

3미터급 카본 카약의 저항성능 및 구조 안전성 연구

서광철* · 이경우** · 박주신***†

*, ** 목포해양대학교 조선해양공학과, *** 삼성중공업 중앙연구소

Resistance and Structural Safety of a 3M Carbon Fibrier-based Kayak

Kwang-Cheol Seo* · Gyeong-Woo Lee** · Joo-Shin Park***†

*, ** Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

*** Central Research Institutes, Samsung heavy industries, Geoje 53261, Korea

요 약 : 최근 수상 레저 사업장과 레저기구의 개수는 지속해서 성장하고 있다. 수상레저기구 중에서도 카약과 카누의 보급률이 크게 증가하고 있다. 기존에는 주로 FRP 재료를 사용하여 제작하였으나, 지구온난화, 천연자원 고갈 등의 문제로 인해 청정에너지 및 신재생 에너지에 대한 필요성이 대두됨에 따라 탄소섬유에 대한 수요도 빠르게 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 사회적인 변화 의식에 부합하기 위하여, 탄소섬유를 적용한 보급형 카약을 설계하고, 제품의 신뢰성을 검증하기 위하여 저항성능 및 구조 안전성 평가를 수행하였다. 속도 변화에 따른 압력저항과 마찰저항 변화를 검토하였으며, 속도 2.6 m/s 이상에서는 압력저항이 크게 증가하면서 전체저항이 커지는 현상이 발생한다. 현재 카약 구조는 운용 시 고려할 수 있는 설계하중을 고려 시, 충분한 안전율을 갖고 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 카본섬유, 카약, 수중레저, 저항, 구조 안전성

Abstract : Leisure and business facilities have been steadily developing in Korea. Among waterborne leisure vessels and equipment, the distribution and sale of kayaks and canoes have significantly increased. Previously, (FRP) materials were primarily employed for constructing kayaks. However, owing to global warming and depletion of natural resources, the demand for non-polluting renewable energy is rapidly increasing, which has increased the demand for carbon fibers. To meet the requirements of changing social consciousness, a carbon fiber-based commercial kayak was designed in this study. Resistance analysis and structural safety were conducted by employing software tool for verifying the reliability of the proposed kayak. The pressure resistance and frictional resistance were examined in a wide range of speed. Obtained results indicate that at speeds greater than 2.6 m/s, the pressure resistance significantly increases and the total resistance also increases. Furthermore, the results corroborate that the proposed kayak structure has a adequate safety with respect to the design loads that are considered during operating conditions.

Key Words : Carbon fiber, Kayak, Waterborne leisure, Resistance, Structural safety

1. 서론

해외 선진국의 경우 무동력 수상 레저 분야에서 카약, 카누를 포함한 노 보트 종류가 대중적인 인기를 누리고 있으며, 관련 산업 및 법규 또한 잘 정비가 되어 있다(Jang et al., 2015). 한국의 경우, 2013년 기준 수상 레저 사업장과 레저기구는 각각 908개소, 11,048개로 파악되고 있으며, 연평균 성장률을 사업장은 2.7%, 수상 레저 기구는 5.0%의 성장세를 나타내고 있다(수상 레저 사업장 현황; Open Data Portal, 2018).

해수면과 내수면을 비교하였을 때, 사업장 기준 해수면은

42.8%, 내수면은 57.2%이고 수상레저기구 기준으로는 해수면이 39%, 내수면이 61%를 차지한다. 동력과 무동력을 비교 했을 때, 동력은 16%, 무동력은 84%로 무동력이 동력에 비해 훨씬 많은 비중을 차지하고 있다.

본 연구에서는 앞서 언급한 수상 레저 활동 인구 및 저변 확대에 따른 수요가 급증하고 있는 카약에 대한 보급형 모델 개발에 관련한 기본적인 검토 분야인 유체운동과 그로 인한 구조 안전성 검토를 수행하고, 그 결과를 시제품 개발에 반영하였다. 본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다.

