

ISO 기반 Moon Pool형 다이버 보트 구조 건전성 평가

강병모*[†] · 오우준** · 나현호** · 최주석**

*, ** (재)한국조선해양기자재연구원

Evaluation of Structural Integrity of the ISO-based Moon Pool Type Diver Boats

Byoung-mo Kang*[†] · Woo-jun Oh** · Hyun-ho Na** · Ju-seok Choi**

*, ** Korea Marine Equipment Research Institute, Yeongam 58457, Korea

요 약 : 본 연구는 수중 및 여가활동에 대한 수요 증가에 따른 다이버들을 위한 보트의 구조 건전성에 관한 것이다. 대상 선박은 선체 중앙부에 Moon Pool 구조를 갖추고 있는 소형 쌍동선이며, 연구수행은 ISO Rule 기반의 허용응력 산정을 통한 유한요소 해석법을 이용하여 연구를 수행하였다. 연구수행 방법은 ISO 12215-5와 TC118.1225-7에서 정의하고 있는 계수를 산정하고, 종방향굽힘 모멘트, 비틀림 모멘트, 선저슬래밍 하중 등을 적용하여 ISO 기준과 허용응력 설계법(ASD)에 의한 적합성 여부를 판정하고 유한요소해석(FEA)을 활용한 극한강도 설계법(LFRD)을 적용하여 수행하였다. 연구결과 문폴형 구조를 가진 선박도 ISO규정, KR규정을 적용하여 설계시 구조적 건전성을 확보하는 것으로 사료된다.

핵심용어 : 쌍동선, 다이버보트, 문폴구조, ISO구조 건전성, 수치해석

Abstract : This Study investigates the Structural Integrity of Boats for Divers, given increased demands for Underwater and Recreational use. We conducted research on a Small Catamaran with a Moon Pool in the center of the Hull, using the Finite Element Method to calculate allowable stress based on the ISO Rule. We computed the coefficients defined in ISO 12215-5 and TC118.1225-7, and determined the suitability of using the ISO Standard and Allowable Stress Design method (ASD) by applying Longitudinal Bending Moment, Torsional moment, and Bottom Slamming Load. We also applied the Ultimate Strength Design Method (LFRD) using Finite Element Analysis (FEA). As a Result of this Research, it was found that ships with a Moon Pool do have Structural Integrity according to their Design in accordance with ISO and KR Regulations.

Key Words : Catamaran, Diver Boat, Moon Pool structural, ISO Structural Integrity, Numerical analysis

1. 서 론

수중레저 및 여가활동에 대한 수요 및 관심이 지속적으로 높아짐에 따라 안전에 대한 기술수요가 증대 되고 있다. 이에 관련기술의 대응이 요구되고 있으며, 특히 다이버 선박의 안전 확보를 위한 실용기술이 중요시 되고 있다. 본 연구에서는 이러한 수요에 대한 목적 지원을 위한 다이버보트 연구를 위하여 선체 중앙부에 문폴(Moon Pool) 구조를 갖추고 있는 소형 쌍동선 구조에 대한 연구이다.

연구수행은 ISO 규정 기반의 허용응력 산정을 통한 유한요소해석법을 이용한 수치해석을 실시하여 구조건전성 확보를 목표로 하였다.

이와 같은 최근 국내외 구조강도 검토에 대한 연구동향은 여러 연구자들에 의해 다음과 같이 연구를 진행하고 있다. Jung and Oh(2012)는 본 과제와 유사한 레저용 쌍동형 선박에 대한 선급 하중 검토 및 조합하중을 통한 구조적 건전성을 연구하였으며, 다양한 하중에 대한 검토를 하였으나, 본 연구는 문폴형 구조에 대한 부분을 연구하였다. Kim and Lee(2011)과 Kim(2011)는 쌍동형 선박에 대한 ISO, LR, DNV, KR 등의 선급 규정에 의거하여 각하중에 대한 설계 규정에 의한 구조 강도를 연구 하였으며, 하중 결과에 대한 검토를 실시하였다. Park et al.(2009)과 Shin et al.(2009)은 고속형 카타마란 요트에 대한 구조해석을 통하여 연결갑판부에 대한 구조강도의 건전성을 본 연구와 유사하게 연구하였으며, 차이점은 문폴형 구조를 가진 선박에 대하여 연결갑판부에 대

