

탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트의 수선하부 저항성능에 관한 연구

신국환* · 송준희***†

A Study on the Resistance Performance Under Hull Form of 18ft Leisure Boat with Carbon Composite Materials

Guk Hwan Shin*, Jun Hee Song***†

ABSTRACT: When a ship with a planing line operates or turns in a straight line, the floating position and trim change according to the speed, and a large resistance is generated on the hull. In this paper, the resistance to a planing line was estimated through the computational fluid dynamics of a leisure boat with improved hull weight and durability by applying a carbon composite material to the hull. The resistance performance of the bow and stern of the 18ft class leisure boat was checked and the flow field of the entire vessel was estimated, and the stability of the planing line was confirmed by comparing the resistance of each trim through numerical analysis. In addition, it was confirmed that the designed planing line could withstand it sufficiently because the force applied to the hull was not large, and The stability of the boat was analyzed by calculating the wavelength of the wave and the length of the ship as the ratio of gravity to the inertial force and checking how much force the rolling occurred.

초 록: 활주 선형의 선박은 직선으로 운항하거나 선회할 때, 그 속도에 따라 위치와 트림이 변화하며, 선체에 큰 저항이 발생한다. 본 논문에서는 탄소복합소재를 선체에 적용하여 선체무게와 내구성이 향상된 레저보트의 전산유체역학을 통해 선형에 대한 저항을 추정하였다. 18ft급 레저보트의 선수부와 선미부의 저항 성능을 확인하고 선형 전체의 유동장을 추정하였으며, 수치해석을 통해 각 트림의 저항을 비교하여 선형에 대한 안정성을 확인하였다. 또한, 선체에 걸리는 힘이 크지 않아 설계된 선형이 충분히 견딜 수 있을 것을 확인하였고, 파도의 파장과 배의 길이를 관성력에 대한 중력의 비로 계산하여 롤링이 얼마의 힘으로 발생하는지 확인하여 보트의 안정성을 분석하였다.

Key Words: 탄소복합재료(Carbon composite materials), 레저보트(Leisure boat), 활주선형(Planing line), 트림(Trim), 전산유체역학(Computation fluid dynamics)

1. 서 론

사람들의 1인당 국민소득이 증가하면서 여가선용에 대한 욕구와 해양 레포츠에 대한 관심이 증대되고 있다. 우리

나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있고, 국내 어디에서도 바다로의 접근성이 좋으므로 앞으로 해양 레포츠 수요는 계속하여 증가할 것으로 예상된다. 이러한 해양 레포츠의 적극적인 보급을 위해서 정부에서는 요트를 비롯한 레저선

Received 20 November 2021, received in revised form 7 December 2021, accepted 13 December 2021

*Department of Convergence Technology Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

**Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

†Corresponding author (E-mail: sjhee@jbnu.ac.kr)

박을 계류하고 관리할 수 있는 마리나를 전국에 조성하고 있다[1].

활주 선형 선박은 여러 고속 선형 중에서도 빠른 편에 속해 임무수행 능력이 우수하고, 선저 형상이 단순하여 설계가 용이하다는 장점이 있다[2]. 활주 선형 선박은 고속으로 항주 시 중량의 상당 부분을 양력으로 지지하게 되며, 이때 선박의 부상량이 급격히 증가하게 되는데 이를 활주 상태라고 한다. 활주 상태에서는 종종 운항 중 과도한 트림각(Trim)을 갖게 된다. 이럴 경우 항해사의 가시영역이 줄어들 뿐만 아니라 해상 환경이 나빠질 경우 안 좋은 저항 성능 및 내항 성능을 보이게 된다[3].

실제 활주 선의 설계 시 포퍼싱(Porpoising)의 발생 여부를 확인해야 한다. 포퍼싱 현상이란 매끄러운 수면 위를 활주할 때 발생하는 피치(Pitch)와 히브(Heave)가 결합된 진동으로 진동의 진폭은 유지되거나 점차 증가할 수도 있다. 이 포퍼싱은 활주선에서 발생하는 특징적인 현상으로 운동이 심해져 선체(Hull) 전체가 수면 위로 드러나 구조적인 손상을 입을 수도 있으며, 이는 종 방향의 불안정성을 가져 선박의 안전성에 대해 크게 영향을 미친다[4].

