

30ft급 쌍동형 세일링 요트의 항주자세에 따른 실선저항 및 모멘트 추정에 대한 연구

박충환*, 장호윤†*, 정진욱*, 이병성*, 전호환**

중소조선연구원 해양레저장비개발센터*
부산대학교 첨단조선공학연구센터**

A Study on the Ship Resistance and Moment Prediction for Running Attitude
of 30 Feet Catamaran Sailing Yacht

Chung Hwan Park*, Ho Yun Jang†*, Jin Wook Jeong*,
Byung Sung Lee* and Ho Hwan Chun**

Marine Leisure Equipment Center, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding*
Advanced Ship Engineering Research Center, Pusan National University**

Abstract

During sailing by wind-driven thrust on the sail, a catamaran sailing yacht generates leeway and heeling. For estimating resistance and moment prediction of a real ship by changing of running attitude, a model test of the ship has to be carried out. This study aims at establishing experimental techniques for a catamaran sailing yacht by changed attitude during running direction. Through the model test, drag and side force of the real ship are predicted. Also through experiment, rolling and yawing moments were considered

※Keywords: Catamaran Sailing Yacht(쌍동형 세일링 요트), Model Test(모형시험), Resistance Prediction(저항추정), Running Attitude(항주자세), Hull Form Design(선형설계)

1. 서론

최근 우리나라는 주 5일 근무제의 확산과 국민 소득의 증가로 여가수요가 증대하면서 해양레저에 관한 관심이 가일층 고조되고 있다. 이에 연안지방

자치단체에서는 요트계류장 건설을 비롯하여 각종 경기대회 개최 등을 통해 관련 시설구축과 산업 육성에 박차를 가하고 있다.(Park, 2008) 또한 해양레저의 활성화를 위한 쌍동형 세일링 요트는 국내 보급을 위해 개발되어지고 있다.

본 연구는 외국의 쌍동형 세일링 요트의 다수를 차지하고 있는 선형의 실측선 조사를 통하여 선형 개발된 30feet급 쌍동형 세일링 요트의 유체동역학적인 특성을 해양레저수조를 통해서 성능을 검증하였다.

접수일: 2010년 3월 3일, 승인일: 2010년 3월 25일

† 교신저자, hyjang@rims.re.kr, 051-974-5581

쌍동형 세일링 요트는 단동형 세일링 요트와 마찬가지로 정상적인 항주시 사향(leeway)을 가지고 있어 유동장이 좌우 비대칭적이다. 또한 세일이 바람을 받게 되면 횡경사(heel)가 발생하는데, 부력에 의한 복원 Moment와 세일과 킬에 의한 Heeling Moment가 밸런스를 이루는 각도까지 횡경사가 일어나게 된다.(Jung 2003, Norman and Maynard, Steve and Doug 1998) 따라서 풍력에 의한 사향과 횡경사로 인하여 실선에서의 저항을 추정하는 방법과 세일의 저항력을 추정하는데 어려움을 수반하게 된다.

본 연구에는 중소조선연구원(RIMS)에서 개발한 30feet급 쌍동형 세일링 요트를 대상으로 쌍동형 세일링 요트의 사향과 횡경사가 발생 시 항주 자세 변화에 대한 구속예인장치를 개선(Sim et al. 2006)하여 적용한 후, 이를 통해 사향과 횡경사 시의 예인시험으로 얻어진 정방향의 합력을 통해서 쌍동형 세일링 요트의 실선에서의 유효마력을 추정하는 것에 대하여 제안하였다.

2. 시험대상 및 시험조건

시험 대상인 쌍동형 세일링 요트의 선체의 형상은 Fig. 1에 보인 바와 같으며, 선박계산 프로그램을 이용하여 정수 중 횡경사가 없는 상태에서의 주요 제원을 Table 1에 정리 하였다. 또한 선체형상을 기준으로 하여 유사 실측선의 주요제원과 성능을 검토한 후 설계속도(design speed)는 9knot로 정하였다. 모형선 축척비는 10으로 정하고 FRP재질을 이용하여 제작하였으며 푸르드수(Fr)는 0.494이고 예인 속도는 1.464m/s로 모형 실험을 수행하였다.

