저속시 활주형 레저보트의 단면형상에 따른 저항·내항성능 특성연구

A Study on the Characteristic of Motion and Resistance Performance from the Body Plan of Planning Leisure boat at low speed

박충환* · 안남현** · 장호윤***† · 권용원****

C. H. Park*, N. H. An**, H. Y. Jang***† and Y. W. Kwon****

(접수일 : 2011년 09월 09일, 수정일 : 2012년 02월 02일, 채택확정 : 2012년 05월 22일)

Key Words : Leisure boat(레저보트), Body plan(단면형상), Sea worthiness(내항성능), Model test(모형시험), Resistance performance(저항성능), Planning hull(활주형선)

Abstract : In this study, the numerical simulation and basin model test have been performed to evaluate sea worthiness and resistance performance for a small pre-planning three type of leisure boats which are U, V, Y shapes of hull forms. As a well known commercial CFD code, Maxsurf, was applied for modeling hull forms used as the solver of motion analysis. Also the model resistance test was carried out to estimate the effective power of boat in the basin tank. Numerical simulation and model test results show that Y-shaped hull is better than the other types in terms of heave and pitch motion, having a key effect on a boat sea worthiness. But V-type hull is more efficiency than others cases in resistance performance.

1. 서 론

일반적으로 모터에 의하여 구동되고 크기에 비하여 높은 속력을 가지는 소형 선박을 파워보트 또는 레저보트라 한다. 레저보트는 수상 스포츠로 각광을 받고 있어 전 세계적으로 많은 마니아(Mania) 층이 형성되어 있다. 또한 2009년 국토해양부(해양국토 21, 3권)에 따르면 모터보트의 2006년 수입(6,636천달러) 대비 2008년 수입량(15,568천달러)이 2배 이상 늘어났으며, 향후 국내에서도 수요가 커질 전망이다. 활주형 선형은 선체와 수면사이의 동적효과(Dynamic effect)를 극대화 하여 저항을 감소시킴으로서 높은 속도 성능을 발휘하게 된다. D. Savitsky,

P. Ward Brown(1976)^(1,2)는 선미 트랜섬 폭(Transom beam)을 기준으로 속도계수, $C_v = V\sqrt{gB_T}$ 를 정의하고, 3단계($C_v < 0.5$, $0.5 < C_v < 1.5$, $C_v > 1.5$)에 걸쳐 동적효과를 규명한바 있으며, 사용 목적에 따라 단면형상의 적절한 선택은 핵심적이다. 일반적으로 제작의 용이성, 내항성, 안정성, 저항성능 등을 고려하여 볼록형(U), 직선형(V), 오목형(Y)형의 선체를 채택하게 된다. J. M. Vasconellos 와 R. Latorre (1999)⁽³⁾는 90년대 말 미국에서 널리 유통되는 레저보트 850척을 조사한 결과 단면형상이 직선형(V)선형이 50.5%이며 직선개량형(Modified V), 오목, 볼록 선형 등이 골고루 분포하고 있다.

그러나 레저보트는 다양한 형태가 있을 수 있고

***† 장호윤(교신저자) : 중소조선연구원 해양레저장비개발센터
E-mail : hyjang@rims.re.kr, Tel : 051-974-5581

*박충환 : 중소조선연구원 해양레저장비개발센터

**안남현 : 거제대학교 조선해양공학과

****권용원 : 중소조선연구원 선박기술연구본부

***† H. Y. Jang(corresponding author) : Marine Leisure Equipment Center, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding

E-mail : hyjang@rims.re.kr, Tel : 051-974-5581

*C. H. Park : Marine Leisure Equipment Center, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding

**N. H. An : Department of Shipbuilding & Marine Engineering, Kojé College

****Y. W. Kwon : Ship Technology Research Department, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding

그 사용 목적에 따른 최적선형을 제시하지는 못하였다. 뿐만 아니라 이와 관련하여 국내에서는 아직 체계적인 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 특히, 레저보트의 주요성능을 결정하는 중요한 요소로는 단면형상이 중요하다. 활주형 레저보트는 고속 시에는 양력작용에 의한 부상으로 단면형상이 주요성능에 영향을 미치지만, 저속 시에는 선저면의 동적효과(양력)가 고속시보다 상대적으로 적어 침수표면적이 증가에 따른 레저보트 주요성능에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 현재 널리 보급되어 있는 24피트급 레저보트의 선형을 기본으로 하여 3가지 형태의 단면형상을 모델링하고 수치계산을 통하여 저속 시 각 단면 형상에 따른 내항성을 평가하였으며, 모형시험을 바탕으로 레저보트의 활주시점 근방에서의 저항성능을 비교하였다. 본 연구에서는 소형 선박의 모델링과 제 계산 및 해석에 많이 활용되는 Maxsurf 소프트웨어를 사용하였으며, 모형시험은 통상적인 상선의 실험방식을 준용한 ITTC 1978(2차원법) 방법으로 해석을 수행하였다.