[†] Corresponding Author : bmkang@komeri.re.kr, 061-460-5275

한 구조건전성을 확보한 것이 차이점을 보인다. 국외 연구는 Stephen(1999)과 Zbigniew(2009)은 파랑 하중에 의한 강도 변화 및 중량 감소에 대한 연구가 이루어 졌다. 기존 연구동향은 선급 규정 비교, 조합하중, 연결갑판부에 대한 연구를 실시하였으나, 문폴형 구조를 가진 선박연구는 실시하지 않았다. 이에 본 연구에서는 문폴구조를 가진 쌍동형 선박에 대한 구조강도 연구를 실시하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 ‘42 FT급 소형 쌍동선(13M)’에 대한 구조검토로서 ISO 12215-5:2008(E)와 TC188.1225-7에서 정의하고 있는 계수를 산정하고 이를 활용하여 설계하중을 산출하였다. 쌍동선의 주요 설계하중은 종방향 굽힘모멘트와 비틀림 모멘트, 선저 슬래밍 하중, 연결갑판 하중 등을 적용하여 ISO 규준과 허용응력 설계법(ASD)에 의한 부재의 적합성 여부를 판정하고 유한요소법(FEM)을 적용한 유한요소해석(FEA)을 적용하여 연구하였다. 유한요소 해석은 극한강도설계법(LRFD)를 적용하며, 각각의 하중에 대한 결과를 조합하여 그 중 가장 불리한 응력상태가 정해진 허용응력(Allowable Stress)을 넘지 않게 부재단면을 산정하여 계산하였다. Table 1은 Moon Pool Type small craft의 주요 치수를 나타내었다.

Table 1. Dimension of Moon Pool type Small Catamaran

Items	Dimensions	Items	Dimensions
LOA (m)	13.000	Draft. T (m)	0.640
LBP (m)	12.923	Cb	0.538
Breadth (m)	5.800	Disp.(m ³)	12.465
Depth (m)	1.800	Disp.(ton)	12.780

ISO 12215 - 5와 ISO/DIS 12215-7(TC188.1225-7)의 평가절차는 Fig. 1과 같이 정의할 수 있으며 선박이 운항하게 될 해역의 일반적인 해상상태를 설정하고 가속도 계수를 산정하였다. 이를 통해 전 하중(global loads)과 국부하중(local loads)으로 적용하여 허용응력과 허용 처짐을 만족하도록 하였다.

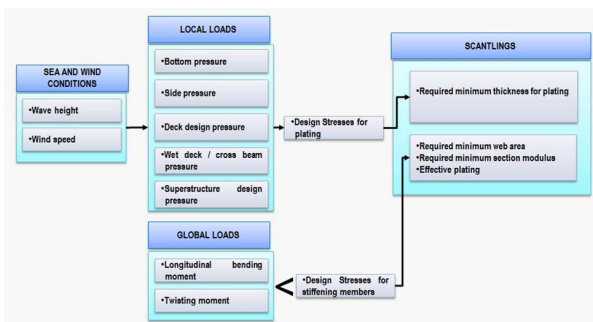


Fig. 1. Main design calculation and structure place.

쌍동선 구조강도 평가를 수행하기 위한 주요 설계 하중의 종류를 Table 2에 정의하였다. 쌍동선의 주요 설계하중은 종굽힘 모멘트, 횡 굽힘 모멘트, 비틀림 모멘트 및 충격에 의한 압력으로 산정하였다.