선체에 유체력을 측정하기 위해서 4분력계(4-

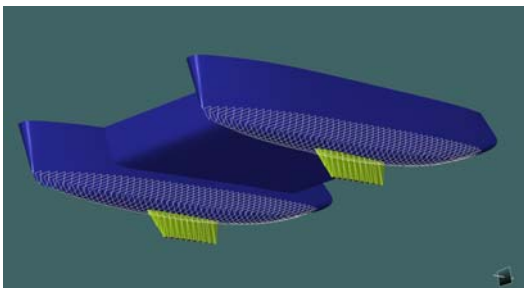


Fig. 1 Schematic view of test yacht

component load cell)를 돛대(mast) 위치에 부착하였다. 4분력계와 함께 기계적인 장치를 이용하여 선체의 종방향에 상하운동(heave)과 종동요운동(pitch)을 자유롭게 만들었고 횡경사각(Heel angle)은 각도마다 구속할 수 있는 장치를 개발하여 적용하였다. 또한 사향각(leeway angle)은 예인전차 위의 회전 테이블을 이용하여 각도를 변경시켜 실험을 수행하였다. 요약하면, 선체 종방향의 상하운동과 종동요운동을 자유롭게 만든 후 실험 조건에 맞추어 사향각과 횡경사각을 조절 한 후 구속시켜 설계속도로 예인하며 선체의 길이 방향의 힘(Fx), 횡방향의 힘(Fy), 돛대에서의 Yawing Moment(Mz)와 Rolling Moment(Mx)를 계측하였다. 계측력의 방향은 Fig. 2에 도시하였다.

단동형 세일링 요트일 경우에는 Side Force는 주로 Keel에 의한 양력이라고 볼 수 있다.(Yoo and Ahn 2005) 반면 쌍동형 세일링 요트일 경우에는 Keel에 의한 영향이 단동형 일 때보다는 적으므로 유체력 실험 시에 Keel에 의한 조건은 따로 고려하지 않고 선체에 포함하여 실험을 수행하였다. 또한

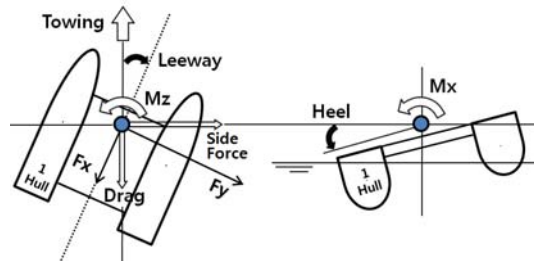


Fig. 2 Co-ordinate system

Table 1 Main particulars of yacht

Designation	Symbol (unit)	Ship	
		Value	
Length bet. perpendiculars	LPP(m)	9.50	
Length of waterline	LWL(m)	8.97	
Breadth	B(m)	5.86	
Depth	D(m)	2.045	
Draft	Forward	DF(m)	1.03
	Aft	DA(m)	1.03
Wetted Surface Area	WSA(m ²)	29.57	
Wetted Keel Area	WKA(m ²)	2.012	
LCB	LCB(m)	4.76	

실선의 저항 추정을 위해 횡경사각이 발생 시에는 침수 표면적(wetted Surface Area), 수선길이(length of waterline) 그리고 흘수(draft)가 달라지는 점을 감안하여 복원성 계산을 통해서 횡경사가 발생 시에 동일 배수량(displacement) 일 때의 횡경사각에 따른 침수표면적, 수선길이 그리고 흘수를 수치적으로 계산하였고 Table 2에 나타내었다. 구속된 횡경사각에서 사향각이 바뀔 때 배수량이 동일하므로 침수표면적과 흘수가 동일하게 된다.

세일링 요트가 풍상향과 풍하향 시에 양력과 풍력으로 범주를 하게 된다. 따라서 돛대를 중심으로, 횡경사로 인해 잠기는 반대 방향으로 사향이 발생하거나 사향이 생기는 반대 방향으로 횡경사가 잠기게 된다. 복원성 계산과 세일에 의해서 항주하는 자세를 고려하여 사향각과 횡경사각을 결정하였다. 사향각은 0, 2, 6, 10, 14도로 설정하고 횡경사각은 0, 2, 4, 7, 10도로 설정하여 총 25case로 실험을 수행하였다. 사향각과 횡경사각을 조절 후 항주 시의 모습을 Fig. 3에 도시하였다. 또한 복원성 계산을 위해서 본 연구에는 Maxsurf