2. 모델링 및 수치해석

2.1 모선의 선정 및 단면 형상

본 연구에 사용된 선박은 국외 유사 실적선의 자료조사를 바탕으로 개발된 24피트급 레저보트로서, 실선의 크기가 7.25m이며, 중앙 횡단면이 직선형(V선형)인 Rib선의 선체를 기준으로 삼았다. 그런 후에 Maxsurf Ver 16.03 프로그램을 이용하여, 동일배수량과 중방향 부력중심(Longitudinal Center of Buoyance)을 기준으로 단면형상을 볼록형(U), 오목형(Y)으로 설계하였다.

Fig. 1에서는 대상 선형 설계도를 볼 수 있으며, Fig. 2는 대상 선체에 대한 모형선의 단면 형상을 보여주고 있다. 본 선형에는 수면의 흘수선(Draft line) 전후에 두 개의 차인(Chine)과 흘수선 아래 세 개의 스프레이 레일(Spray rail)을 두고 있다.

2.2 선박기본 및 복원성 계산

설계된 3가지 선형에 대하여 기본적인 선박 계산을 수행하였으며, 아래 표 1에서 보는바와 같이 동일한 배수량(1.988m^3)을 기준으로 중방향 부력중심의 위치를 조절하는 과정을 반복 수행하였다. 이때 중앙 단면에서의 흘수값은 직선형(V) 0.401m, 볼록형(U) 0.321m, 오목형(Y) 0.481m이다. 최종 설계된 선형의

Fig. 1 Leisure boat diagram for section geometries

(a) Convex type (U) hull

(b) Straight line type (V) hull

(c) Concave type (Y) hull

Fig. 2 Prototypes for section geometries

중방향 부력중심(LCB)의 위치는 직선형(V), 볼록형(U), 오목형(Y)에서 오차범위가 2%~3%이다.

Fig 3은 단면형상에 대한 중앙 횡단면도를 나타내며 수직방향 무게중심점(VCG)과 수직방향 부력중심점(VCB)의 위치를 도시하였다. 수직방향 무게중심점의 위치는 흘수선 아래 0.06m에 위치하며 수직방향 부력중심점 위치는 흘수선 아래 0.127m로 복원성(Stability) 계산 시에 적용하였다. 단면형상별로 복

Table 1 Hydrostatics for section types

Measurement	Units	Type		
Type		U	V	Y
Displacement	ton	1.988	1.988	1.988
Volume (displaced)	m3	1.94	1.94	1.94
Draft Amidships	m	0.321	0.401	0.481
WL Length	m	6.228	6.344	6.344
Beam max extents on WL	m	2.114	2.114	2.114
Wetted Area	m2	12.011	12.382	13.048
Waterpl. Area	m2	10.159	10.214	10.248
Prismatic coeff. (Cp)	-	0.728	0.712	0.737
Block coeff. (Cb)	-	0.459	0.361	0.301
Max Sect. area coeff. (Cm)	-	0.632	0.508	0.409
Waterpl. area coeff. (Cwp)	-	0.772	0.762	0.764
LCB	%	38.857	38.256	39.403
LCF	%	40.736	40.277	40.38
KB	m	0.201	0.274	0.347

원성 계산결과에 대한 그림은 Fig 4에 나타내었으며, 각도별 최대 복원모멘트암(Maximum GZ)은 직선형(V) 0.687m(51.8도), 블록형(U) 0.682m(50도), 오목형(Y) 0.689m(53.6도)로 값들이 유사함을 알 수 있다.

2.3 내항성능 수치해석

본 레저보트의 내항성(Seakeeping) 해석을 위해서 Maxsurf 프로그램을 이용하였으며, 주파수 영역에서 3차원 선형 회절이론을 이용하여 내항성능을 분석하였다. 동일 배수량일 경우의 단면형상별 주파수 응답 특성(Response Amplitude Operators)을 비교하기 위해서 동일한 환경적인 요소 및 무게중심을 적용하였다. 수치해석을 위한 모델링은 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 3 Perpendicular center positions for section geometries