Table 2. Load Case of Moon Pool Type small craft

Load Case	Loading condition
1	Under bottom impact pressure
2	Flat cross structure impact pressure
3	Longitudinal bending moment
4	Transverse bending moment
5	Twisting moment

가속도 계수는 선박 운항 시 각 부재에 작용 하는 하중을 계산하기 위해 가장 먼저 계산되어야 하는 계수로서, ISO 규준은 크게 단동선과 다동선의 가속도 계수로 구분되어 있으며, 다동선의 경우 LWL(홀수선상에 배의 길이)와 BWL(홀수선면 상에서의 선체들의 폭의 합), V(최대 속도)에서 mLDC(배수량)를 나누어서 식(1)과 같이 nCGMH(가속도 계수)를 산출할 수 있다.

$$n_{CGMH} = \frac{1.25 \times L_{WL} \times B_{WL} \times V^2}{m_{LDC}} \quad (1)$$

ISO/DIS 12215-7(TC188.1225-7)에서 쌍동선에 작용하는 주요 설계하중으로는 선체 전체에 작용하는 종굽힘 모멘트, 비틀림 모멘트와 파랑 등에 의한 선저나, 연결부 갑판 밑바닥에서 국부적으로 작용하는 슬래밍 하중 등이 있다. 종굽힘 모멘트(M_{BH})는 파랑이나 자중에 의한 선체 종 길이 방향으로 굽힘 모멘트에 의한 하중으로, ISO/DIS 12215-7(TC188.1225-7)의 강도평가에서는 M_{BH} (정수중 굽힘 모멘트)에 대해서만 정의하고 있다.

종굽힘 모멘트는 m_{LDC} (만재배수량)에 L_{WL} (수선면 길이)에서의 선체 길이를 이용하여 구하게 된다.

$$M_{BH} = 0.5 \times m_{LDC} \times L_{WL} \quad (2)$$

비틀림 모멘트(T)는 선체의 운동이나 파도의 영향으로 선체가 뒤틀릴 때 발생하는 하중으로 L_{WL} (수선의 길이), m_{LDC} (만재배수량), n_{CGMH} (동하중 계수)를 이용하여 구할 수 있다.

$$T = 1.25 \times m_{LDC} \times n_{CGMH} \quad (3)$$

선저 슬래밍 하중(bottom slamming pressure, P_{BMH})은 선체 바닥면에 파랑의 충격에 의한 하중으로 k_{DC} (해상 상태 계수), k_L (종방향 압력 분포 계수), k_{AR} (슬래밍 압력 작용 면적 분포 계수), k_R (부재 및 보트 타입 계수), k_{DR} (압력 분포 계수)를 이용하여 구할 수 있다.

$$P_{BMH} = P_{BPMHBASE} \times k_L \times k_{AR} \times k_{DR} \quad (4)$$

$$P_{BPMHBASE} = \frac{0.1 \times m_{LDC}}{L_{WL} \times B_{WL}} \times (1 + k_{DC} \times 0.5 \times n_{CGMH}) \quad (5)$$

연결부 갑판 슬래밍 하중(Cross deck slamming pressure, P_{WDMH})은 선체 연결부 바닥 면에 파랑의 충격에 의한 하중으로 m_{LDC} (만재배수량), k_{DC} (해상 상태 계수), k_{LWD} (종길이 방향의 압력 계수), k_{ZWD} (수직 방향으로의 압력 계수)로서 다음과 같은 두 식 중 큰 값으로 선정한다.

$$P_{WDMH} = P_{WDBASE} \times k_{DC} \times k_{AR} \times k_{LWL} \times k_{ZWD} \quad (6)$$

$$P_{WDMHMIN} = 11 \times k_{LWD} \times k_{DC} \times \sqrt{L_{WL}} \quad (7)$$

$$P_{WDBASE} = 3 \times n_{CGMH} \times m_{LDC}^{0.33} \quad (8)$$

대상선박 ‘42 FT급 소형 쌍동선(13M)’의 구조 안전성 평가를 위한 근거로는 ISO 12215-5:2008(E)와 ISO/DIS 12215-7에서 정의하고 있는 부재별 허용계수를 인장 항복강도와 곱하여 허용을 Table 3과 Table 4와 같이 산정하였다.

