

세일링 요트의 성능 추정에 관한 연구

유재훈⁺ · 안해성⁺⁺

Performance Predictions for Sailing Yacht

Jaehoon Yoo⁺, Haeseong Ahn⁺⁺

Abstract : A model test was carried out, in order to verify the hydrodynamic performances of public 30 feet class sailing yacht. In the initial design stage, the performances and the running attitude of sail yacht including the hull form and sail plan, appendages were estimated by VPP, from which made the representative test conditions. A new experiment system such as captive model device was composed because the running attitude could be changed by wind conditions. The test results show that the minimum resistance is generated in the heeling 20 degree, which was expected in the initial design stage. It is thought to be the useful informations that the keel has an effects on hydrodynamic forces and resistance differences between the upwind and the downwind condition. Also this paper is associated with the state-of-the-art of calculating sailing yacht performance as this is performed in velocity prediction program (VPP). The VPP results shows a typical shape of a sailing yacht and the designed yacht has the best performance at 120 degree angle of true wind with 20 knots.

Key words : Sailing yacht(요트), VPP (Velocity Prediction Program), Resistance(저항), Leeway(사향)

1. 서 론

유재훈 등(2005)에 의하여 개발되어진 30피트급 세일링 요트의 유체역학적인 특성을 예인수조 모형시험을 통하여 확인하고자 하였다. 또한 실선 상태에서의 저항을 추정하는 방법에 대해 제안하였다. 부착되어진 부가물로서 Keel에 대한 특성을 함께 다루었으며, 세일링 요트의 항주 자세를 모형 시험에 재현하기 위하여 횡경사와 사향 상태에서의 예인 시험이 가능한 구속식 예인 장치를 개발하였다. 일련의 모형시험을 통하여 애초 선형 설계 시에 고려되었던 설계 항주 자세에서 최소의 저항을 가지는 것을 확인하였으며, 사향 상태에서 Keel의 유체역학적인 역할을 검토하였다. 모형시험 조건은 VPP(Velocity Prediction Program)의 계산 결과에서 풍상향 항주 시의 최적 상태와 풍하향 항주 시의 최적 상태를 기준으로 도출하였다.

2. VPP에 의한 성능 추정

2.1. VPP 개요

기관과 프로펠러를 사용해 전진하는 일반 선박과는 달리 세일링 요트는 바람의 힘으로 추진력을 얻게 된다. 또한 일반 선박의 경우에는 선체가 직립되어 있는 상태를 기준으로 기관으로부터 프로펠러로 전달되는 동력과 프로펠러의 효율을 통해 추진력을 산정하고, 직립되어 있는 선박의 저항과의 비교를 통해 선박의 전진 속도를 추정하게 된다. 이와는 달리 요트에 있어서는 동력에 해당하는 것이 풍력이 되며, 이를 세일을 통하여 추진력으로 전환시켜 주게 된다. 이러한 풍력의 사용은 그 부작용으로서 선박을 횡경사 시키게 되며, 또한 일정한 각도의 사향(Leeway)을 유발하게 된다. 따라서 요트에 있어서는 풍력에 의한 추진력에 대하여,

⁺ 유재훈(한국해양연구원 해양시스템안전연구소), E-mail: jhyoo@kriso.re.kr, Tel: 042)868-7242

⁺⁺ 안해성(한국해양연구원 해양시스템안전연구소)

사항과 경사 상태에서의 저항을 고려하여 전진 속도를 산정하여야 한다. 더군다나 풍력을 사용하는 경우에는 바람의 방향과 그 세기에 따라 배의 자세와 추력 구성이 변하게 되며, 장치되어진 세일의 종류와 구성 방법에 따라 선속에 차이가 나게 되므로 이러한 제반 조건을 모두 고려하여 배의 속도를 추정하게 된다.

이러한 추진력과 배의 자세 그리고 저항과의 관계는 각각의 독립적이지 않고 서로 밀접하게 연관되어 있으므로 이러한 모든 외력이 서로 균형(Balance)되어지는 상태를 컴퓨터 프로그램을 통한 반복 계산으로 찾아내고, 이 상태에 대한 선속을 추정하는 방법을 사용하게 된다. 이러한 전반적인 속도 성능 추정 프로그램을 VPP(Velocity Prediction Program)이라고 부르며, 계산 결과는 입력되어지는 풍속과 풍향에 따른 선속을 장치되어진 세일의 종류에 따라 각각 표시하는 Velocity Polar Diagram으로 결과를 나타내게 된다.