Fig. 4 Stabilities for section types

Fig. 5 Modeling for numerical analysis

Fig. 6 Pre-process for seakeeping performance

단면형상별 레저보트의 내항성능 비교를 위하여 1개의 해상상태를 이용하였으며, 해상상태는 Sea state 4(유의파고 1.3m, 피크주기 8.6s)로 하였고 ITTC 불규칙 파랑 스펙트럼의 해상상태에 대한 수치해석을 수행하였다. 또한 항주속도는 25knots로 설정하였다. 또한 단면형상별로 전장(LOA) 7.25m, 전폭(BOA) 2.6m, 깊이(Depth) 1.28m를 가지는 레저보트의 질량분포는 중동요 회전반경(Pitch gyradius)은 전장의 25%, 횡동요 회전반경(Roll gyradius)은 전폭의 30%로 지정하였다. 무차원 감쇠(Non-Dimensional Damping)는 인자는 상·하동요(Heave)/중동요(Pitch): 0, 횡동요(Roll): 0.075로 지정하여 내항성 수치해석을 수행하였으며, 전처리 과정은 Fig. 6에 나타내었다.

Table 2 Main particulars for basin experiment

Designation	Ship	Model
Scale ratio	7.25	1
Length of waterline (m)	6.344	0.87503
Beam max extents on WL (m)	2.114	0.29159
Draft (m)	0.401	0.05531
Wetted surface area (m ²)	12.382	0.23557
Transverse area above WL(m ²)	3.900	0.07420
Displacement volume (m ³)	1.940	0.00509

Fig. 7 Model test with towing tank

3. 모형시험

본 모형시험은 중소조선연구원 해양레저수조동의 수조에서 수행하였으며, 모형선의 크기는 실선의 1/7.25이고 FRP로 제작하였다. 아래 표 2는 본 선체의 주요제원을 나타내고 있다. 세 개의 선형모두 동일한 조건(동일배수량)에서 실험이 수행되었는데, 이때의 흘수라인은 직선형(V), 복록형(U), 오목형(Y) 레저보트의 최하부에서 각각 0.401m, 0.321m, 0.481m이다. 또한 예인점(동력계측기의 위치)의 위치는 모두 선미에서 0.352m 지점인 중방향 부력중심점을 선정하여 각 단면 형상별로 저항시험을 수행하였다. 예인전차 최대 속도이며, 레저보트의 활주가 시작되는 시점까지의 속도(실선속도 11knots, 푸르드수 0.717)에 대한 실험을 수행하였으며 모형시험설치 및 수행은 Fig. 7에 도시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 내항성 수치해석 결과 고찰

선박과 마찬가지로 레저보트도 파와의 조우주기로 동요하게 되므로, 레저보트의 고유 동요주기와 조우주기가 비슷하면 공진이 일어나 횡동요나 종동요가 심해 질 수 있다. 내항성 수치해석을 통해서 레저보

트가 항주 시에 선수파(Head sea)와 횡파(Beam sea)에서의 응답특성에 대한 결과를 Fig. 8, 9, 10에 나타내었으며, Fig. 8, 9는 선수파 상태에서 항주 시에 레저보트의 종동요(Pitching) 운동과 상·하동요(Heaving) 운동에 대한 주파수 응답을 나타내었다. 그림을 통해서 조우 주파수(Encounter Frequency) 5~7rad/s 근방에서 종동요 및 상하동요가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 응답의 크기에 따라 오목형(Y) > 직선형(V) > 복록형(U)의 순서로 우수함을 알 수 있었다.

Fig. 12의 횡파 상태에서 항주 시에 레저보트의 횡동요 운동(Rolling)에 대한 응답특성도 단면형상별로 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 이전에 수행되었던

Fig. 8 RAO of pitch for section types (Head Sea)

Fig. 9 RAO of heave for section types (Head Sea)

Fig. 10 RAO of roll for section types (Beam Sea)

레저보트 복원성 계산이 단면형상별로 복원성에 대해서 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있으며, 이를 통해 횡파에 대한 횡동요 운동도 단면형상별로 유사함을 수치해석을 통해서 알 수 있었다.

4.2 저항시험 결과 고찰

본 저항시험은 푸르드(Froude)의 역학적 상사법칙에 따른 선속으로 수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다. 또한 트림(Trim) 및 침하량(Sinkage)은 무차원화하여 나타내었다. 해석 방법, 트림 및 침하량을 요약하면 다음과 같다.^(4,5,6)

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

$$T = (dA - dF) \times \frac{2g}{U^2}$$

$$S = \left(\frac{dA + dF}{2} \right) \times \frac{2g}{U^2}$$

T : 트림 무차원계수

S : 침하량 무차원계수

dA : 선미침하량

dF : 선수침하량

U : 선속

g : 중력가속도

레저보트의 저항시험은 고속 예인 전차를 이용하여 실험하는 것이 일반적이나, 본 실험에서는 실험 장비의 특성상 고속을 구현 할 수는 없었다. 그러나 저속구간과 활주시점 근방에서의 저항 추이 및 활주 상태의 관측 역시 중요하다. Fig. 12의 침하량 그림을 통하여 각 단면 형상별 선형의 활주 시점을 볼 수 있다. 그림을 통해 볼록형(U) 선형이 활주시점이 가장 빠르고 직선형(V) 타입의 활주 시점이 다른 선형에 비해서 가장 늦음을 알 수 있다.