Table 3. Design of Allowable Stress (AL alloy)

Members	Design Stress σ_d	Tensile and Compressive Design Stress σ_d	design shear stress τ_d
Metal plating	$0.6\sigma_{uw}$ or $0.9\sigma_{yw}$	-	-
Stiffening members	-	$0.5\sigma_{yw}$	$0.3\sigma_{yw}$

Table 4. Small craft of Allowable Stress(AL alloy)

Divide	Allowable Stress (MPa)	
	Tensile force-Compressive Force	Shear Force
Metal Plating (ISO 12215-5)	168	
Stiffening Members (ISO/DIS12215-7)	140	84

3. 구조해석 및 부재검토

대상인 선박인 42 FT급 소형 쌍동선(13M)은 두 부체를 연결하여 하나의 선체를 생성한 쌍동선이며 Fig. 2와 같은 형태로 2D와 3D 모델링하여 나타내었다. 또한 ISO 규준에 의거 선체 구조배치(rule scantling)를 수행하여 내부 부재를 배치하였다(Lloyd Register, 2008).

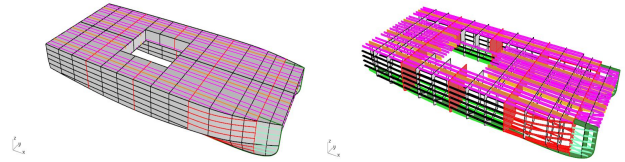


Fig. 2. left; Full geometry, right; Stiffening members.

대상선박은 선체(hull), 격벽(bulkhead), 보강재(stiffener)등으로 구성 되어 있으며 선체 재료 물성치 및 각 부재의 두께는 Table 5와 같다.

Table 5. Design of Frame size

Members		Design size
Hull Bottom	Center Keelson	200×8 + 65×8 FC(T)
	Floor	200×5~ + 50×5 FC(T)
	Longi.	100 × 5~ FB
Hull Side	Frame	150×5 + 50×5 FC(T)
	Longi.	70×5+ 10×12 BP
Hull Deck	Deck girder	200×5 FB (Hull CENTER)
	Deck Beam	200×5 + 50×5 FC(T)
	Longi.	80×5~ FB
Connected Deck	Deck girder	150×5 FB
	Deck Beam	150×5~ + 50×5 FC(T)
	Longi.	80×5 FB

선체 재질은 구조강도를 만족함과 동시에 중량 경량화를 위해 알루미늄 합금을 적용하였다. 소형 쌍동선의 구조해석을 수행하기 불필요한 요소를 제거하고 즉, 모델을 이산화하여 해석을 수행하였고, 해석에 적용한 상용 유한요소 프로그램은 ANSYS v15.0을 사용하였으며 판부재로 구성된 선체부재는 4-node shell 요소(SHELL 181)를 사용하였으며, Nodes는 168,041개, Elements는 169,285개로 구성하였다.

Fig. 3과 같은 선체는 일반적으로 판부재 SHELL요소 보강재로 BEAM요소를 적용하여 해석을 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 판부재와 보강재 전체를 SHELL요소로 적용하여 수행하였다.

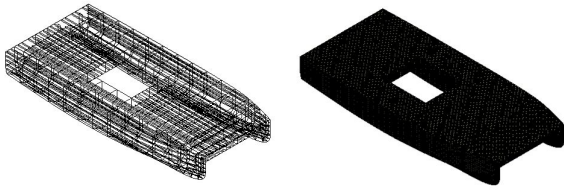


Fig. 3. left; Geometric element, right; Finite element.

3.1 하중조건

ISO/DIS 12215-7(TC188.1225-7)에서 소형 쌍동선의 주요 설계하중을 산출하여 구조해석 수행 간 하중으로 적하였고 주요 설계하중은 Table 6과 Fig. 4와 같이 산정하였다.