Fig.1에는 전형적인 VPP 계산 방법에 대한 개략적인 절차를 위주로 흐름도를 표시하였다. (Oossanen, 1993) 각각의 계산 절차에서는 아래와 같은 계산을 수행하게 된다.

(1) 자료 입력

선체에 대한 형상(Offset), 각종 부가물(킬과 러더 등), 마스트를 포함한 Rig, 세일(전, 후세일 및 부가세일)에 대한 제원 자료를 입력하며, 선체 중량에 대한 자료로서 Pendulum Length 또는 VCG(Vertical Center of Gravity)값을 입력한다. 첫 번째 절차로서 기본 제원을 사용한 경험식을 통해 풍향, 풍속에 따른 횡경사각과 사항각 그리고 선속을 가정한다.

(2) 수면 아래의 선체에 대한 계산

두 번째 절차로서, 수면 아래에 존재하게 되는 모든 형상물에 대해서 유체역학적인 힘과 모멘트를 계산하게 된다. 즉, 가정되어진 횡경사각과 사항각에 대해서 마찰저항, 점성저항 그리고 조파저항을 계산하며, 각 형상물에 의한 횡방향 힘과 모멘트를 계산한다. 또한 횡경사와 사항에 의한 부가 저항을 포함하여 횡경사 모멘트를 계산한다. 계산되어진 횡경사 모멘트로 다시 횡경사각을 얻어내어 가정되어진 값과 차이가 나는 경우 가정 값을 수정하여 수렴될 때까지 동일한 계산을 반복한다.

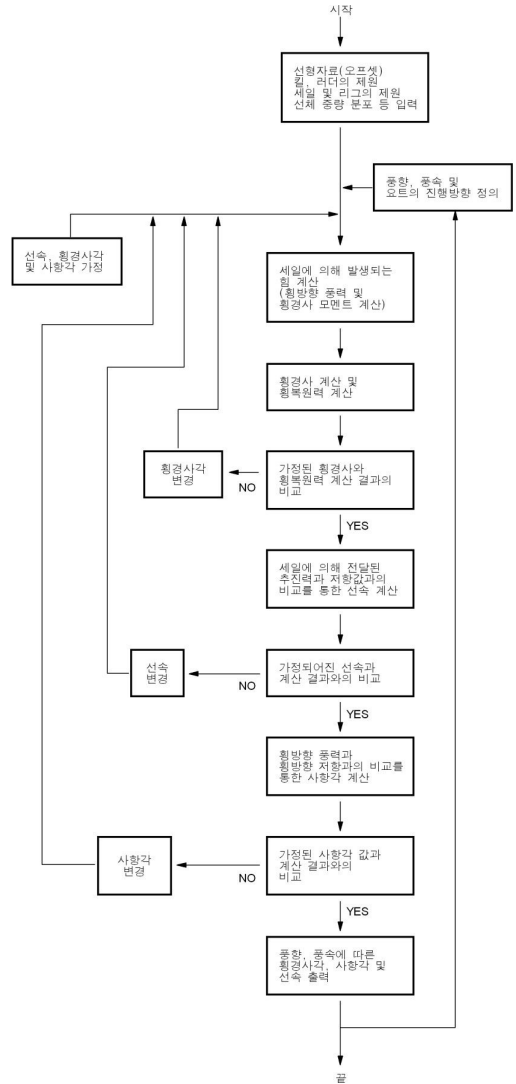


Fig.1 Procedure of VPP calculation

(3) 바람을 받은 세일에 의한 힘 계산

가정된 선속과 풍향, 풍속에 의해 세일에 입사되어지는 빈바람(Apparent Wind) 상태에서의 세일에 의한 힘과 모멘트를 계산한다. 발생되어지는 힘은 양력과 항력으로 구분하여 계산하며, 두 힘의 합력을 전체 추진력으로 간주한다. 가정되어진 선속은 빈바람을 얻어내는 데에 사용되어지므로 본 계산을 통해 빈바람 각도와 선속 성분이 수렴되도록 반복 수행한다.

(4) 유체력과 풍력의 균형

수면 아래에 선체와 킬, 러더 등에 작용하는 유체력

과 바람을 받은 세일에 의한 힘이 균형을 이루도록 사향각의 가정 값을 수정하면서 반복 계산을 수행한다.