Cho et al.(2010)는 FRP 재료를 대체하기 위하여 고밀도 폴리에틸렌을 사용하여 수상레저기구 중 한 가지인 카누를 제

* First Author : kcseo@mmu.ac.kr, 061-240-7303

† Corresponding Author : scv7076@nate.com, 055-630-9613

작하였다. 카누에 대한 유동해석은 ANSYS CFX 12.1을 이용하였고, 유동해석 결과의 압력분포를 구조해석의 입력 하중으로 변환하고 패들러 하중을 고려하여 구조해석을 수행하였다. 제작된 모델에 대한 운항시험은 강원도 삼척항에서 덕산항까지 수행하였으며 1인용 패들러와 2인용 패들러 및 3인용 패들러가 승선했을 때의 직진성, 선회성능을 평가하였다. 폴리에틸렌을 적용하면서 기존 제작방법 대비 75%의 기간 감소가 발생하였으며, 관재의 접합이 매우 효율적임을 확인하였다. 운반성과 선회성 및 속도는 기존 FRP에 비해 다소 떨어지나, 직진성과 안전성은 우수하여 레저활동을 하는데 적합함을 증명하였다.

Bugalski(2010)는 올림픽 경기용 카누의 유체역학적 관점에서 최적설계를 위해 전산수치해석을 통한 정적 및 동적자세에서의 저항성능 예측 및 개발된 선형에 대해 모형실험을 통한 성능을 확인하였다. 개발된 선형은 2008 베이징 올림픽에서 그 성능을 입증하였다.

Seong et al.(2014)는 레저용 카약 디자인 설계를 위한 사용자 의사결정 지원 시스템을 제안하였다. 이를 위하여 기존 연구 및 문헌, 소비자 설문 조사를 통해 카약 디자인 관련 감성을 선정하고, 요인분석과 평가로 감성을 도출하여 고객 감성 선호측면에서의 카약 디자인 배열을 제시하였다. 주요 연구의 결과는 수상레저 스포츠에서 활용되는 기구의 다양한 디자인 가이드로 활용될 수 있으며, 사용자 중심 설계의 기반으로 구성되어 있다.

Kim et al.(2016)는 탄소섬유 복합재료를 적용한 카누 모델을 대상으로 하여, 카누의 흘수 변화에 따른 저항성능을 수치해석을 수행하였다. 유동해석은 STAR-CCM+를 이용하였다. 흘수가 0.09 m일 경우에는 4 m/sec 미만의 선속으로, 흘수가 0.24 m이면 2 m/sec 미만으로 운항하면 안전하다고 판단하였으며, 재료의 변경으로 인하여 기존대비 중량이 20% 절감함을 확인하였다.

Jeong et al.(2017)는 해양레저보트의 구조 강도 평가를 위한 구조 실험 설비의 개발에 관해서 연구하였다. 개발된 설비는 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP) 재료를 이용하고, 실험에 필요한 지그와 하중 적용 그리고 제어하는 모듈로 구성되어 있다. CFRP로 제작된 레저 선박의 선체와 같은 재료, 적층 설계 안 그리고 제작 공법을 사용하여 총 5개의 시험용 판 구조물을 제작하고, 외관에 횡 분포 하중을 적용하였다. 평균 폭 대 두께 비가 70인 이들 두꺼운 시험용 판 구조물의 응답성은 선형 가변 위치 센서와 스트레인 게이지로부터 처짐량과 변형률 분포를 계측하였다. 시험설비 운용 결과 일관성 있는 하중-처짐 곡선과 변형률-하중 곡선을 얻었으며, 추후 레저 선박 구조설계 규정의 적합성을 확인하는데 기초자료로 활용될 것으로 예상된다.

Ko(2018)는 해양 레저선박의 재료로 널리 활용되고 있는 FRP(Fiber Reinforced Plastic) 복합재료를 주 구조부재로 하는 8 m급 고속 활주선형의 설계안에 대한 구조강도 평가를 수행하였다. 한국선급의 적용지침을 적용하였고, 해석결과를 실제 제작 부재 시험편에 대한 강도 시험 결과와 비교하여 요구 강도를 충분히 만족함을 확인하였다.