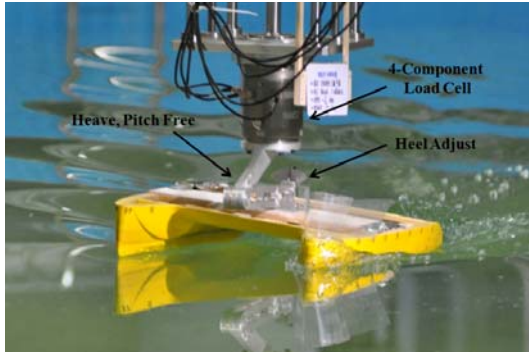


Fig. 3 Schematic view of test yacht

Table 2 Particulars with heel angle

Symbol (unit)	Ship				
	Heel Angle(deg.)				
	0	2	4	7	10
DIS(ton)	6.075	6.075	6.075	6.075	6.075
LWL(m)	8.970	9.252	9.376	9.362	9.356
WPA(m ²)	16.359	16.268	16.012	14.651	10.697
WSA(m ²)	28.622	28.544	28.310	27.147	23.639
DF(m)	1.030	1.027	1.019	0.994	0.934
DA(m)	1.030	1.027	1.019	0.994	0.934

프로그램이 사용되었다. 복원성 계산 시의 그림은 Fig 4 ~ 8에 도시하였다.

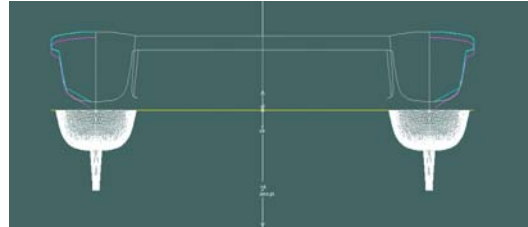


Fig. 4 Hull section with heel 0 deg.

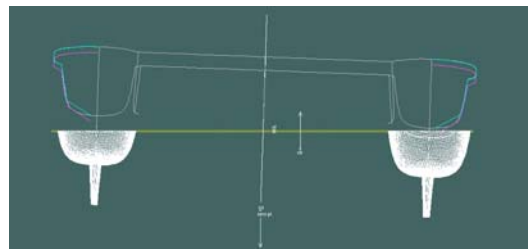


Fig. 5 Hull section with heel 2 deg.

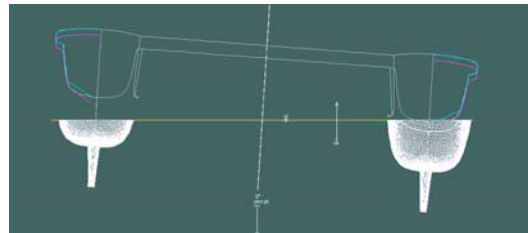


Fig. 6 Hull section with heel 4 deg.



Fig. 7 Hull section with heel 7 deg.

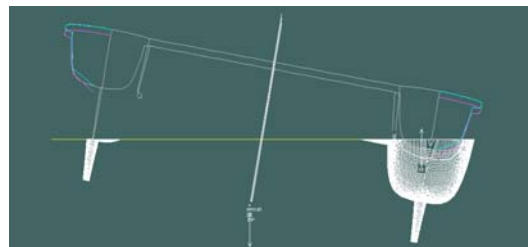


Fig. 8 Hull section with heel 10 deg.

3. 시험결과 고찰

3.1 사향과 횡경사에 의한 저항 변화

쌍동형 세일링 요트의 세일로 범주 시에 사향(Leeway)과 횡경사(Heel)에 따라 발생하는 실선에서의 저항을 추정하기 위해 모형선에서의 사향과 횡경사가 저항에 미치는 영향을 조사하였다. 설계 속도에 해당하는 선속 9knot에서 사향각(Leeway Angle)과 횡경사각(Heel Angle)을 변화시키면서 모형선을 예인하였다. 모형선에 걸리는 길이방향(Fx), 횡방향 힘(Fy), Yawing Moment(Mz)와 Rolling Moment(Mx)를 계측한 후 실선으로의 저항 추정을 위해 모형선의 진행반대방향으로의 힘(Drag)과 횡 방향 힘(Side Force)을 산정하였다.

