fig. 4에는 횡경사에 따른 LCB의 변화를 그 예로 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 작은 횡경사 각도에서는 LCB의 변화가 비교적 완만한 것을 확인할 수 있다.

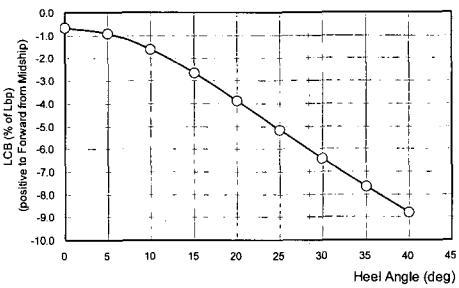

Fig. 4 LCB variation due to heel

4.3 복원 성능 계산

요트에 있어서 복원 성능은 매우 중요한 설계 요소 중 하나이며, 복원 안정성 자체의 확보뿐만 아니라, 바람을 받아 발생하게 되는 횡경사의 경향을 보여준다는 점에서 각도 변화에 따른 복원력의 변화를 어느 정도로 구성하는가도 설계 대상 중의 하나가 된다. 본 연구에서는 횡경사 각이 작은 상태에서는 비교적 복원력의 증가를 더디게 하여 비교적 민감한 횡경사 추이를 갖도록 하고, 20도 이상의 큰 각도에서는 큰 복원력을 가지도록 하여 승정원들이 안정감을 느끼도록 선형의 프레임 라인의 설계 시에 플레어에 대한 조절을 하였다. Fig. 5에는 이러한 복원력의 변화를 일반적인 Righting Moment Arm(GZ)으로 표시하여 나타내었다.

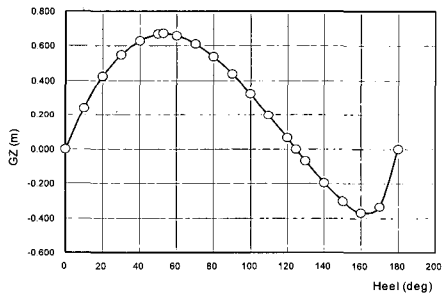

Fig. 5 Righting moment arm (GZ)

5. 세일 및 Rig의 설계

세일 제원은 최종적으로 VPP(유재훈, 2005)를 수행하고, 또한 경주를 위한 Rating산정을 통해 결정되어야 한다. 초기 설계 단계에서는 세일의 배치를 검토하고, 유사선들과의 비교를 통해 세일의 크기가 어느 정도 수준인지를 검토하여 Table 3과 같이 결정하였다. 마스트는 스테이션 11에 위치시켰으며, Rig는 두개의 스프레더가 달린 Fractional Rig(7/8)를 채택하였다. 또한 세일과 Rig의 제원이 결정되면, 첫 번째 단계로 세일에 작용하는 풍력 중심(CE, center of effort) 위치를 산정하여야 한다. 본 연구에서는 초기 설계 단계에서 간단히 찾을 수 있는 방법으로 세일면의 도심을 CE로 간주하였으며, FP로부터 3.7m에 위치하는 것으로 얻어졌다.

Table 3 Dimensions of designed sails

item	value	remark
I	*11.00 m*	height of the upper end of the forestay above the sheer
J	*3.50 m*	horizontal distance from the forestay at the sheer to the forward side of mast
P	*11.90 m*	height of mainsail hoist
E	*4.2 m*	after side of mast to boom end or mainsail clew limit band on the boo
SL	*11.0 m*	luff length of gennaker
SMW	*6.3 m*	max width of gennaker

6. 킬과 러더의 설계

6.1 킬(Keel)의 설계

선체의 전체 중량에 대해서 35%~40%의 중량을 갖는 킬을 설계하였다. 킬의 단면 형상은 층류 영역에서 비교적 저항이 작은 NACA63-009를 선택하였으며, 목표하는 중량을 만족시키기 위해서 두께비(t/c)를 15%로 증가시켰다. Keel의 전체 높이는 선저를 기준으로 1.5m이며, 뿌리(root)의 코드길이는 1.1m, 날개면 끝(tip)의 코드길이는 0.8m 이다. 설계된 킬의 횡투영 면적은 약 $1.42m^2$ 으로서 세일 면적의 약 3.2%에 해당한다. Fig. 6에는 설계되어진 킬의 모습을 보였다.