Savitsky[5]는 주형활주선(prismatic planing hull)의 속력에 따른 선저와 차인의 침수길이, 자세각, 저항 및 유효마력의 계산식을 유도하였고, Lewandowski[6]는 활주 선의 수평면 안정성 해석을 위하여 활주 선의 주요 제원이 주어지면 선형 동유체력 미계수들을 구할 수 있도록 경험식을 제안하였다. Yoon[7]은 실선 시험 결과를 이용하여 고정부력선(Rigid hull inflatable boat)의 저항·추진 모델을 식별하였다. Yoon[8]은 20ft급 레저선박의 실선 시운전 절차를 제안하고, 그 결과를 통하여 20ft급 레저선박의 운동 특성을 분석하였다.

본 논문에서는 소형 선박에 많이 사용되고 있는 FRP(Fiber Reinforced Plastics) 재질의 선박이 아닌 탄소복합재를 적용한 18ft급 레저선박의 선수부 및 선미부의 저항 성능을 확인하였다. 또한, 선형 전체의 유동장을 추정하고 각 트림(Trim)에 대한 특성을 고려하여 선박의 안정성을 확보할 수 있도록 하였다.

2. 대상선박

2.1 주요제원

본 연구의 대상 선박은 최근 레저활동 인구의 증가에 따라 관심이 몰리고 있는 18ft급 해양레저보트로, 30마력 기준 최대 선속은 15노트, 승선인원은 1인~4인 가구가 함께 즐길 수 있는 4인승 규모의 소형 선박이다.

추진기관은 소형 레저보트에 널리 사용되고 있는 선외기(Outboard engine)를 설치하여 선미부(Stern)에 고정적으로 사용하지 않고, 탈부착이 가능하도록 장착되어 있다. 선체의 저항 성능을 추정하기 위해서 선외기의 부가물은 설

Table 1. Principal dimensions of leisure boat

Principal Designation		Unit	Value
Length	(O.A)	m	6.140
Length	(B.P)	m	5.900
Breadth	(MLD.)	m	1.970
Depth	(MLD.)	m	0.800
Draft	(D.L.W.L.)	m	0.270
Displacement	(∇)	kgf	740.00

치하지 않고 진행하였다. Table 1에는 대상 선박의 주요 제원을 나타내었다.

2.2 선체형상

본 연구의 선박은 활주형 선박으로 일반 배수량형 선박과는 달리 항해 시 그 부상량이나 자세 변화가 크고 자유표면에 스프레이(Spray) 현상이 존재하는 관계로 이론적인 접근이 어렵다. 따라서 지금까지는 주로 경험적인 방법이나 모형시험에 의존하여 연구개발이 수행되어왔다[9].

대상 선박의 선형은 선박에서 낚시 및 레저활동을 할 수 있도록 설계된 선박으로 고속을 위한 선형보다 폭을 넓게 설계하여 낚시 및 활동을 위한 안전성을 확보하였으며 공간을 확보하는 데 초점을 맞추어 설계되었다. 또한 선체의 전장 길이는 선박 검사 기준을 고려하여 5.9 m로 설정하였으며 일반적인 활주선 선형보다 준활주선 선형에 가깝게 설계되었다.

활주 선의 경우 일반적으로 차인(Chine)을 가지며, 이 차인은 고속에서 선체로부터 파도의 분리를 촉진시켜 충격 가속도를 감소시키는 역할을 한다. 속도계수가 낮은 경우에는 차인 폭이 좁은 것이 저항 성능에는 유리하지만 소형 선박의 경우에는 안정성 측면에서 어느 정도의 폭을 확보하는 것이 바람직하다[10]. 본 연구의 선박은 전장 약 6 m이며 최대 선폭은 약 2 m 정도 갖는다. 차인은 중앙부에서 선미에 걸쳐 수면 아래에 위치시켜 정지 상태에서도 횡 방향의 안정성을 확보하였다. 선체의 깊이는 종강도와 추진 성능에 큰 영향을 준다. 따라서, 종강도를 고려하여 선체의 깊이는 약 0.8 m로 결정하고, 단면 형상은 선저 부분을 일자형상으로 결정하여 동적 압력에 의한 선체의 부항성능을 향상시켰다.