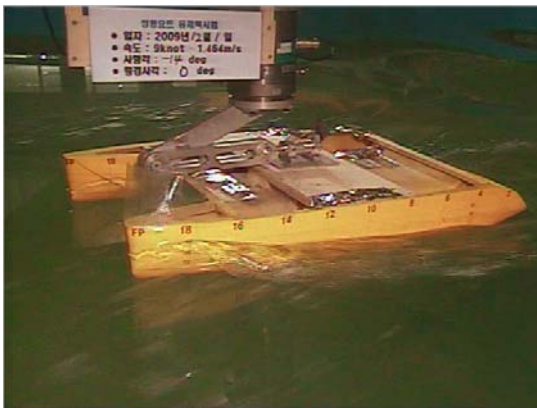


Fig. 9 Running view by heel 0 deg. and yaw 10 deg. with design speed

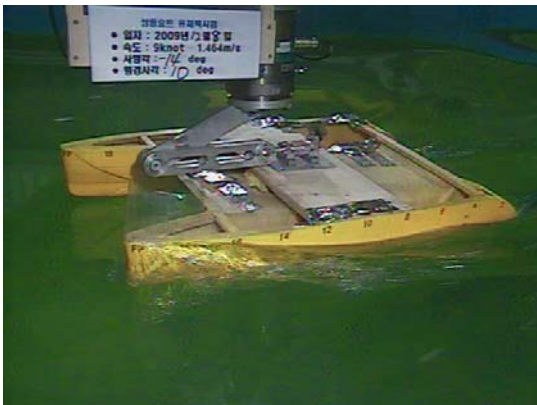


Fig. 10 Running view by heel 10 deg. and yaw 14 deg. with design speed

Yawing Moment는 돛대(mast)의 위치에서 사향각과 횡경사각에 따라 발생하는 Moment를 계측하였고 Rolling Moment는 KG점에서 선체수면 하 측면형상중심인 CLP점(Center of Lateral Plan)까지 발생하는 Moment를 계측하였다. 이 시험에서는 CLP점을 Rolling Moment 유체력의 작용점으로 가정하였다. 또한 쌍동형 세일링 요트가 풍상향과 풍하향 일 때 세일에 의한 양력과 풍력으로 범주 시에 선체의 자세가 변하게 될 때에도 설계 속도로 항주 한다는 것을 가정하였다.

설계 속도로 항주 시에 최대 사향각 14도에서의 횡경사각이 0도 일 때의 상태를 Fig.9에 사진으로 나타내었으며 선형설계 시에 고려된 최대 사향각 14도와 횡경사각 10도 일 때는 Fig.10에 나타내었다. 사진을 통해서 항주자세에 따른 조파현상 및 모형선 주위에 선수를 타고 흐르는 유동의 흐름을 확인 할 수 있다.

모형 시험 결과에 대해 진행반대방향의 힘과 횡방향 힘은 Fig.11에 표시하였다. 쌍동형 세일링 요트 일 경우에는 단동형 세일링 요트와는 달리 동일 배수량 일 경우 횡경사각에 따른 진행반대방향의 힘과 횡방향의 힘이 전체 시험각도에서 유사한 결과를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 쌍동형 일 경우 횡경사각에 의한 영향보다는 사향각의 증가함에 따라 진행반대방향의 힘이 급격하게 증가함을 보이고 있다. 또한 횡방향의 힘에 대한 영향도 크게 증가함을 알 수 있다.