(5) 부가저항

바람이 선수 방향(0~90도)에서 불어오는 경우에는 바람에 의해 발생되어지는 파도에 의한 부가저항을 계산한다. 선체 저항에는 파랑에 의한 부가저항 외에도 횡경사 및 사향에 의한 영향을 포함한다.

2.2. VPP 계산 결과

VPP를 통해서 설계되어진 요트의 속도 성능을 추정하였다. 추정되어진 결과는 Fig.2의 Velocity Polar Diagram으로 표시하였으며, 비대칭 스피네이커(Gennaker)를 장착한 상태에서 20노트의 바람이 120도로 불어오는 경우에 최고 선속인 9.6노트로 항주하는 것으로 나타나고 있다. 집(Jib) 세일을 장착한 경우에는 같은 풍속에서 110도의 바람에서 8.8노트의 최고 선속이며, 20노트 바람이 35.4도로 불어오는 경우 VMG(Velocity Made Good)가 최대가 되는 최적 풍상가닥 항주점이 나타나는 것으로 계산되어졌다.

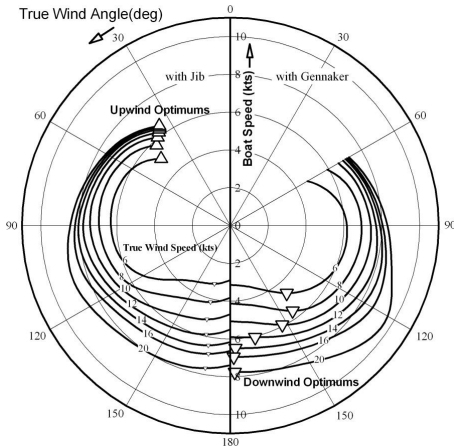


Fig.2 VPP results-velocity polar diagram

3. 예인수조에서의 모형시험

3.1. 모형시험 조건의 도출

세일링 요트의 항주 자세는 일반 상선과는 달리 불

어오는 바람에 대해 어떤 각도로 진행하고 있는가에 따라 비교적 큰 횡경사와 사향(Leeway)이 발생하게 된다. 따라서 요트에 대한 예인 시험을 위해서는 우선 시험하고자 하는 요트의 속도가 어떤 바람 상태에서 만들어진 것인지를 정의하여야 하며 이에 따라 각 속도 조건에서의 항주 자세를 미리 추정하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 자료를 얻기 위하여 VPP(Velocity Prediction Program)의 계산 결과를 사용하였으며, 요트가 항해 중에 경험하게 되는 광범위한 풍향과 풍속을 대표할 수 있는 조건으로서 VMG(Velocity Made Good)값이 최대가 되는 풍상향 최적점(Upwind Optimum) 상태와 VMG가 최소가 되는 풍하향(Downwind) 상태를 기준으로 예인 시험 조건을 도출하였다. 예인 시험 대상은 보급형으로 개발된 30피트급 세일링 요트로서 개략적인 선체의 형상은 Fig.3과 같으며, 정수 중 횡경사가 없는 직립 상태에서의 제원을 Table 1에 정리하였다.

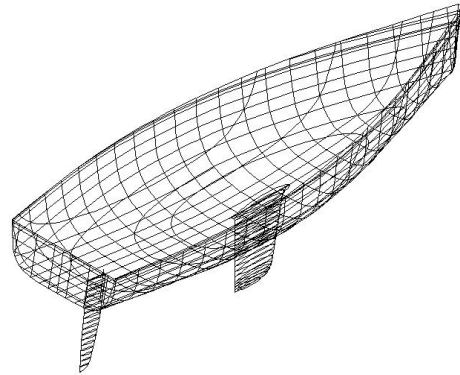


Fig.3 Schematic view of testing yacht

Fig.2와 같은 본 요트에 대해 계산된 VPP의 결과를 바탕으로, 각각의 최적 항주 조건들을 추출하여 Table 2에 풍하향 항주에 대한 결과를, Table 3에는 풍상향의 것을 정리하였으며, 이로부터 예인 시험 조건을 도출하였다. 일반적인 예인 시험과 같이 선속 별로 시험을 수행하기 위하여 이러한 최적 항주 조건들의 결과를 삼간하여 최종적으로 Table 4와 같은 풍상향 항주에 대한 시험 조건을 도출하였으며, 풍하향에 대한 결과는 항주 조건에 따른 횡경사와 사향의 정도가 작다고 평가하여 예인 시험에는 직립, 직진 상태에서만 수행하도록 하였다.