선저 경사각은 내항 성능에 큰 영향을 주므로 활주선 설계 시 가장 중요하게 검토되어야만 한다[11]. 선저 경사각이 커질수록 파랑 중 선수부 상하 가속도가 줄어들어 승선감은 좋아지나, 선저 경사각이 너무 커지면 추진 효율이 낮아지는 문제가 있다. 따라서 본 연구의 선박은 선저 경사각을 약 32°로 선정하여 안정성과 승선감에 좀 더 중점을 두었다. 본 대상 선박의 형상은 Fig. 1과 같이 나타내었다.

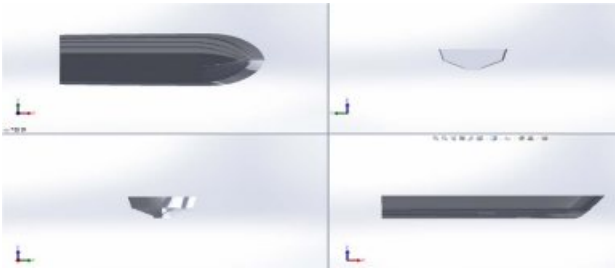


Fig. 1. Hull shape of 18ft leisure boat

2.3 선체구조

본 연구에서는 탄소복합소재를 선체(Hull)와 데크(Deck)에 적용하여 적층 수 감소를 통한 선체 무게 절감과 내구연한 상승을 중점을 둔 선박이다. 본 연구에 사용된 탄소복합소재의 특성은 Table 2에 나타내었다.

탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트는 기존 18ft급 FRP 선박과 비교하여 선체의 적층 수가 11 Ply에서 8 Ply로 절감하였고 무게는 약 30% 정도 감소하였다. 또한, 인장강도에서도 기존 선박 대비 약 250%의 상승된 강도를 확인하였다. 이러한 개선된 효과를 통해 선형 전체의 유동장을 추정하고 각 트림(Trim)에 대한 특성 분석하여 선박의 안정성을 확보하고자 하였다. 대상 선박의 적층 순서는 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 NC는 논슬립코팅, PU는 우레탄스폰지 450 g/m²은 매트, R은 로빙 600 g/m²이다.

Table 2. Fiber properties of Carbon T-700

Property	Unit	Metric
Tensile Strength	MPa	4,900
Tensile Modulus	GPa	230
Strain at Failure	%	2.10
Filament Diameter	g/cm ³	1.80
Density	μm	7.00
Yield	g/m	0.80

Table 3. Material arrangement of hull surface

Items	Lamination later
Deck	PLATE NC +M+(M+C)×2+M
	BEAM 30*30PU+M+R+M+M
	GIRDER 30*30PU+M+R+M+M
	FLOOR 50*50PU+M+(M+C)×2+M
Hull	FRAME 30*30PU+M+R+M+M
	B. H. D M+(M+R)×2+2M
	LONGI 30*30PU+M+(M+R)+2M
	KEEL M+(M+C)×3+M

3. 수치해석 방법

3.1 연구개요

CFD는 관심 영역을 수많은 작은 영역으로 나누고, 각각의 작은 영역에 보존법칙들을 적용하여 비선형 편미분 방정식을 선형화하여 근사적인 해를 얻는 방법으로 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어 발전에 힘입어 급속히 발전하고 있는 분야이다[12].

본 연구에서는 Star-CCM+ 범용전산유체역학 프로그램을 이용하여 탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트의 선수부, 선미부의 저항 성능을 확인하고 선형 전체의 유동장을 추정하였다. 18ft급 레저보트는 하나의 하드차인(Hard chine)을 가지고 있으며 최대 선속은 15노트로 설정하였다.

수치해석은 윤현규 등 2016년도에 발표한 “정수중을 활주하는 고속선의 6자유도 운동 모델링 및 시뮬레이션”에서 나오는 트림의 각도를 참조하여 나타내었다. 이와 같이 선형 전체의 유동장을 추정하여 트림의 저항을 확인하고 특성을 분석하였다.

3.2 지배방정식

본 연구에서는 비압축성 정상 난류 유동으로 가정하여 이에 관한 지배방정식으로 연속방정식(Continuity equation)과 RANS 방정식(Reynolds Averaged Navier Stokes equation)을 식 (1)과 식 (2)와 같이 직교좌표계로 표현하였다.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (U_i U_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} \quad (2)$$

여기서, $U_i = (u, v, w)$ 를 의미하며 좌표축 $X_i = (x, y, z)$ 방향의 평균속도 성분, τ_{ij} 는 점성과 난류에 의한 유효응력, p 는 정압이다. 각 성분들이 선박의 속도 V , 선박의 길이 L , 유체의 밀도 ρ 로 각 무차원 식이다.