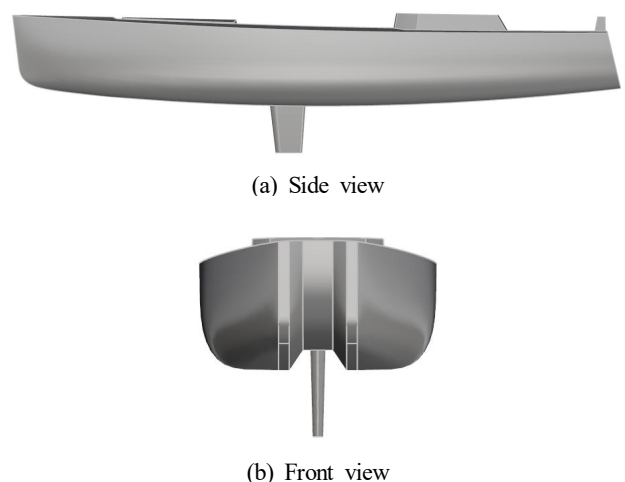
Lim et al.(2018)는 다량어 선망어선 탑재용 보조 작업선의 추진기 타입 변화에 의한 선형 개선 연구를 수행하였다. 전산 수치해석을 이용하여, 선박의 유체성능 변화를 계산하였으며, 이를 모형선 수조시험 결과와 비교하였다. 수치해석 및 1/7 축소모형의 비교 결과, 기존의 네트보트 대비 45-58% 저항성능이 크게 향상되었으며, 이는 철망 제거에 의한 단순 침수표면적 및 선형개선의 의한 저항성능 향상을 확인하였다.

본 연구에서는 최근 보급형 수상레저 활동에서 주로 활용되고 있는 소형 카약을 개발하는 데 있어서, 친환경 소재인 탄소섬유를 적용한 설계안 및 적용성을 검증하기 위한 구조 안전성 검토 결과에 대해서 언급하고 있다. 각 지방자치 협의회에서는 지방 관광자원 활성화를 위하여 이러한 레저용 기자재를 적극적으로 검토하고 있는 점이 본 연구의 주요 동기가 되었다. 본 연구를 통하여 도출된 주요 결과는 수상레저 활동용 기자재와 주요 기구에 대한 구조 안전성 평가 분야에 관련한 기초적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

2. 카본 카약 운동해석

2.1 유체성능 평가 모델 및 제원

Fig 1에서는 개발제품인 카본 카약 모델에 대해서 나타내고 있다. 수치해석을 위하여 상용코드인 STAR-CCM+를 사용하였으며, 계산영역 및 격자의 크기는 모두 실선 기준이다.





(c) Plan view

Fig. 1. Carbon Kayak model.

Table 1에서 언급한 카본 카약의 주요치수 및 배수량 정보를 나타내고 있다. 상용화 모델 개발에 적용된 재료는 TORAYCA사가 개발한 T300 탄소섬유 물성값을 적용하였으며, 자세한 제원은 Table 2에 명시되어 있다. 탄소섬유는 철의 1/4의 무게, 철의 10배의 강도, 7배의 탄성률을 가진 매우 가벼우면서도 강한 소재이다. 지구온난화, 천연자원 고갈 등의 문제로 인해 청정에너지 및 신재생 에너지에 대한 필요성이 대두됨에 따라 탄소섬유에 대한 수요도 빠르게 증가하고 있다.

Table 1. Principal of dimension

Dimension	Value
LBP	3.35 m
Breath	0.87 m
Depth	0.75 m
Draft	0.15 m
Wetted area	3.18 m ²
Displacement*	234 kg

Note; * displacement included one person weight of 100 kg

Table 2. Material properties of carbon fiber (TORAYCA T300)

Properties	Specification
Elastic Modulus	230,000 MPa
Poisson's ratio	0.23
Density	1.76 g/cm ³
Tensile Strength	1,820 MPa
Tensile Strain at yield	20 %
Tensile Strain at break	60 %

2.2 수치해석 기법

본 연구에서는 수치해석을 수행하기 위해 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+ ver.10.04을 사용하였다. 수치해석을 위한 계산영역 및 격자의 크기는 실선을 기준으로 하였다. 수치해석 결과값의 신뢰성을 위해 사용한 수치해석 기법은 선형

검증연구(Kim et al., 2017)를 통해 사용된 기법을 적용하여 수행하였다.

수치해석 도메인의 크기 및 경계조건을 Fig. 2에 나타내었다. 수치해석 도메인의 크기는 선체에서 발생한 자유 수면이 계산 영역의 입구, 출구 및 대칭 경계조건에 의해 왜곡되지 않도록 ITTC(ITTC, 2011)에서 제안된 권장 길이를 만족하게 설정하였다.