Table 1 Hydrostatics of test yacht (Full Scale)

	Unit	Definition	Value
Loa	m	Length Overall	9.142
Lwl	m	Waterline Length	8.245
B	m	Beam (Max)	3.024
Tc	m	Draft w/o Keel	0.400
T	m	Draft with Keel	1.900
▽	m3	Displacement	3.298
Wetted Surface Area	m2	Hull	15.60
	m2	Keel	2.84
	m2	Rudder	1.18

Table 2 VPP results (Downwind Optimum)

True Wind		Apparent Wind		Boat		
Speed (kts)	Angle (deg)	Speed (kts)	Angle (deg)	Speed (kts)	Heel (deg)	Leeway (deg)
6.0	140.2	3.7	86.7	4.65	1.1	0.5
8.0	143.9	4.58	97.9	5.59	1.2	0.3
10.0	152.4	5.17	120.3	5.92	1.1	0.2
12.0	167.5	5.79	154.4	6.06	0.6	0.1
14.0	177.6	6.99	175.4	6.50	0.4	0.1
16.0	178.5	8.45	177.3	6.95	0.4	0.0
20.0	178.3	11.5	177.2	7.76	0.7	0.1

Table 3 VPP results (Upwind Optimum)

True Wind		Apparent Wind		Boat		
Speed (kts)	Angle (deg)	Speed (kts)	Angle (deg)	Speed (kts)	Heel (deg)	Leeway (deg)
6.0	46	9.89	24.2	5.08	5.7	1.8
8.0	42.5	12.38	23.9	5.76	11.1	2.4
10.0	39.4	14.52	23.5	6.04	14.2	2.7
12.0	37.5	16.53	23.5	6.21	16.2	2.8
14.0	36.3	18.47	23.7	6.32	17.6	2.9
16.0	35.7	20.35	24.1	6.40	18.7	3.0
20.0	35.4	24.01	25.1	6.47	20.4	3.1

Table 4 Model tests conditions (Upwind)

Vs (kts)	Heel (deg)	Leeway (deg)	Fn	Vm (m/s)
4.0	2.5	1.5	0.23	1.188
5.0	5.5	2.0	0.29	1.485
6.0	13.5	2.5	0.34	1.782
6.5	20.0	3.0	0.37	1.931
7.0	30.0	3.5	0.40	2.079

3.2. 모형시험 장비

예인 시험을 위한 모형선은 사용할 3분력계 (3-component load cell)의 용량과 예인 속도를 고려하여 축적비 3으로 하여 목재로 제작되었으며, 부가물로서 Keel과 Rudder를 부착하였다. Keel은 Keel 자체의 유체역학적인 특성 조사가 가능하도록 탈, 부착이 가능하도록 구성하였다. 선체에 걸리는 유체력을 측정하기 위하여 3분력계를 선체의 마스트 위치에 부착하고 구속 상태로 예인하여 배의 길이 방향으로의 힘 (Fx)과 횡방향으로의 힘(Fy), 그리고 높이방향 축에 대한 모멘트(Mz)를 계측하였다.

Table 5 Conditions of model tests

	Values	Remarks
Model Scale	3.0	Ls/Lm
Model Length	3.047m	Loa
Towing Speed	1.188m/s	Min (Vs=4kts)
	2.379m/s	Max (Vs=8kts)
Towing System	Captive	
Measurement	Fx, Fy, Mz	Body Fixed Coordinates
Load Cell	Fx: 100 kgf Fy: 100 kgf Mz: 10 kgf-m	3-Compo
Towing Conditions (all tests with Rudder)		
Downwind	with Keel	4~8 kts
Upwind	with Keel	5~7 kts
	w/o Keel	
Heel Variation	with Keel	Vs=6.5kts Leeway=3.0deg
Leeway Variation	with Keel	Vs=6.5kts Heel=20deg
	w/o Keel	

Table 4를 보면 각각의 선속에 대한 횡경사 각도와 사향각이 다르므로 Fig.4에 나타낸 바와 같이 모형선 자체가 3분력계와 더불어 횡경사 및 사향 상태로 조절될 수 있는 예인 장치를 구성하였다. 구속 예인 장치를 이용해 모형선에 횡경사를 주게 되면 횡경사 각도에 따라 배수량이 변하게 된다. 따라서, 직립 상태의 배수량이 일정하게 유지될 수 있는 좌, 우측의 흘수를 미리 계산해 놓은 뒤, 모형선 조건에 따라 예인 대차의 높낮이를 조절하여 횡경사각에 따른 흘수를 맞추도록 하였다.