유효응력을 Boussinesq의 등방성 와점성 모형(Isotropic eddy viscosity model)을 이용하여 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_{ij} = \nu_e \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (3)$$

$$\nu_e = \nu_t + \frac{1}{Rn} \quad (4)$$

여기서, k 는 난류의 운동에너지이며 식 (4)와 같이 ν_e 는 유효점성계수(Effective viscosity)로 난류 와점성(Turbulent eddy viscosity) ν_t 와 유체의 운동학적 점성계수 ν 를 더한 계수이다.

3.3 난류모델

본 연구에서는 사용 프로그램인 ANSYS FLUENT를 사용하였으며, 자유표면 해석을 위하여 VOF(Volume of Fluid) 모델을 사용하였다. 유동은 비압축성 유동으로 전 영역에 대하여 난류 흐름으로 계산하였으며, 난류 모델은 *realizable k-ε two layer*를 사용하였다.

벽면 근처 영역은 난류 경계층이 매우 얇고 해의 구배는 매우 크다. 벽면 근처 영역에서 정확한 해를 얻는 것이 수치해석을 성공적으로 수행하기 위해 중요한 요인으로 이를 위해서 y^+ 값을 유지할 수 있도록 *two layer All y^+ wall Treatment*를 혼합해서 사용하였다.

본 연구에서 선택한 난류 모델은 식 (3)의 유효응력, 즉 레이놀즈 응력을 계산하기 위해 사용하며, 식 (5)와 같이 k 는 난류 운동에너지이며, ϵ 은 소산율(Dissipation rate)로 나타낸다.

$$k = \frac{\overline{\mu'^2} + \overline{\nu'^2} + \overline{w'^2}}{2} \quad (5)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

realizable k-ε 모델에서 에디 점도는 식 (6)과 같이 표현된다. 여기서 C_μ 는 무차원 상수이며 전단응력과 와도의 함수이다. 이를 와점성 계수라고 하는데 이는 식 (7), 식 (8), 식 (9)와 같이 정의된다.

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_S U^{(*)} \frac{k}{\epsilon}} \quad (7)$$

$$U^{(*)} = \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \overline{ohm_{ij}} \overline{ohm_{ij}}}, \quad \overline{ohm_{ij}} = ohm_{ij} - 2\epsilon_{ijk} w_k \quad (8)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij} S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right), \quad W = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{\sqrt{S_{il} S_{il}^3}} \quad (9)$$

여기서, S 는 Strain rate tensor이며 $\overline{ohm_{ij}}$ 는 rate of rotation tensor이다. 이를 이용하여 k 와 ϵ 의 수송방정식의 해를 구할 때 사용할 수 있으며, 수송방정식은 식 (10), 식 (11)과 같다.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \mu k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \mu \epsilon)}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + \rho C_1 S_i - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} \\ &+ C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} P_b + S_\epsilon \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 P_k 는 속도 구배로 인해 발생한 난류 운동에너지이며, P_b 는 부력으로 인해 발생한 난류 운동에너지를 의미한다. C_2 는 경험 상수이며, σ_k 와 σ_ϵ 은 k 와 ϵ 의 난류 프란틀 수(Turbulent Prandtl Number)이다. 이와같은 상수들은 식 (12)와 같이 정의된다.



Fig. 2. Symmetry condition on hull surface



Fig. 3. Grid arrangement on hull surface

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S_\epsilon^k, \quad C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_2 = 1.9, \quad \sigma_k = 1, \quad \sigma_\epsilon = 1.2 \quad (12)$$

본 연구에서는 탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트의 경우 외해 특성 상황에서는 운항이 어려운 보트로 표준 스펙트럼을 활용하여 수치해석을 수행하였다.

3.4 해석조건

수치해석을 위한 해석 영역은 Fig. 2와 같이 원점에서 선 수부 방향으로 선체 길이의 1.5배, 선미부 방향으로 4.5배로 하였으며 폭 방향으로 3배로 설정하였다.