Table 6. Longitudinal Moment M_{BH} , Twist bending moment T

Divide	Longitudinal Moment	Torsional Moment
Data	82,328.76 Nm	150,435.20 Nm

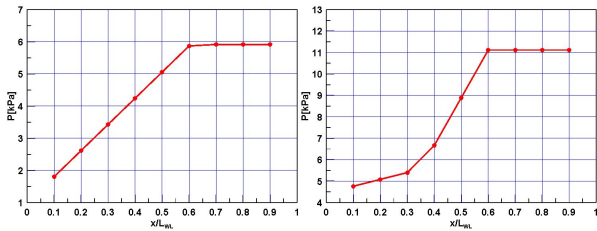


Fig. 4. P_{BMH} (left), P_{WDMH} (right).

3.2 경계조건

본 연구와 같이 전선 구조해석 모델의 경계조건은 구속에 의한 응력이 발생되지 않도록 단순지지 형태를 반영해야 하며 구속 점은 가능한 한 응력 관심부에서 떨어져 있도록 배치하여야 하며, 경계조건에 의한 유한요소법의 수치적인 오차에 의해 강제 운동이 발생하고, 해석이 수행되지 않을 수 있으며 이를 방지하기 위해 강제거동제거(inertia relief) 기능을 사용하며 외력과 가속도장에서 유도된 관성력과 균형을 이루어야 하는 원리로 3차원 해석의 경우 강제거동제거(Inertia Relief)외에 추가적인 경계조건은 6개 이하로 제안하고 있다(Oh et al., 2009).

종급힘 모멘트일 경우, 선수 부분과 선미 부분의 수밀격벽(watertight bulkhead, BHD)에 RBE3 요소를 적용하여 그 단면의 무게 중심점에 계산된 모멘트 값을 적용하여 종급힘 방향으로 굽힘 모멘트가 발생하도록 설정 하였으며 경계조건 및 구속 점은 한국선급[KR] 규칙의 ‘고속경구조선 규칙(2011)’을 참고하여 단순지지형태로 정의하였다. Table 7

Fig. 5 또한 호깅(hogging) 및 새깅(sagging) 모멘트는 작용하는 부호의 값을 양(+)에서 음(-)으로 또는 양(+)에서 음(-)으로 바꿔서 적용할 수 있다. 이는 하중 적용방향에 대한 원점 차이에 따라 바뀔 수 있다.

Table 7. Boundary condition of longitudinal bending moment

Location	D_X	D_Y	D_Z
A, B	0	0	0
C, D	-	0	0

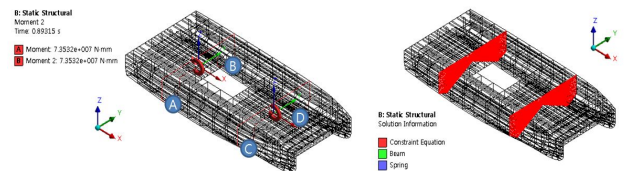


Fig. 5. Boundary condition of longitudinal bending moment.

비틀림 모멘트의 경우 선수 부분의 수밀격벽(Watertight bulkhead, BHD)을 RBE3 요소를 적용하고 그 단면의 무게 중심점에 계산된 모멘트 값을 적용함. 경계조건과 구속 점은 고정지지 형태로 Table 8과 같이 적용하였다.

Table 8. Boundary condition of twist bending moment

Location	D_X	D_Y	D_Z
A, B	0	0	0

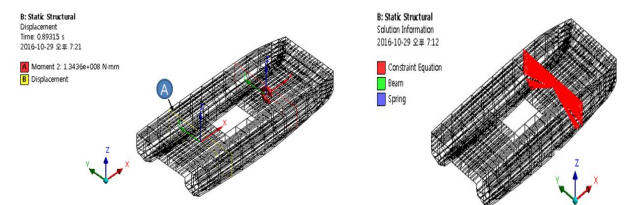


Fig. 6. Boundary condition of twist bending moment.

선저 슬래밍 하중은 Table 7, Fig. 6과 같이 선미를 기준으로 수선면 하부의 선저부분에 적용하였다. 경계조건 및 구속 점은 한국선급[KR] 규칙의 고속경구조선 규칙(2011)을 참고하여 단순지지형태로 정의하였다. 슬래밍하중은 Fig. 7에서 나온 $0.6 \times x/Lwl$ 을 기준으로 하여 해석을 실시하였다(Korean Register, 2012).