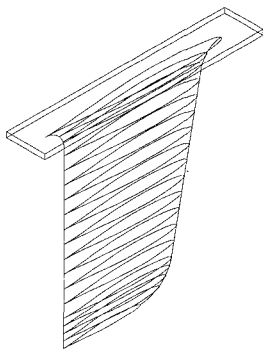

Fig. 6 Designed keel

6.2 킬의 배치

킬의 위치는 킬에 의해 변화될 수 있는 수면 아래 유체력의 중심점을 어떻게 배치할 것인가에 의해 결정되어진다. 즉, 횡저항중심(CLR)의 위치를 설계하게 된다. CLR은 횡경사가 되면 선수 쪽으로 이동하는 특성을 갖게 되며, 세일에서는 풍속이 커지면 세일 캠버가 커지고, 최대 캠버의 위치가 후퇴하여 CE의 위치는 선미 방향으로 후퇴하게 된다. 이러한 짝힘의 발생은 배를 바람이 불어오는 쪽으로 선회 시키는 Weather Helm의 원인이 된다. 따라서 부가물의 설계와 배치, 마스트의 배치에는 이러한 경향을 미리 반영하는 것이 필요하게 된다. 이를 Lead라 부르며, 초기 설계 단계에서는 종횡비가 크고 깊은 킬을 부착한 경우에 Fractional Rig라면 3~7%의 Lead를 주는 것이 보통이다 (Larsson, 2000). CLR의 위치는 킬을 포함한 흘수의 45% 깊이에 코드 길이의 25%에 해당하는 위치로 산정하였다. 본 설계의 경우에는 먼저 마스트의 위치는 12번 스테이션에 고정시키고, Lead를 적용하여, FP로부터 3.8m가 되는 위치에 킬 뿌리의 전단이 놓이도록 배치하였다. 이는 최대 450mm(수선장의 5.5%)의 Lead를 갖는 위치가 된다. Fig. 7 에는 산정되어진 CE, CLR의 위치와 Lead를 표시하였다.

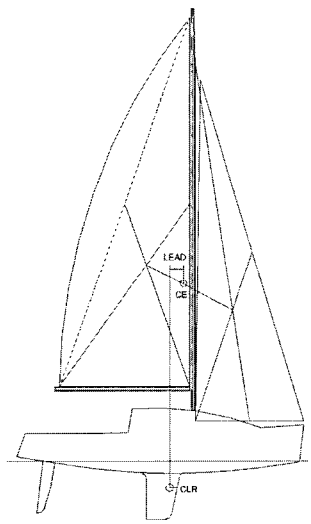

Fig. 7 Locations of CE, CLR and lead

6.3 러더의 설계 및 배치

러더의 설계는 우선 면적에 대한 설계로 시작하였다. 설계되어진 선형 자체가 비교적 광폭의 특성을 가지며, 이에 따라 풍속이 커짐에 따라 횡경사가 커지면 선체의 풍상쪽 바닥면이 드러날 수 있는 선형이므로 러더의 형태는 코드길이가 작고 깊이가 큰 쪽으로 설계하였다. 평균적인 동급의 선종들이 세일 총면적에 대하여 약 1.4% 정도의 러더 면적을 가지고 있으며, 이 치수는 킬의 면적은 줄어드는데 반해 조금씩 큰 값을 가지는 것이 대체적인 설계 경향이다. 본 설계에서는 러더의 깊이를 1.7m로 선정하였으며, 이에 따라 코드길이를 뿌리(root)에서 0.4m, 날개면 끝단에서 0.03m을 가지도록 하였다. 25% 코드길이에 해당하는 라인의 깊이 방향 변화를 처음에는 선수 쪽으로 기울다가 곧 후퇴하는 완만한 곡선이 되도록 하였으며, 날개면의 단면모양은 NACA 0012를 채택하였다. Fig.8은 설계되어진 러더의 모습이다. 러더의 위치는 트랜섬 끝단으로부터 0.92m 위치에 러더 스톡이 위치하게 된다. 이러한 배치는 러더 스톡이 선저를 관통하여 조종석 위치까지 올라오게 되며, 스톡에 틸러를 직접 부착하거나, Wheel 형태의 Steering Gear를 장착할 수 있다.

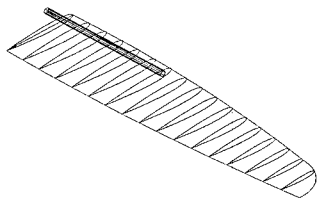

Fig. 8 Designed rudder

8. 결 론

본 연구에서는 30피트급 세일링 요트에 대한 본격적인 설계와 성능 추정을 수행하였다. 일반 상선과는 달리 요트의 항주자세는 매우 특이하므로 이에 대한 고려가 설계 초기부터 충분히 검토되어야 한다. 특히 세일과 킬에 대한 설계와 배치는 요트가 가지는 독특한 유체역학적 특성을 고려하였다. 본 연구에서의 개발 요트는 보급이 주 목적으로서,

요트의 주요 사양과 주요 제원의 선정, 선형 도출에서부터 각종 부가물의 설계에 항해 용이성과 거주부 공간 확보 등 보급의 개념에 충실하게 수행되어졌다. 앞으로 VPP 및 CFD 계산을 통하여 본 선형의 성능을 평가하고, 예인 수조에서의 모형 시험과 풍동을 이용한 세일에 대한 시험 등을 통하여 정량적인 해석도 수행할 계획이다.

참고문헌

[1] Killing, S., 1998, Yacht Design Explained, W. W. Norton & Company.

[2] Larsson, L. and Eliasson, R.E., 2000, Principles of Yacht Design, International Marine of McGraw-Hill.

[3] Oossanen, P.V., 1993, "Predicting the Speed of Sailing Yacht," SNAME Trans., Vol. 101, pp. 337~397.

[4] 유재훈 등, 2005,"30피트급 요트의 선형개발 및 성능추정,"대한조선학회 논문집 제42권 1호, pp. 34-42.

저 자 소 개

안해성 (안해성)

1969년 4월생, 2003년 2월 서울대학교 조선해양공학과 박사, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양운송안전본부.

※ 관심분야 : 예인수조모형시험, 선박설계 및 유동해석, 레저선박 설계

유재훈 (유재훈)

1964년 3월생, 1996년 2월 서울대학교 조선해양공학과 박사, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양운송안전본부.

※ 관심분야 : 예인수조모형시험, 선박설계 및 유동해석, 세일링요트 및 레저선박 설계