격자는 Y^+ 를 계산하여 격자 크기를 정하였으며, Star-CCM+의 정규 격자체인 Trimmed hexahedral 격자를 사용하였다. Trimmed 격자의 경우 작은 수의 격자를 사용하여 선체 주변의 자유 수면 해석에 유리하며 수렴성 또한 높아 선체 해석 시 주로 사용된다.

격자 계수는 Fig. 3과 같이 약 120만 개로 진행하였으며, Y^+ 또한 30~70 사이의 값으로 설정하여 진행하였다. 직교 좌표계로, 원점은 선체의 중앙부의 상부에 위치해 있으며, 유동 방향이 음(-)의 x 축이며 선박의 좌현이 양의 y 축, 중력 방향의 반대 방향이 z 축이다.

해석은 “정수중을 활주하는 고속선의 6자유도 운동 모델링 및 시뮬레이션”의 상황을 무차원화 수인 프루드 수에 맞추어 식 (13)과 같이 상사하였다. 여기서, λ 는 파장, U 는 선박의 속도, g 는 중력가속도이다.

$$Fn = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi L}} = \frac{U}{\sqrt{gL}} \quad (13)$$

Fn 는 선체가 일으키는 파랑(Wave)의 파장과 선체 길이의 비의 제곱 근으로 생각할 수 있으며, 고속선은 선체에 의해 생성된 파랑의 파장이 선체 길이에 비해 상당히 긴 선형임을 알 수 있다. 또한, 프루드 수는 선박의 비교 선속, 선박의 길이, 배수량과 관련 있는 계수로 관성력에 대한 중력의 비로 해석될 수 있다.

Table 4. Main numerical analysis conditions

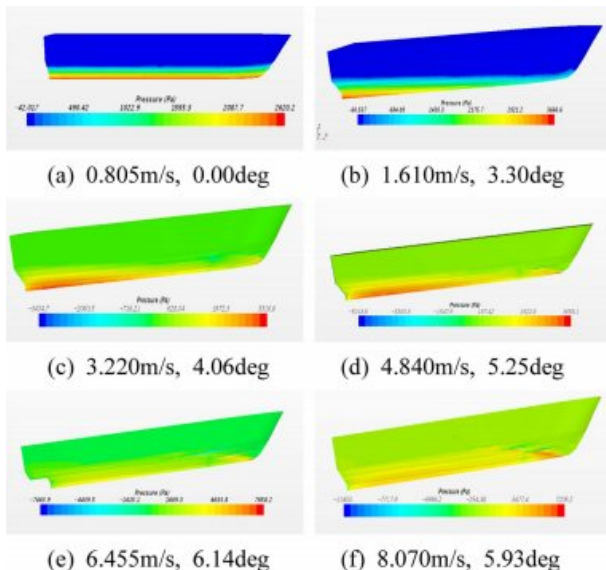
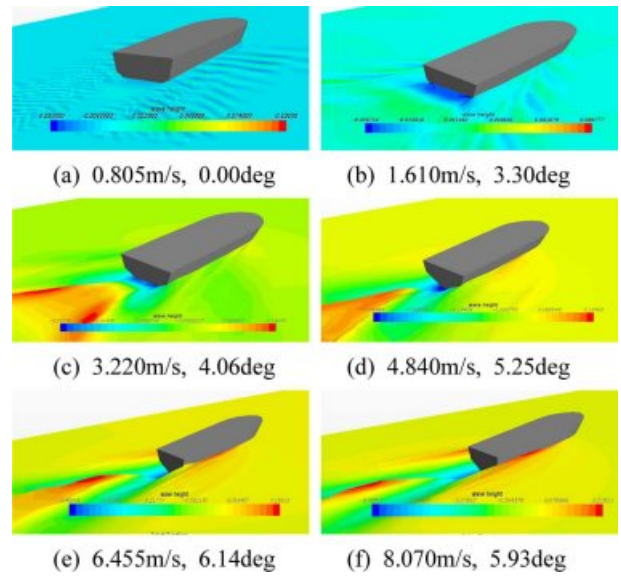
Division	Velocity of Flow	Trim Angle	Froude Number
CASE 1	0.805 m/s	0.00 degree	0.115
CASE 2	1.610 m/s	3.30 degree	0.230
CASE 3	3.220 m/s	4.06 degree	0.460
CASE 4	4.840 m/s	5.25 degree	0.690
CASE 5	6.455 m/s	6.14 degree	0.920
CASE 6	8.070 m/s	5.93 degree	1.150

탄소복합재를 적용한 18ft급 레저보트에 대한 수치해석은 Table 4와 같이 6가지의 유속과 트림 각도를 기준으로 수행하였으며, 선체에 걸리는 저항을 확인하고 파의 최대 높이와 침수 표면적, 걸리는 힘, 압력 등을 분석하여 선박의 안정성을 확보하고자 하였다.