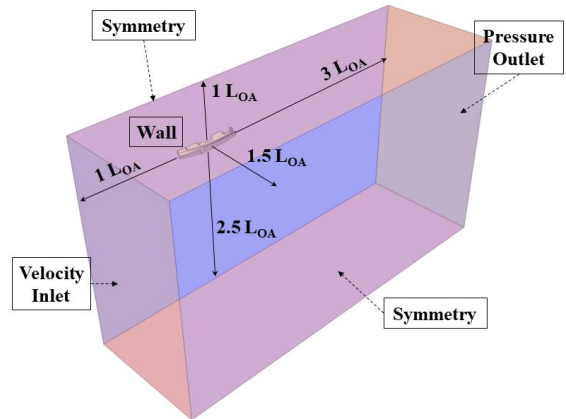


Fig. 2. Analysis model range and boundary condition.

본 계산을 위해 적용된 좌표계는 유동의 반대방향이 양의 X축이고, 선박의 좌현이 양의 Y축이며, 중력의 반대방향이 양의 Z축으로 하는 직교 좌표계를 사용하였다. 비정상상태, 비압축성 및 점성유동으로 가정하여 계산을 수행하였다. 이에 대응하는 유체의 지배방정식은 연속방정식과 RANS (Reynolds-averaged Navier- Stokes) 방정식으로 식(1), (2)과 같이 나타낸다.

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

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} + g_i \quad (2)$$

여기서, U_i 는 유속, x_i 는 공간좌표, ρ 는 밀도, P 는 압력, ν 는 동점성계수, g_i 는 중력가속도이다.

선체표면 및 공간 격자 생성은 선체 주위의 유동과 자유 수면의 영향을 정밀하게 해석하기 위해 Fig. 3과 같이 Trimmed mesh를 사용하였으며, 유동특성이 복잡한 영역에 격자를 조밀하게 구성하였으며, 선체 표면의 경계층 표현을 위해 Fig. 4와 같이 Prism layer를 사용하였다.

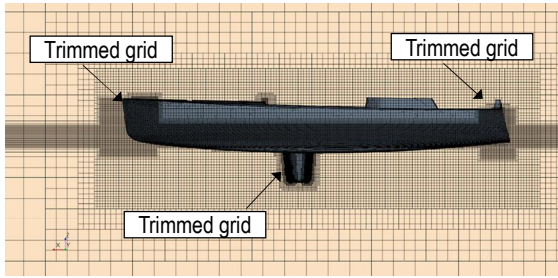


Fig. 3. Finite element model and mesh condition.

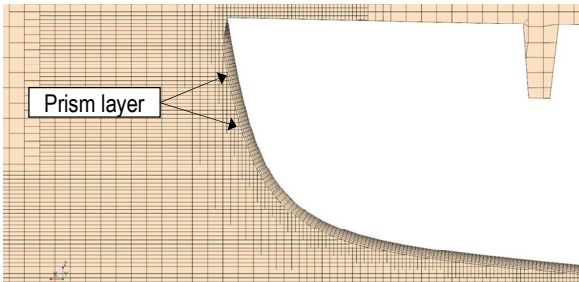


Fig. 4. Prism layers around the hull.

계산의 속도조건은 실제 카약의 속도를 기반으로 $Fr = 0.25 \sim 0.46$ 의 속도 범위로 설정하였다. 수치해석에 사용한 기법들을 Table 3에 정리하였다.

Table 3. The detailed information for numerical application

Basic function	Specification
Governing Equation	Reynolds-Averaged Navier-stokes
Time	Implicit Unsteady
Time-step	0.001s
Temporal Discretization	Second-Order Upwind
Turbulent Model	SST (Menter) $k-w$
Wall Treatment	All Y^+ Treatment
No. mesh	abt. 1,400,000
First grid thickness	0.9059 mm
Y^+ Value	abt. 33
Spatial Discretization	Cell Centered FVM
Velocity/Pressure Coupling	SIMPLE Algorithm
Multiphase Model	VOF (Volume of Fluid)
Free Surface Problem	HRIC Schemes
Body motion	Fixed condition

2.3 유체성능해석 결과

카약 선형에 대해 4개의 속도별 유체성능 해석을 위해 수치해석을 수행하였으며, 속도별 저항성능을 마찰저항(Friction resistance, R_f) 및 압력저항(Pressure resistance, R_p) 그리고 이를 합한 총저항(Total resistance, R_T)으로 나누어 Fig. 5와 같이 비교하였다. 압력저항이 마찰저항과 비교하였을 때, $Fr = 0.46$ 부터 급격하게 증가함을 확인하였다. Fig. 6은 속도별 선수부의 유동 형상으로, 선수부 형상의 특이성으로 인하여 선체가 파도를 가르지 못하고 선수 중앙부에 큰 파도를 생성시키는 것을 볼 수 있다. 선수부 형상이 특정 속도에서는 큰 압력저항이 발생하고 있으며, 이러한 경향은 속도가 증가할수록 강한 유동장에 의해 큰 압력저항이 발생할 것으로 유추되며, 이는 곧 전체저항을 증가시켜서 선속 효율을 낮게 하는 중요한 인자가 된다.