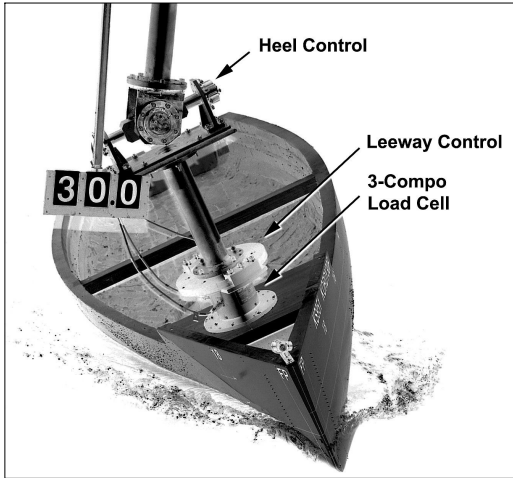


Fig.4 Towing system for sailing yacht

3.3. 횡경사(Heel)에 의한 저항 변화

먼저 세일링 요트의 횡경사(Heel)가 저항 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하기 위하여 설계 속도에 해당하는 선속 6.5노트에서 사향각(Leeway Angle)을 3.0도로 고정시킨 후 횡경사 각도만을 0도에서 30도까지 변화시키면서 모형을 예인하였다. 배에 걸리는 길이방향힘(F_x), 횡방향힘(F_y), Yawing Moment(M_z)를 계측한 후 사향각을 고려하여 저항으로 간주할 수 있는 전진 방향으로의 힘(Drag)과 횡 방향 힘(Side Force)을 산정하였다. 선체를 포함한 예인 방향과 각 계측력의 방향, 그리고 저항과 Side Force의 정의는 Fig.5에 표시하였다.

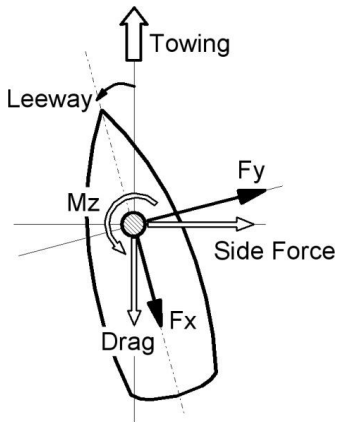


Fig.5 Directions of forces

시험 결과는 Fig.6과 같으며, 횡경사 각도가 커질수록 저항이 줄어들다가 20도 횡경사에서 최소 값을 가진 후 다시 증가하는 형태를 보였다. 이를 통하여 애초 선형 설계 시에 20도 횡경사를 설계 조건으로 설정하고 이에 대해 수선면 및 프레임 라인을 설계한 것이 유효했다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Side Force의 경우, 횡경사 되어진 모형선에서 계측되어진 Side Force는 주로 Keel에 의한 양력이라고 볼 수 있으며, 이러한 Keel의 양력이 횡경사에 의해 점차 줄어들게 됨을 살펴볼 수 있다.

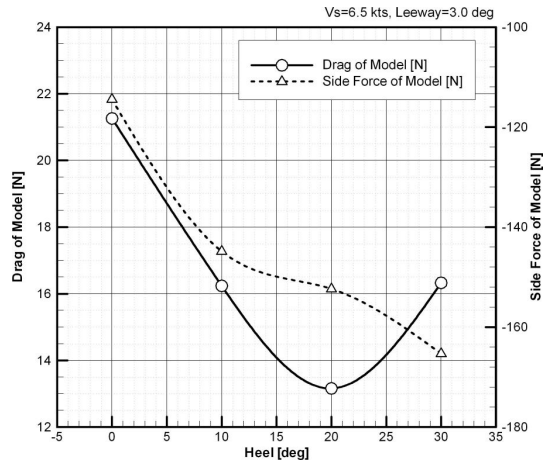


Fig.6 Forces change by heel angle
(Model scale, $V_s=6.5$ kts, leeway=3.0 deg)