4. 수치해석 결과

탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트의 유속과 트림 각도에 따라 선체에 걸리는 저항은 Fig. 4의 그림과 같으며, 파랑에 의한 선체에 걸리는 압력을 나타낸다. Fig. 5는 유속과 트림 각도에 따른 파의 형상을 보여주며, 선체의 활주 상태와 선미부 후류의 높이를 나타낸다.

유속과 트림이 (a), (b)와 같이 1.610 m/s, 3.3 deg 이하에서는 상대적으로 느린 속도로 인해 선형과 파가 만나더라도 선체의 후미에 파의 생성이 크지 않음을 보이고 있으며, 속도 대비 적정 트림이 발생해 압력이나 파형이 안정적인 켈빈파형(Kelvin's wave pattern)이 생성됨을 보이고 있다. 선체의 최대 압력은 약 3.67 kPa이며 침수표면적은 0.0078로 최

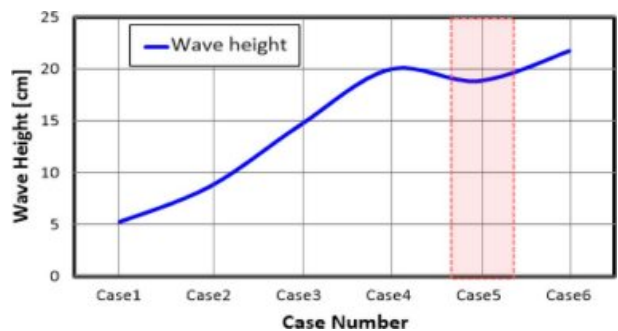
**Fig. 4.** Analysis result of pressure and motion for waves**Fig. 5.** Analysis result of the shape for waveform

대 걸리는 힘은 약 143.6 N의 힘을 받고 있다.

유속이 빨라지는 지점인 (c) 지점에서는 유속이 빨라 선체의 후류에 생기는 파의 형상이 선체의 고속인 상황에서 나오는 후류와 유사하게 나타남을 보이고 있다. 압력은 트림 각도가 커져 최대 약 33.32 kPa로 나타나며 침수표면적은 0.00578, 최대 걸리는 힘은 약 623.62 N으로 (b) 지점에 비해 선체에 미치는 힘이 급격히 커지는데 이는 속도 대비 트림 각이 적어 파가 선체에 영향을 주는 경향으로 판단된다.

유속과 트림이 (d)와 같이 4.840 m/s, 5.25 deg에서부터 선체가 활주로 들어가며, 선미부 후류에는 파의 높이가 급격히 다른 부위에 비해 낮아져 있음을 확인하였다. 또한, 파가 선저부의 스텝(Step)에서 분리됨을 보이고 있다. 걸리는 압력은 최대 약 5.02 kPa이며 침수표면적은 0.0048, 최대로 걸리는 힘은 약 1130.14 N의 힘을 받고 있다.

(e), (f) 지점에서는 파가 선체에 미치는 영향이 커짐에 따라 선체에 걸리는 압력은 늘어난 것을 확인하였고, 침수표면적은 (e) 지점에서 줄어들었다가 (f) 지점에서 늘어난 것을 확인하였다. 이는 파가 선체에 미치는 영향이나 트랜섬

**Fig. 6.** Wave height according to case number

(Transom)에 미치는 영향이 고속으로 들어오는 파가 분리됨으로 영향이 없어 침수표면적은 오히려 줄어든 것으로 판단된다. 걸리는 압력은 (e), (f) 각각 약 7.93 kPa, 11.45 kPa이며, 침수표면적은 0.00456, 0.00476이다. 최대로 걸리는 힘은 각각 약 1621.31 N, 2224.87 N임을 알 수 있으며, 파의 최대 높이는 21.8 cm까지 올라오는 것을 확인하였다.