ISO 기반 Moon Pool형 다이버 보트 구조 건전성 평가

Table 9. Boundary condition of bottom slamming pressure

Location	D_X	D_Y	D_Z
A, B	0	0	0
C, D	-	0	0

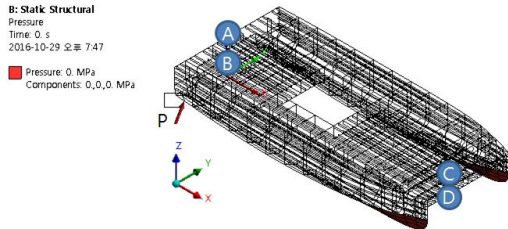


Fig. 7. Boundary condition of bottom slamming pressure.

연결부 갑판 슬래밍 하중은 Table 10, Fig. 8과 같이 선미를 기준으로 연결 갑판 밑면에 적용하였다. 경계조건 및 구속점은 한국선급[KR] 규칙의 ‘고속경구조선 규칙(2011)’을 참고하여 단순지지형태로 정의하였다.

Table 10. Boundary condition of cross deck slamming pressure

Location	D_X	D_Y	D_Z
A, B	0	0	0
C, D	-	0	0

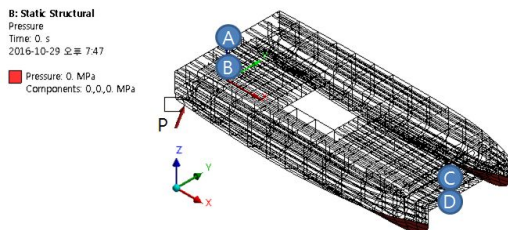


Fig. 8. Boundary condition of cross deck slamming pressure.

4. 해석결과

대상선박의 구조 건전성 평가를 위해 ISO 12215-5와 ISO/DIS 12215-7(TC188.1225-7)에서 정의하는 부재 위치별 허용 계수를 인장항복강도와 곱하여 허용응력을 산정하였다. 또한 해석결과 최대응력이 작용하는 영역을 취약 구조부로 선정하고 허용응력과 비교하였다. 쌍동선의 구조 안전성 평가를 위해, 선급에서 정의하는 부재 위치별 허용 계수를 인장강도와 곱하여 허용 응력을 산정하였다. 또한 구조해석 결과 Table 11. 과 같이 최대응력이 작용하는 영역을 취약 구조부로 선정하고 허용 응력과 비교하였다.

Table 11. component of Allowable stress

Divide	Displacement (mm)	σ_{xx} (MPa)	Von-Mises stress (MPa)	Allowable stress (MPa)	
$M_{BH}^{1)}$	Sagging	0.27	4.45	5.8	140
	Hogging	0.27	4.45	5.8	140
$T^{2)}$	0.39	4.01	4.19	140	
$P_{BMH}^{3)}$	0.55	8.70	13.86	140	
$P_{WDMH}^{4)}$	6.31	56.46	93.19	140	

- 1) 종굽힘 모멘트(longitudinal bending moment, M_{BH})
- 2) 비틀림 모멘트(twist bending moment, T)
- 3) 선저 슬래밍 하중(bottom slamming pressure, P_{BMH})
- 4) 연결부 갑판 슬래밍 하중(cross deck slamming pressure, P_{WDMH})

종굽힘 모멘트의 해석 결과는 Fig. 9와 같으며, σ_{xx} (MPa)는 4.45, Von-Mises stress(MPa)는 5.8로 계산되었다.

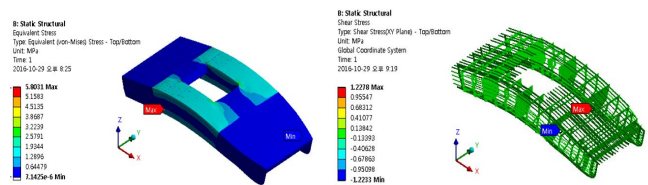


Fig. 9. Longitudinal bending moment of Equivalent Stress, Shear Stress.