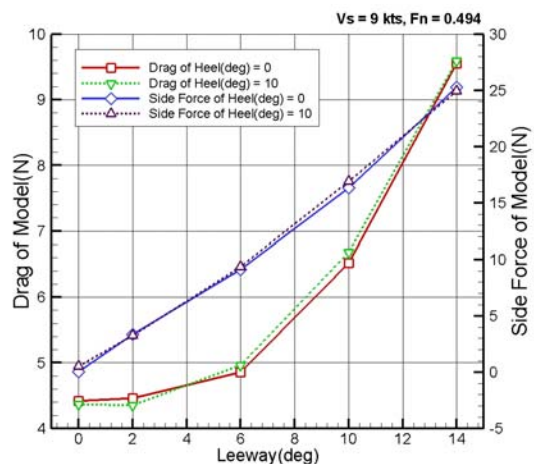


Fig. 11 Change of forces by leeway and heel angle with Model

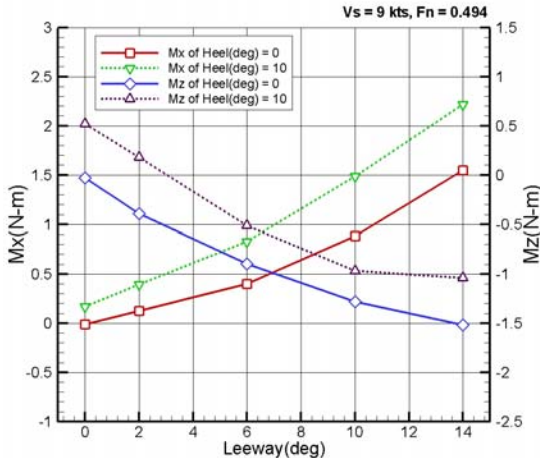


Fig. 12 Change of moments by leeway and heel angle with Model

Fig. 12에는 사향각과 횡경사각의 변화에 따른 돛대 위치에서 발생하는 Rolling Moment(Mx)와 Yawing Moment(Mz)를 나타내었다. 항주 자세에 의해 발생하는 Moment는 횡경사각이 0도 일 때 사향각이 증가 할수록 최대 Yawing Moment(Mz)를 가진다. 또한 사향각이 증가하고 횡경사각이 증가할 때 최대의 Rolling Moment(Mx)를 가짐을 알 수 있다.

결과적으로 항주자세의 따른 횡경사각의 변화는 진행반대방향과 횡방향의 저항 성분에 미치는 영향이 미소하나 Moment 성분에 다소 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 반면 사향각이 변화할 때는 선체의 형상이 커짐으로 인한 진행반대방향에 대한 저항과 횡방향에 대한 저항이 크게 증가된다. 또한 그로 인해 발생하는 Moment에도 많은 영향을 끼친다. 쌍동형 세일링 요트의 선형설계 시에 설계자는 사향각의 변화에 따른 진행반대방향에서 형상의 변화를 고려해서 설계해야 될 것으로 판단이 된다.

3.2 항주자세 변화에 따른 실선 유효 마력 추정

사향각과 횡경사각의 변화에 따라 수행되어진 결과를 바탕으로 선체의 길이 방향의 힘(Fx)와 횡방향의 힘(Fy)을 진행반대방향의 힘(Drag)으로 환산한 후, 이를 이용하여 예인할 때의 진행반대방향의 힘을 저항성분으로 실선의 유효 마력을 추정하였다.

본 시험은 Froude의 상사법칙에 따른 선속으로

수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다. 해석 방법을 요약하면 다음과 같다.

Analysis Method - 1978 ITTC

2-dimensional method

Model-Ship Corr. Line : 1957 ITTC

$$C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A + C_{AA}$$

$$C_A = [105 (k_s / L_{WL})^{1/3} - 0.64] \times 10^{-3}$$

Hull roughness : $k_s = 150 \mu m$

$$C_{AA} = 0.001 \times (A_T / S)$$

C_{TS} : 총저항계수

C_{FS} : 마찰저항계수(ITTC 1957 곡선)

C_R : 잉여저항계수

C_A : 모형선 - 실선상관수정계수 (1978 ITTC 해석법)

C_{AA} : 실선 공기저항계수

A_T : 흘수 위 가로투영면적

S : 침수 표면적

L_{WL} : 수선길이

동일 배수량 일 때 사향각과 횡경사각의 변화 시에 변동되는 흘수, 침수표면적과 수선길이와 환산된 진행반대방향의 힘(Drag)을 적용하여 계속되어지는 모든 각에서의 실선의 저항을 추정하였다. 사향각에 대한 진행반대방향의 수선길이의 변화가 미소함으로 횡경사각에 대한 수선길이의 변화만 고려하였다. 세일링 요트의 풍향항 범주 시의 경우는 바람을 등지고 범주하므로 선속에 의해 발생하는 공기 저항을 없다고 볼 수 있다.(Yoo and Ahn 2005) 따라서 실선 공기저항계수인 C_{AA} 는 흘수 위 가로투영면적이 사용되므로 공기 저항을 반영하는 풍상항시에만 적용하였다. 본 연구에서는 자세의 변화 시에 풍상항으로 범주 할 때의 실선의 유효 마력을 추정하였다.

쌍동형 세일링 요트의 자세에 대한 실선의 유효 마력을 추정하기 위해서는 많은 요소들과 보정 계수들이 존재함으로 최대한 단순한 방법을 사용하여 적용시켰으며 세일링 요트에 대한 실험의 자료의 부족으로 인해 이에 대한 연구가 요구되어진다.