3.4. 사향(Leeway)에 따른 유체력의 변화

다음으로는 선체의 사향이 미치는 영향을 조사하였다. 마찬가지로 선속 6.5노트를 기준으로 횡경사를 20도로 고정시킨 후 사향각을 0도에서 3도까지 변화시키며 선체에 걸리는 힘을 계측하였다. 본 시험에서는 사향 조건에서 Keel이 가지는 유체역학적 특성을 함께 조사하기 위해서 Keel이 부착되어진 상태와 제거된 상태에서 각각 예인 시험을 수행하였다. Fig.6에는 사향각 변화에 따른 저항과 Side Force를 보이고 있는데, 사향각이 증가하면 전체적인 경향으로 저항은 줄어들며, Keel이 없는 경우에는 비교적 급격하게 감소하는 경향을 보이는 반면, Keel이 있는 경우에는 어느 정도 이상의 사향, 즉 2도 이상에서는 다시 증가하는 것을

볼 수 있다. 반면, Side Force는 사향각의 증가에 따라 지속적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. Keel의 존재에 따라 저항의 변화 추이가 다르다는 것은 Keel 자체가 가지는 형상 저항과 함께 어느 정도 이상으로 사향각이 커지게 되면 Keel에서 발생되어지는 형상 저항의 증가로 인해 이러한 경향이 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 Keel의 유체력을 세밀히 살필 수 있도록 Fig.7과 같이 두 조건의 선체에 걸리는 힘의 차이를 Keel에 의한 힘으로 간주하여 표시하여 보았다. 사향각이 증가함에 따라 Keel의 저항은 1도 부근에서 최소값을 가진 후 증가하는 경향으로, Side Force는 선형적으로 감소하는 모습을 보이고 있다. 이렇게 작은 사향각에서 비교적 작은 저항을 가지는 경향은 애초 Keel의 설계에 있어서 작은 받음각에서 비교적 작은 항력을 가지도록 선택되어진 NACA63-009의 항력 특성과 유사한 결과를 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

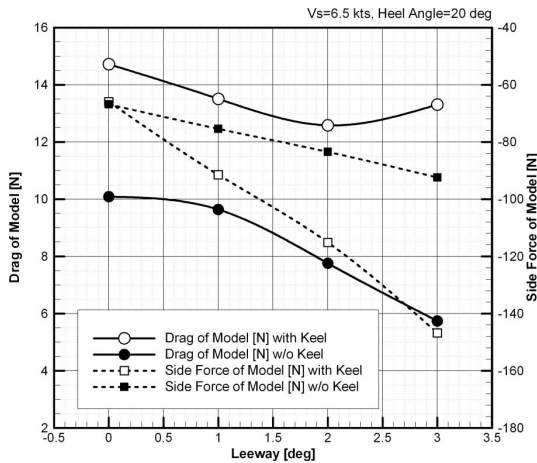


Fig.7 Forces change by leeway angle (Model scale, Vs=6.5kts, heel=20deg)

Fig.8에는 사향각 변화에 따른 Yawing Moment의 변화를 나타내었다. Keel의 유무에 따라 도출되어진 Keel에 의한 Yawing Moment를 살펴보면, 사향각의 증가에 따라 선체가 가지는 Leeway 방향으로의 모멘트가 Keel에 의해 어느 정도 줄어드는 효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 효과는 Keel의 존재가 선체 자체의 사향 Moment를 줄여 줄 수 있고, 실제 항주 중인 요트에 사향이 발생하게 되는 경우 Keel의 배치에 의

해 발생되어진 사향의 각도를 줄여주는 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

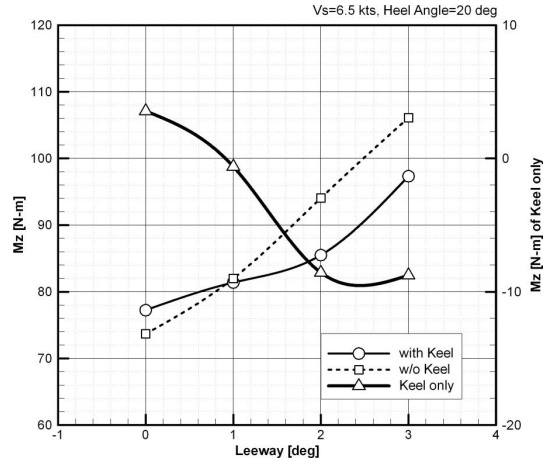


Fig.8 Yawing Moment Change by Leeway angle (Model scale, Vs=6.5kts, heel=20deg)

3.5. 실선 유효 마력의 추정

수행되어진 일련의 예인 시험 결과를 바탕으로 실선의 유효마력을 추정하여 보았다. 계획되어진 선체 길이 방향으로의 힘(Fx)을 전진 방향의 힘으로 환산한 후, 이를 저항으로 간주하고 이를 실선의 유효마력으로 확장하였다. 사용되어진 방법은 ITTC '78에 근거한 형상계수를 사용하는 3차원 확장법이며, 저항 성분의 분리 및 실선 확장은 식(1)과 식(2)와 같다.

$$C_{TS} = (1 + k)C_{FS} + C_W + \Delta C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS} \quad (1)$$

$$C_W = C_{TM} - (1 + k)C_{FM} \quad (2)$$

where,

C_T : Total Resistance Coefficient

k : Form Factor

C_F : Frictional Resistance Coeff.