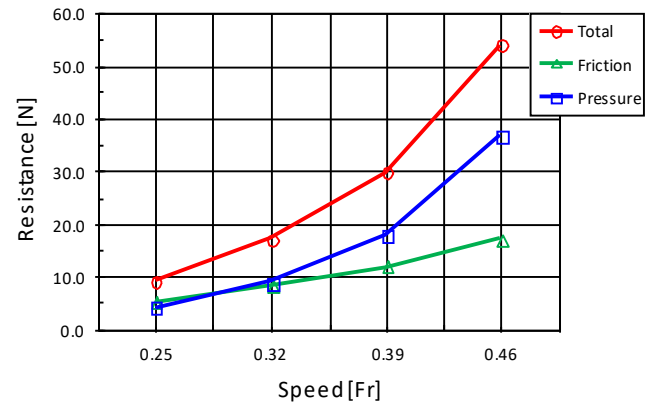
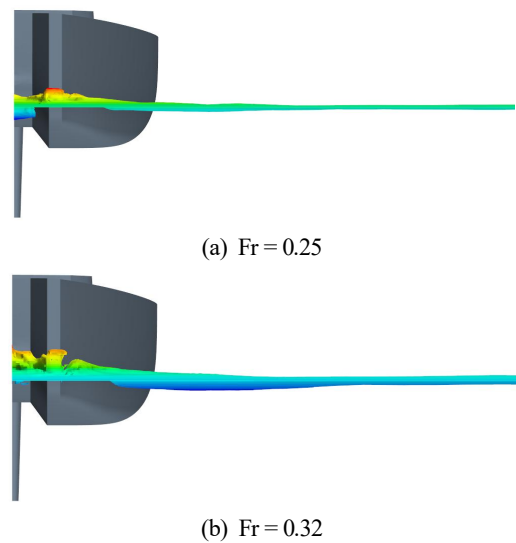


Fig. 5. A comparison of resistance capacity varying speed.



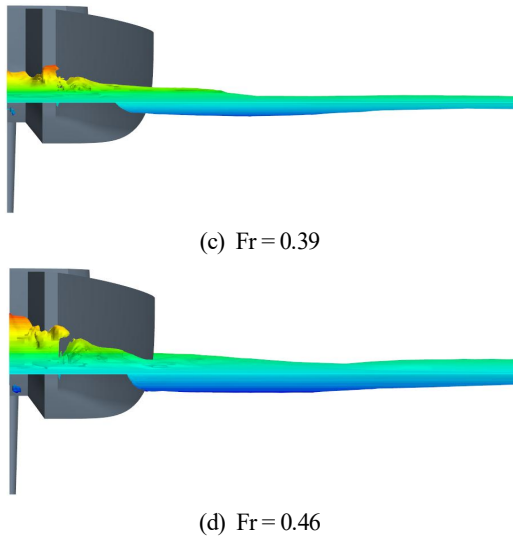


Fig. 6. Fluid patten at the bow with varying speed.

3. 카본 카약 구조 강도 해석

3.1 두께 결정 및 해석 모델링

탄소섬유의 두께는 아래 식(3)을 이용하여, 두께 2.94mm로 계산식(4)과 같으며, 수직 층임을 고려하면 3.0mm로 제작되는 게 합당하다. 해석에는 이러한 특성을 고려하여, 위 치수를 적용하였다(KR, 2014).

$$t = \frac{W_g}{10 \times \gamma_R \times G} + \frac{W_g}{1000 \times \gamma_G} - \frac{W_g}{1000 \times \gamma_R} \quad (3)$$

where, W_g : Mat의 단위 면적당 중량

G : 적층 판의 유리함유량 (%)