잉여저항계수(C_R)와 실선의 총 저항(drag of

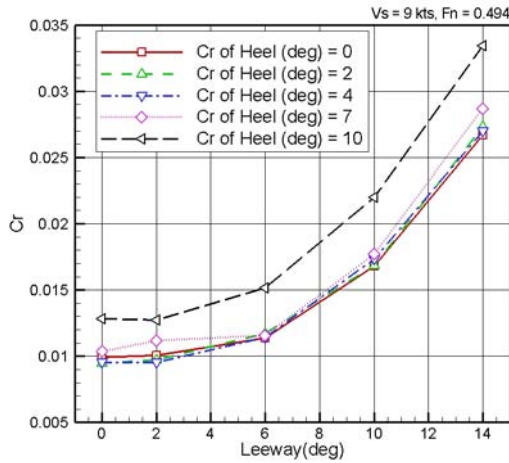


Fig. 13 C_R by leeway and heel angle with ship

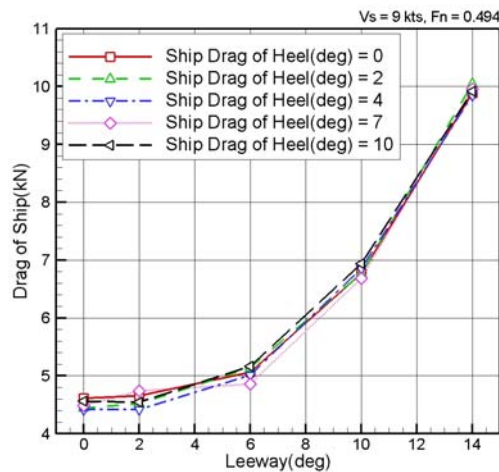


Fig. 14 Change of drag by leeway and heel angle with ship

ship)은 Fig.13, 14에 나타내었다. 횡경사각이 0도와 10도일 때를 비교해 보면 사향각 커짐에 따른 진행방향의 흡수 하의 투영 면적이 커짐으로 형상저항과 조파저항이 증가함을 알 수 있다. 반면 총저항은 횡경사각에 상관없이 유사함을 알 수 있는데 이는 동일 배수량 일 경우에 횡경사각이 변할 때 한쪽의 선체가 잠길수록 다른 쪽의 선체가 수면위로 올라감으로 총 저항은 횡경사각의 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 확인 할 수 있다.

3.3 항주자세 변화에 따른 실선의 Moment 추정
일반 세일링 요트와는 달리 경기용 세일링 요트

는 선원(crew)의 배치가 중요한 비율을 차지하고 있다. 세일에 의한 추력으로 전진할 때 발생하는 사향과 횡경사를 줄이기 위한 무게중심의 이동은 주로 경험에 의존하게 된다. 본 연구를 통해서 사향과 횡경사가 발생 시에 돛대(mast)를 중심으로 발생하는 실선의 Moment를 추정함으로써 추후에 경기용 세일링 요트의 설계속도로 범주 시에 적절한 인원의 배치를 결정함으로 복원모멘트의 최적화를 수행할 수 있게 된다.

실선의 Moment를 추정하기 위해서 Froude의 상사법칙을 적용하였으며 Table.3에 정리하였다. 또한 사용되어진 방법에 의한 사향각과 횡경사각에 따른 실선의 돛대로 부터의 Rolling Moment(M_x)와 Yawing Moment(M_z)는 Fig.15에 나타내었다. 횡경사각이 10도이고 사향각이 없을 때는 설계속도로 항주 시에 진행반대방향에서 반시계방향으로 Yawing Moment가 작용한다. 반면 사향각이 약 3도 이상으로 변할 때는 형상저항에 대한 Side Force의 증가로 시계방향으로 Yawing Moment가 점차 커짐을 알 수 있다.