C_W : Wave Resistance Coefficient

ΔC_F : Roughness Allowances

C_A : Model - Ship Correlation

C_{AA} : Air Resistance Coefficient

C_{AS} : Steering Resistance Coeff.

subscript M: value of Model

subscript S: value of Full Scale Ship

먼저 직립상태로 사향각 없이 예인시켜 얻어진 풍하향 상태에서의 모형선의 저항값을 사용하여 형상계수 (k , Form Factor)를 도출하였다. 형상계수 도출에는 Prohaska's Method를 사용하였으며, C_T/C_F 값을 F_N^5/C_F 으로 회귀하였다. 이외에 실선 확장에 사용되어진 보정계수들의 값은 Table 6에 정리하였다.

Table 6 Parameters for Extrapolation

	Condition	Values (×1000)	
		Downwind	Upwind
k	Form Factor	0.3811	0.3811
C_A	Model-Ship Correlation	0.37	0.37
C_{AS}	Steering Resistance	0.1	1.0
C_{AA}	Air Resistance	0.0	0.26
ΔC_F	Roughness Allowance	2.122	2.122

모형선 실선 상관 관계를 보정하기 위해 반영하는 C_A 는 예인 시험이 수행되어진 예인 수조에서 선체의 길이를 기준으로 산정하여 사용하는 회귀식으로 부터 값을 결정하였다. 일반 상선과는 달리 항주 중에도 실새 없이 러더(Rudder)를 사용하는 요트의 특성을 반영하기 위하여 C_{AS} 를 도입하였다. 일반 상선의 경우, 직진 성향이 좋지 않은 배에 대하여 0.04×10^{-3} 을 사용하는 경우가 있으나, 본 연구에서는 비교적 러더의 사용이 적은 풍하향시에는 0.1×10^{-3} 을, 러더를 많이 사용하게 되는 풍상향시에는 1.0×10^{-3} 을 사용하였다. 이러한 구체적인 값은 그 근거가 필요하므로, 실선 시운전 등을 통한 본격적인 연구가 필요하다. 그러나 본 연구에서는 실선 확장에 이와 같은 Steering에 의한 저항 증가분을 고려한다는 면에서 잠정적인 값을 적용하였다. 수면상부의 선체에 의한 공기 저항을 반영하는 C_{AA} 값은 설계 요트의 수면 상부 선체의 횡단면적을 사용하여 얻어진 0.26×10^{-3} 를 풍상향시에만 적용하였다. 풍하향의 경우는 바람의 방향과 배의 전진 방향이

일치하여 선속에 의해 발생하는 공기 저항이 없다고 볼 수 있기 때문이다.

모형선-실선간의 선체 표면 거칠기에 대한 보정인 ΔC_F 의 값은 ITTC '78 방법에 의하여 결정하였다. 전체적으로 세일링 요트에 대한 실선 확장 방법은 사용되어지는 각종 보정 계수나 그 방법에 대한 경험이 부족하고, 실선에 대한 계측 자료가 취약한 상황으로서 이에 대한 많은 연구가 요구되어지는 상황이다. 본 연구에서는 우선적으로 사용할 수 있는 방법 중에 하나를 선택하여 고려해야 하는 모든 조건을 빠짐없이 적용한다는 개념에서 이와 같은 실선 확장법을 적용하였다.

실선 확장을 위해 계산되어진 조파저항(C_W) 성분 의 선속에 따른 경향은 Fig.9에 나타내었으며, 사용되어진 방법에 의한 실선의 저항값은 Fig.10과 같다. 풍하향 항주보다는 풍상향 항주시의 조파 저항이 매우 크게 나타나고 있으며, 유효마력에서도 같은 경향을 보임을 알 수 있다. 이러한 경향은 직립되어진 항주 자세에 사향이 없는 상태인 풍하향 항주에 비해 풍상향 항주의 경우 선속에 따라 30도 까지의 횡경사를 가지고 있으며, 또한 사향 상태에서 항주하게 되므로, 이에 의한 저항이 부가되어진 것이 이유가 된다. 최종적으로 제안되어진 실선 확장법으로 추정되어진 실선의 저항 값은 설계 속도 6.5노트에서 풍하향 항주 중에 약 830N, 풍상향시에 1406N가 얻어졌다.