γ_R : 경화 수지 비중, 1.2

γ_G : 매트 비중, 2.5

$$t_{calculation} = G + 2C + 2C' + 2C = 2.94mm \quad (4)$$

ANSYS Workbench V.16.0을 활용한 카약 전선 모델에 대한 구조 안전성 평가를 위해 유한요소해석(FEM: Finite Element Method)을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 모델링은 셸(shell) 요소를 사용하여 기하학적 형상 및 선체 부재의 거동을 표현하였으며, 사용 재료의 실제 두께를 포함한 부재 치수를 적용하였다. 또한, 유한요소 모델링을 위해 구조설계에 따른 유효 폭과 단면형상을 적용하고, 외관 일부분에 대해 이상화하여 모델링을 적용하였다. 외부 CAD(Rhinoceros version. 5) 프로그램에서 작성된 카약의 3차원 surface 데이터

를 기반으로 ANSYS 프로그램에서 격자분할 및 구조해석을 수행하였다. 요소의 크기는 약 50 mm × 50 mm의 크기로 나누어 4,964개의 요소와 5,094개의 노드가 사용되었고, 전선 유한요소모델은 아래 Fig. 7에 나타내었다.

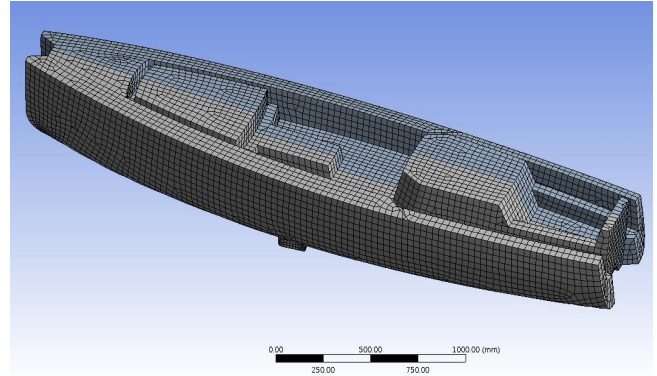


Fig. 7. Analysis model.

일반적으로 유체 위에 떠 있는 선박에 대한 전선구조해석을 수행하기 위해서는 구조 모델링된 정보에 자유도에 대한 구속 여부를 지정하고, 외부에서 가해지는 하중을 적용한다. 이 경계조건은 구속에 의한 응력이 발생하지 않도록 단순 지지의 형태를 반영해야 한다. 그리고 구속점은 가능한 응력 관심 부에 떨어지도록 배치하여야 한다. 본 해석은 선미 트랜섬 상단의 노드의 Y축을 고정하였고, 또한 경계조건에 의한 해석모델의 불균형을 제거하기 위해서 Ineria Relief(강체 거동제거) 기능을 사용하였다. 이 기능은 선형 정적해석에서만 적용할 수 있고, 외부에서 가해진 힘과 토크가 가속도장에서 유도된 관성력과 균형을 이루어야 하는 원리이다. 구조 강도 평가를 위해 한국선급(고속경구조선 규칙; KR, 2015) 규정에서 정한 설계 압력(슬래밍 압력, 선수 옆쪽 및 선수부 충격압력, 해수압력)을 산정하여, Fig. 8과 같이 균일 분포 하중을 적용하였다.

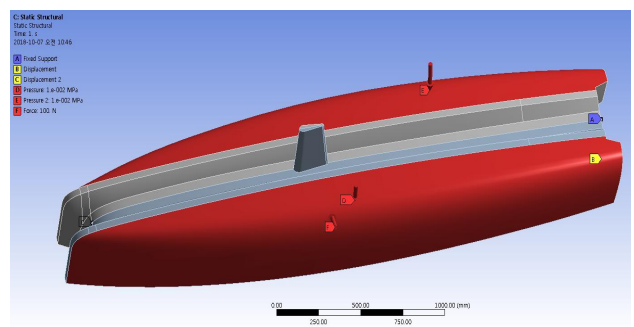


Fig. 8. Load condition.

3.2 중요에 의한 슬래밍 압력

$$P_{sl} = \left(\frac{21}{\tan\beta_x}\right)k_a k_b C_W \left(1 - \left(\frac{20d_L}{L}\right)\right) \quad (5)$$

판재류와 휨보강재 및 거더에 작용하는 중요에 의한 슬래밍 압력을 구한다(KR, 2013).