Table 3 Expanding factor

Physical Quantity	Ratio
Length, Pressure	$1/\lambda$
Force, Weight	$1/\lambda^3 \times 0.975$
Moment	$1/\lambda^4 \times 0.975$

λ 는 축척비이며, 0.975는 담수와 해수의 밀도 비율

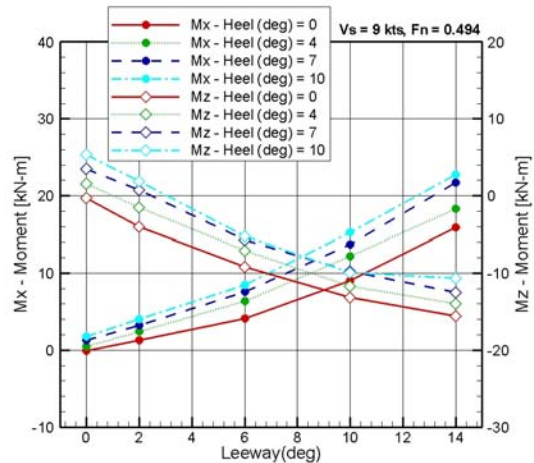


Fig. 15 Change of M_x and M_z by leeway and heel angle with ship

최종적으로 최대 횡경사각 10도와 사향각 14도일 때의 제안되어진 실선의 확장법을 통해서 추정된 실선의 설계속도 9knot에서 풍상향 항주중에 진행반대방향의 힘(drag)은 약 10.107kN, 횡방향의 힘(side force)은 약 25.58kN, Rolling Moment의 값은 약 22.752kN-m와 Yawing Moment의 값은 약 -10.65kN-m이 얻어 짐을 알 수 있다. 이를 통해서 최대 사향각과 횡경사각에서의 실선에서 추력은 45.930kW가 되며 이는 설계된 세일의 부분 수정 및 보원을 통해서 추정된 VPP(velocity prediction program)를 재계산함으로 선체와 세일의 최적화된 저항력을 추정을 위한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

4. 결론

쌍동형 세일링 요트의 범주 시에 항주자세의 변화에 따른 진행반대방향의 힘(drag), 횡방향의 힘(side force), Rolling Moment와 Yawing Moment를 계측 하였고 저항추정 방법을 이용하여 실선의 추력과 Moment를 추정하였다.

(1) 쌍동형 세일링 요트의 항주자세에 대한 실험방법을 정립하였고 또한 실선의 저항추정을 통해서 세일에 의해 발생하는 최적화된 저항력을 추정하기 위한 방법을 제시하였다.

(2) 범주 시에 횡경사의 발생은 진행반대방향의 힘과 횡방향의 힘에 대해서 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

(3) 사향에 따른 흘수 하의 진행방향의 투영면적이 커짐에 따른 형상저항의 증가로 인해 발생하는 진행반대방향의 힘, 횡방향의 힘, Yawing Moment와 Rolling Moment의 변화에 대해 선형 설계 시에 고려되어야 한다.

(4) 자세 변화에 따른 Moment 발생 시에 세일과 타의 최적화된 설정 및 일부 경기정에 대해서는 적절한 인원 배치를 통한 항주 시의 복원Moment를 증가시키기 위한 연구가 필요하다.

(5) 항주자세 변화에 따른 실선의 저항을 추정하기 위한 확장법을 적용하였으나, 자세 변화 시에 발생하는 다양한 요소들의 변화에 대한 자료의 부족으로 연구를 통한 자료의 축적이 필요하다.

후 기

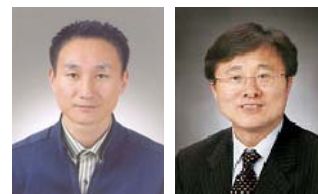
본 연구는 지식경제부 전략기술개발사업의 과제인 ‘세일링 요트 및 모터보트의 선체 핵심요소기술 개발’의 일부로 수행되어졌습니다. 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Jung, J. S., 2003, Sailing Yacht, Joong Ang Seo Rim.
- Norman, S. and Maynard, B., 2001, Elements of Yacht Design, Sheridan House Inc.
- Park, C. H., 2008, “A Study on the Hull-form Development of the Small High-speed Planning Craft using At-sea Model Test Techniques,” Korea Maritime University, Doctorate thesis.
- Sim, S. M., Kim, D. J. and Kang, B. Y., 2006, “A Study on the Techniques for Sailing Yacht Model Tests with Sailing Condition,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No.1, pp. 32-42.
- Yoo, J. H. and Ahn, H. S., 2005b, “Experimental Study on the Hydrodynamic Forces of 30 Feet Sailing Yacht,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No.3, pp. 233-240.



< 박 충 환 > < 장 호 윤 > < 정 진 욱 >



< 이 병 성 > < 전 호 환 >