또한 Fig 11에서 총저항계수는 이론상 활주시점 근처인 푸르드수 0.45의 구간에서는 볼록형(U)과 오목형(Y형)이 직선형(V형)에 비하여 각각 9.14%, 0.97%증가하는 것으로 나타났으나 점차 활주함에 따라서 푸르드수 0.717까지 전체저항계수 값의 차이가 줄어들어 유사해짐을 알 수 있었다.

Fig. 11 Curves of resistance coefficient

Fig. 12 Curves of sinkage

Fig. 13 Curves of trim

Fig. 14 Curves of effective horse-power (EHP)

Fig. 13에 트림량의 그림을 통해 오목형(Y)이 경험적으로 물가름이 좋을 것이라 판단되었던 것과 마찬가지로 푸르드수 0.717까지 실험을 통해 다른 단면형상에 비해 선수와 선미의 동요가 가장 적게 일어남을 알 수 있었으며, 이는 물가름이 좋음을 판단하는 객관적 기준이 됨을 알 수 있었다.

또한 물가름이 좋은 오목형(Y)이 저항성능도 우수할 것으로 예상하였으나 실제로 직선형(V)선형이 실험구간에서는 저항성능이 평균적으로 제일 우수함을 알 수 있었으며, 이는 물가름과 활주자세 사이의 상관관계가 저항성능에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

ITTC 1978 해석법을 근간으로 하여 유효마력을 추정한 결과 Fig. 14의 그림에서 보는 바와 같이 단면형상별로 유효마력은 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었으며, 해석법을 통해 실제 11knots로 항주하기 위해서는 약 23~24마력 정도가 필요하게 됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 저속 시 레저보트의 단면 형상이 내항성과 저항성능에 미치는 영향을 실험적, 수치적으로 평가하였으며, 단면형상별 레저보트 저항시험 및 내항성 해석결과, 직선형(V) 단면형상이 오목형(Y)에 비해 선수파일 때에 중동요와 상하동요 운동에 대한 내항성능에서는 상대적으로 불리하나, Fn 0.717까지의 단면형상별 평균저항감소는 직선형(V)이 유리함으로 저항성능 측면에서는 직선형(V) 단면형상이 고속선형에 가장 적합할 것이라 사료되며, 또한 생산측면에서도 오목형(Y)에 비해 직선형(V)이 제작에 편리함으로 전반적으로 직선형(V)이 유리할 것이라 판단이 된다.

향후 레저보트의 내항성 수치해석의 결과값과 실제 내항성 모형시험을 통한 검증은 수행할 예정이며, 고속예인전차 시험을 통한 실제 목표속도(25knots)일 때와 레저보트 최대속도에 대한 모형시험을 통해서 고속 항주 시에 저항성능, 트림 및 침하량의 계측을 통한 분석 및 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이 결과는 레저선박의 목적과 용도에 따른 단면형상 선택에 대한 기초연구자료로 활용되길 바라며, 다양한 시험을 통해서 보완할 계획임을 밝힌다.

후 기

본 연구과제는 지식경제부 해양레저장비경쟁력강화사업의 일환인 ‘3D제품 설계기반과 신제작 공법을 적용한 20feet 및 60feet급 파워보트 시제선 개발’(No.10037981)의 지원으로 수행되어졌습니다. 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Savitsky., D., 1964, "Hydrodynamic Design of planning hulls", Marine Technology, Vol.1, No.1, pp. 381-400.
2. Savitsky, D. and Brown., P. Ward, 1976, "Procedures for Hydrodynamic Evaluation of planning Hulls in Smooth and Rough Water", Marine Technology, Vol.13, No.4, pp. 381-400.
3. Vasconcellos, J. M. and Latorre., R., 1999, "Development of BOATDSS High Speed boat Design database", Ocean Engineering Journal, Vol. 26, pp. 891-904.
4. Ahn, H. S. and Yu, J. H., 2006, "Hull Form Development of Sailing Yacht with Sails and Appendages", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.30, No. 1, pp. 109-115.
5. Park, C. H., 2008, "Comparisons of Resistance Characteristics of the High-speed Planing Craft with Respect to the Number of Bottom Steps", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, No.8, pp. 583~588.
6. Lee, K. J. and Jo, K. H., 2009, "A study on the Improvement of Resistance Performance by Wedge for High-Speed Planing Hull form", KAOST