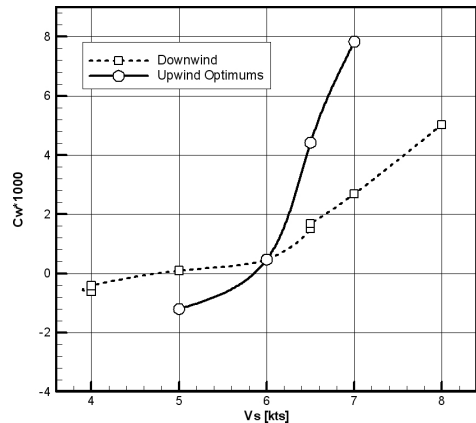


Fig.9 Wave Resistance (k=0.3811)

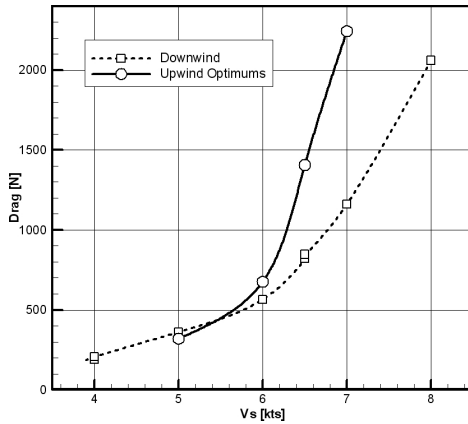


Fig.10 Resistance of Full Scale Yacht

4. 결론

(1) 횡경사 변화 시험을 통해 설계 항주 자세인 20도 횡경사에서 설계 선형이 최소의 저항을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 이로부터 선형의 설계가 비교적 성공적으로 이루어졌음을 확인하였다.

(2) Keel의 설계에 있어서 작은 받음각(Angle of Attack)에서 비교적 작은 항력을 가지도록 선택되어진 NACA63-009의 항력 특성과 유사한 결과를 가지고 있음을 확인하였다.

(3) Keel의 존재는 작은 사향 각도에서 발생 할 수 있는 급격한 Yawing Moment의 양을 줄여주는 역할을 하고 있다.

(4) 풍하향에 비해서 횡경사와 사향 상태에서 항주 하게 되는 풍상향 항주의 경우 설계 속도를 기준으로 약 70% 정도의 저항 증가가 있다.

(5) 실선 상태의 저항을 추정하기 위한 확장법을 제안하였으나, 정량적인 정확성을 가지기 위해서는 실선 시운전을 통한 경험 자료의 축적이 필요하다.

(6) 정량적으로 정확한 모형 시험을 위해서는 본 연구에서 사용된 구속식 예인 장치가 아닌 동역학적 힘에 의한 자세 변화가 허용되는 자유식 예인 장치의 개발이 요구되어진다.

(7) 세일링 요트에 대한 정확한 선속 추정을 위한 모형 시험 및 실선 저항의 추정을 위해서는 파랑 중 부가 저항 성분에 대한 고찰이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Peter van Oossanen, 1993, "Predicting the Speed of Sailing Yacht," SNAME Trans., Vol. 101, pp337~397
- [2] Lars Larsson and Rolf E. Eliasson, 2000, Principles of Yacht Design, International Marine of McGraw-Hill
- [3] Harvald, Sv. Aa., 1983, Resistance and Propulsion of Ships, A Wiley-Interscience Publication
- [4] Y. W. Lee, H. Miyata and T. Sato, June, 1997, "CFD Simulation of Two-Sail Interaction about a Sailing Yacht," JSNA Japan, pp25-pp34
- [5] 유재훈 외, 2005, "30피트급 요트의 선형개발 및 성능추정," 대한조선학회 논문집, 제 42권 1호, pp34-42
- [6] 유재훈 외, 2005, "요트의 Main세일과 Jib 세일 사이의 간섭 효과에 대한 수치해석," 대한조선학회 논문집, 제42권 1호, pp24-33