3.2 선수측부 및 선수부 충격압력

선수부 측부 및 선수부 충격압력의 영향을 고려하기 위하여, 식(6)에 의해 설계하중을 계산하며, Fig. 9에 도식하였다.

$$P_{sl} = \left(\frac{0.7LC_L C_H}{A^{0.3}}\right) \left[0.6 + 0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} \sin\gamma \cos(90-a) + \left(\frac{2.1a_0}{C_B \sqrt{0.4 \frac{V}{\sqrt{L}}}} + 0.6 \sin(90-a)\right) \left(\frac{x}{L} - 0.4\right)\right] \times 2 \quad (6)$$

고려하는 부재의 설계하중 작용 면적(A), 선미단으로부터 고려하는 곳까지의 거리(x), 선박의 각각의 수정계수와 플레어 각도, 수선의 접선과 버터크 라인이 이루는 각도(γ) 등을 통하여 선수 측부 및 선수부 충격 압력을 구한다(KR, 2013).

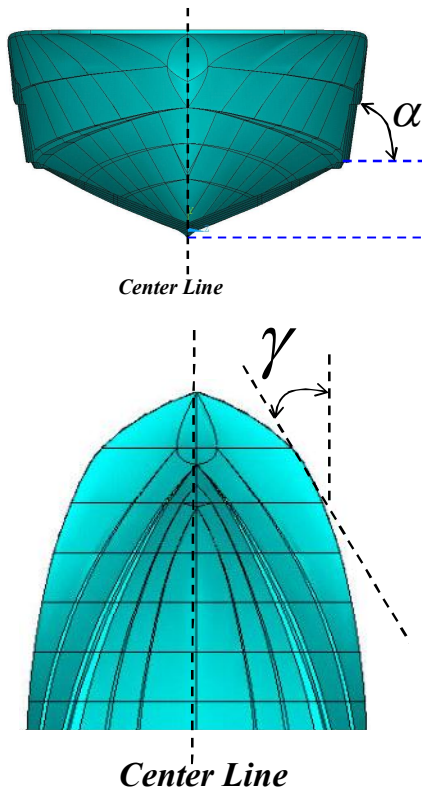
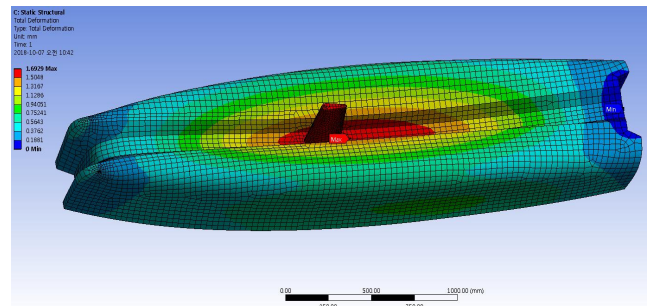
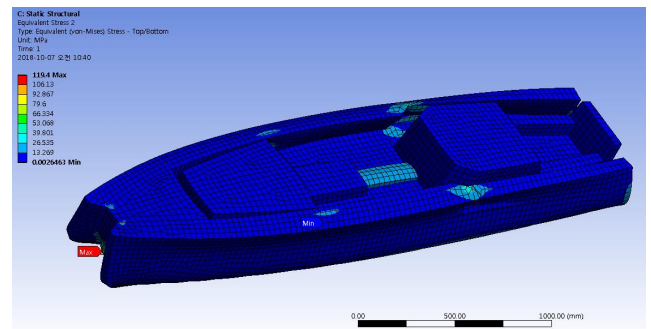


Fig. 9. Flare and water plane angles.

한국선급 고속경구조선 규칙으로 계산된 설계하중을 적용한 구조해석 결과는 Fig. 10에 나타내었다. Von-mises 조합응력의 경우 선미에서 Bottom 측면에서 최대 119.4 MPa, 최대 변형량은 Bottom 중앙에서 약 1.69 mm를 나타내었다. 해석결과 재료시험 인장강도가 1,820 MPa임을 고려했을 때, 허용응력을 인장강도의 40%로 본다면 구조적으로 충분히 안전하다고 평가할 수 있다. 본 구조해석에서 우려하였던 선저 슬래밍에 의한 하중 적용에 따른 구조부재는 안전한 것으로 판단되며, 해석결과 가장 큰 응력이 걸린 선미 deck, Bottom 부분의 보강을 강화하면 최대 변형을 줄일 수 있을 것으로 생각한다. 설계 시 사용된 평가 기준은 한국선급(KR, 2013)에서 제시한 “해양레저선박 지침” 선체구조 설계응력 지침에 따라 수행되었다.