Fig. 6과 같이 파의 최대 높이는 유속이 빨라짐으로 점차 커짐을 알 수 있다. 유속이 변할 때 선형적으로 파의 높이 또한 높아짐을 확인하였고, 충분히 준활주선으로 선형이 파의 높이에 대한 안정성을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, Case 5의 경우 트림이 상대적으로 가장 큼에 따라 파의 높이가 선체에 영향을 미치지 못하고 선저의 스텝 부분에서 분리됨을 예상할 수 있다.

침수표면적은 Fig. 7 그림과 같이 각 푸루드 수(Froude

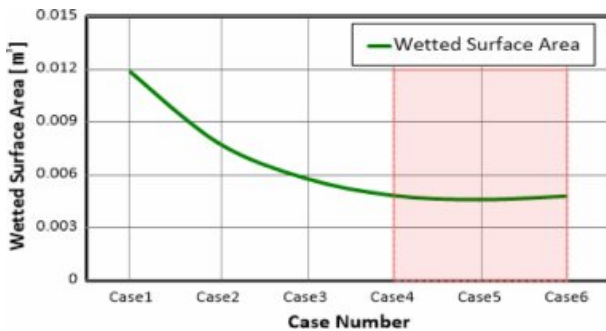


Fig. 7. Wetted surface area according to case number



Fig. 8. Force according to case number

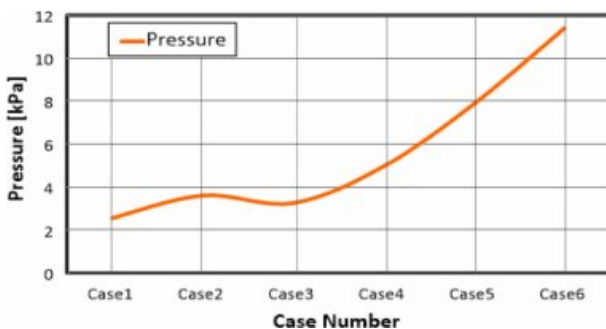


Fig. 9. Pressure of hull surface according to case number

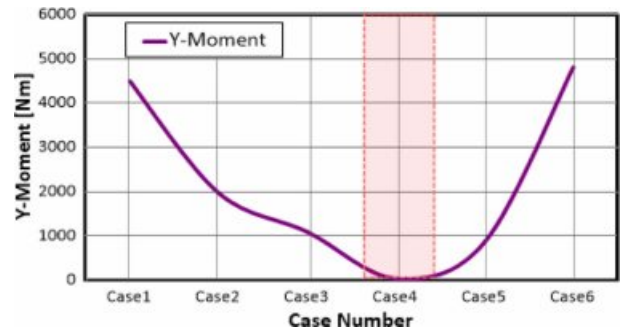


Fig. 10. Y-Moment according to case number

number)의 유속에 대한 트림이 선형적으로 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다. Case 4부터 안정적인 활주 상태로 들어서고 있음을 예상할 수 있다.

선체에 걸리는 힘은 Fig. 8과 같이 유속에 따라 유체의 동유체역학적 힘이 선형적으로 선체에 걸림을 확인할 수 있으며, 선체에 걸리는 힘이 크지 않아 설계된 선형이 충분히 견딜 수 있을 것으로 판단된다. 또한, Fig. 9와 같이 선체에 걸리는 압력도 선형적으로 증가함을 확인하였으며, 특히 Case 1~Case 3의 경우에는 크게 증가하지 않다가 Case 4부터 점차 압력이 크게 상승하는 것을 나타낸다.

Fig. 10은 세로 방향(Y-Moment)의 롤링(Rolling)이 얼마의 힘으로 발생하는지 확인하기 위해 좌표 값을 절댓값으로 표현하였다. Case 1의 트림이 없는 경우에는 Case 4와 Case 5, 즉 푸루드 수 0.69~0.92 사이에서 보다 크게 작용함을 보이고 있으며, 이 푸루드 수를 넘어선 이후 롤링이 점차 커짐을 보이고 있다. 이는 푸루드 수 0.69~0.92에서 롤링에 대한 안정성이 확보될 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 탄소복합소재를 적용한 18ft급 레저보트의 수선 하부 저항 성능을 확인하기 위해 유속과 트림 각도를 기준으로 선체에 걸리는 저항을 분석하였다. 이에 대한 주요 내용은 다음과 같다.