(a) maximum displacement



(b) maximum stress

Fig. 10. Maximum stress and displacement at the critical loading condition.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구논문에서는 3미터급 카본 카약 개발을 위하여, 초기 설계안에 대한 운동성능 및 구조 안전성 검토를 유한요소해석을 활용하여 분석 및 검증하였다. 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 탄소섬유의 물성값 특성을 반영한 두께 계산식이 필요하다. 일례로, 재료의 인장강도에 의하여 두께가 차감되는 보정 계수의 도입이다.

(2) 속도의 증가에 따른 압력 저항값은 증가하고 있으며 $Fr=0.46$ 에서부터는 마찰저항 곡선과의 차이가 크게 발생하고 있다. 이는 개발모델의 선수부 형상에 기인한다.

(3) 개발모델에 대한 외력에 의한 구조 강도 평가 결과, 충분한 구조 안전성을 보유하고 있음을 확인하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 탄소섬유 적용 시 재료의 물성값에 맞는 두께 계산기준이 없으므로, 보수적인 설계가 되었음을 보여주는 것이다. 이러한 과 설계를 예방하기 위해서는 본 연구에서 적용한 고탄성, 고인장성 재료의 물성치에 대한 재료감쇄 계수의 도입이 필요하다. 즉, 일반적인 FRP와 탄소섬유와의 재료 특성차이에 의한 영향을 두께 계산식에 반영해야 한다.

향후 연구과제로서는 알루미늄 합금 소재를 적용한 카약에 대한 설계 및 구조 안전성 평가이다. 특히, 알루미늄 합금 소재는 용접 시 발생하는 열영향부 존재로 인하여, 항복강도 저하가 발생하는 이음부에서의 적절한 구조평가법에 관한 연구가 필요하다.

References

- [1] Bugalski, T. J.(2010), Hydromechanics for development of sprint canoes for the olympic games. PLASTEX, High Performance Print Boats and Paddles, Gdansk, Poland.
- [2] Cho, S. S., C. K. Park, S. H. Beak, K. O. Min and B. S. Ham(2010), A Study on Structural Analysis and Manufacturing of Ocean Leisure Canoe, Spring conference of korea academic-industrial cooperation, pp. 971-973.
- [3] ITTC(2011), International Towing Tank Conference, 26th ITTC Specialist Committee on CFD in Marine Hydrodynamics, Practical Guidelines for Ship CFD Simulations, Technical report 7.5-03-02-03. Rev.01.
- [4] Jang, T. Y., S. H. Kim, H. S. Lee, J. H. Lee, Y. S. Hong, G. B. Yoon and H. S. Lim(2015), Research for tighten up the water leisure crafts safety standards.
- [5] Jeong, H. K., Y. Zhang and D. J. Yum(2017), The Development of Structural Test Facility for the Strength Assessment of CFRP Marine Leisure Boat, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 54, No. 4, pp. 312-320.
- [6] Kim, J. Y., J. H. Kim, J. H. Joung, J. K. Lim, I. K. Ra and J. K. Oh(2016), A Numerical Study on Resistance Performance According to the Draft CFRP Composite Canoe, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 7, pp. 876-883.
- [7] Kim, S. W., K. C. Seo, D. K. Lee and G. W. Lee(2017), A Numerical Study on Motion Control of Wave-Piercing High-Speed Planing Craft in Calm Water using Appendages. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 3, pp. 320-329.
- [8] Ko, D. E.(2018), Strength assessment of 8m class high speed planing leisure boat, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 9, No. 10, pp. 418-423.
- [9] Korean Register(2014), Rules for the FRP vessels.
- [10] Korean Register(2015), Rules for the Classification of High Speed and Light Craft.
- [11] Korean Register(2013), Guidance for Recreational Crafts.
- [12] Lim, J. T., H. Y. Jang, K. Y. Lee and K. C. Seo(2018), A study on the improvement of hull form design for propulsion type change of net-boat mounted on tuna purse seiner, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No. 6, pp. 810-817.
- [13] Open Data Portal(2018), Data about water-based leisure facilities, <https://www.data.go.kr/>.
- [14] Seong, H. K., Y. S. Choi, B. H. Park, C. H. Park and L. Y. Lim(2014), Development of user decision support system for leisure kayak model design, Journal of Digital Contents Society, Vol. 15, No. 2, pp. 227-235.

Received : 2019. 04. 02.

Revised : 2019. 05. 29. (1st)

: 2019. 06. 12. (2nd)

Accepted : 2019. 06. 27.