1. 3.220 m/s, 4.06 deg 지점에서 선체에 걸리는 압력이 약 9배, 힘은 약 4.5배 급격히 커지는 것을 확인하였고, 이는 속도 대비 트림(Trim) 각도가 작아 파가 선체(Hul)에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

2. 4.840 m/s, 5.25 deg 지점부터 선체가 활주로 들어가며, 선미부 후류에는 파의 높이가 급격히 낮아지는 것을 확인하였고, 압력은 약 5.02 kPa, 침수표면적은 0.0048, 힘은 약 1130.14 N의 값으로 나타났다.

3. 6.455 m/s, 6.14 deg 지점부터 파가 선체에 미치는 영향이 커짐에 따라 선체에 걸리는 힘과 압력이 점진적으로 커지는 것을 확인하였고, 트림이 상대적으로 가장 큼에 따라 파의 높이가 선체에 영향을 미치지 못하고 선저의 스텝(Step)

부분에서 분리될 것으로 판단된다.

4. 4.840 m/s, 5.25 deg 지점에서 힘과 압력이 크게 상승하는 것을 확인하였지만 선체에 걸리는 힘이 크지 않아 설계된 선형이 충분히 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

5. 선체의 세로방향(Y-Moment)의 롤링(Rolling)이 얼마의 힘으로 발생하는지 확인하였으며, 푸루드 수 0.69~0.92에서 크게 작용함을 확인하였고, 이 푸루드 수를 넘어서 이후 롤링이 점차 커짐을 확인하였다. 이는 푸루드 수 0.69~0.92에서 롤링에 대한 안정성이 확보될 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Youn, H.K., and Kang, N.S., "Modeling and Simulation of the 6 DOF Motion of a High Speed Planing Hull Running in Calm Sea," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 53, 2016, pp. 10-17.
2. Karimi, M.H., Seif, M.S., and Abbaspoor, M., "A Study on Vertical Motions of High-speed Planing Boats with Automatically Controlled Stern Interceptors in Calm Water and Head Waves," *Ships and Offshore Structure*, Vol. 10, No. 3, 2015, pp. 335-348.
3. Kim, D.J., Park, J.Y., and Lee, J.H., "Effects of Trim Tabs on Running Attitude and Resistance Performance of a Water-jet Propelled High Speed Vessel," *Journal of the Korean Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 2011, No. 11, pp. 3-4, 2011.
4. Shin, G.H., and Song, J.H., "Computational Fluid Analysis to Verify the Fluid Performance of Vessel Equipped with the Out-board Floating Plate," *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 23, No. 3, 2021, pp. 485-491.
5. Savitsky, D., "Hydrodynamic Design of Planing Hulls," *Marine Technologies*, Vol. 1, No. 4, 1964, pp. 71-95.
6. Lewandowski, E.M., "Transverse Dynamic Stability of Planing Craft," *Marine Technology*, Vol. 34, No. 2, 1997, pp. 109-118.
7. Yoon, H.K., Yun, K., and Park, I., "Identification of Four-DOF Dynamics of a RIB Using Sea Trial Tests," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 43, No. 1, 2006, pp. 63-68.
8. Yoon, H.K., Seong, E., Kang, N., and Sin, I., "Motion Analysis of 20ft Semi-planing Power Boat Using Sea Trial Test," *International Symposium on Naval Architecture and Maritime*, Istanbul, Turkey, Vol. 23-24, 2014, pp. 569-578.
9. Karimi, M.H., Seif, M.S., and Abbaspoor, M., "A Study on Vertical Motions of High-speed Planing Boats with Automatically Controlled Stern Interceptors in Calm Water and Head Waves," *Ships and Offshore Structure*, Vol. 10, No. 3, 2015, pp. 335-348.
10. Koelbel, J.G., "Performance Prediction," *Small Craft Engineering Resistance, Propulsion and Sea Keeping*, SNAK, 1978.
11. Kihara, K., and Ishii, T., "A New Method of Initial Design for High Speed Craft(2)," *Trans. of WJSNA*, Vol. 72, 1986, pp. 293-300.
12. Jeong, U.C., "Initial Hull Form Design of High-Speed Leisure Boat," *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 9, No. 2, 2007, pp. 25-30.