비틀림 모멘트의 해석 결과는 Fig. 10과 같으며, σ_{xx} (MPa)는 4.01, Von-Mises stress(MPa)는 4.19로 계산되었다.

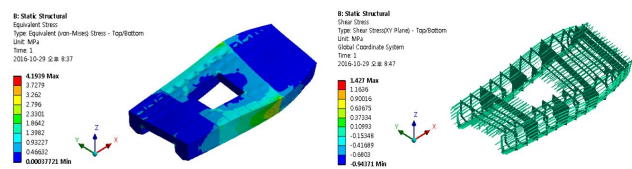


Fig. 10. Twist bending moment of Equivalent Stress, Shear Stress.

선저 슬래밍 하중의 해석 결과는 Fig. 11과 같으며, σ_{xx} (MPa)는 8.70, Von-Mises stress(MPa)는 13.86로 계산되었다.

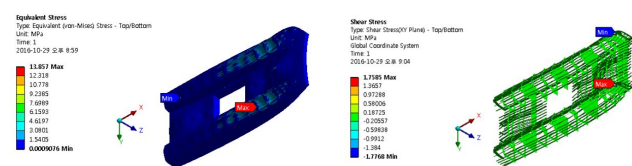


Fig. 11. Bottom slamming pressure of Equivalent Stress, Shear Stress.

연결부 갑판 슬래밍 하중(Cross deck slamming pressure, P_{WDMH})의 해석 결과는 Fig. 12와 같으며, 수치는 $\sigma_{x,x}$ (MPa)는 56.46, Von-Mises stress(MPa)는 93.19로 계산되었다.

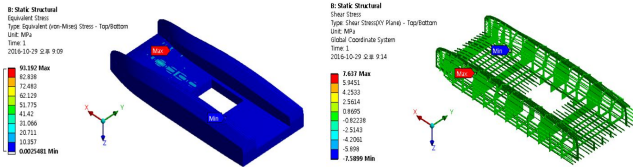


Fig. 12. Bottom slamming pressure of Equivalent Stress, Shear Stress.

일반적인 von Mises 항복이론에 의해 ‘42 FT급 소형 쌍동선(13M)’의 구조 건전성을 다음과 같이 평가하였다.

$$\sigma_{\max} < \sigma_a \tag{9}$$

여기서, σ_{\max} 는 최대응력, σ_a 는 허용응력이다.

$$\text{von Mises 항복이론} : \sigma_{ep} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau^2} \tag{10}$$

안전계수(safety factor)는 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$S_F = \sigma_a / \sigma_{\max} \tag{11}$$

여기서, σ_{\max} 는 최대응력, σ_a 는 허용응력이다.

Table 12. Structural Integrity Verification

Items		$\sigma_{\max} < \sigma_a$	Safety Factor(S_F)
Longitudinal bending moment	Sagging	Suitability	24
	Hogging		
Twist bending moment		Suitability	33
Bottom slamming load		Suitability	10
Cross deck load		Suitability	1.5

선체 중앙부의 문폴 구조를 취하고 있는 ‘42 FT 소형 쌍동선(13M)’은 주요 설계하중(종방향 굽힘모멘트 등 4건)에 대해 구조적으로 안전하며, 여기서 구조적 안전이란 주어진 외력에 대하여 안전계수 값이 1.0 이상임을 의미한다. 본 연구 대상인 ‘42 FT급 소형 쌍동선(13M)’는 안전계수 1.5 이상이므로 매우 안전하다고 판단되며, 선체연결갑판부의 문폴형 구조로 인하여 다른 하중에 비해 연결갑판부의 하중이

낮게 나왔으나, 허용응력에 대한 기준은 만족한 것으로 평가되었다.

5. 결과 및 고찰

문폴형 쌍동선 구조건전성 검토를 연구한 결과, 대상선박에 대한 해석결과 구조적 건전성을 확인하였다. 본 연구를 통해 ISO 및 KR규정에서 각각의 수행방법은 해상조건, 집중하중, 국부하중 등을 검토를 수행하는 방식은 동일하나 부재에 대한 영향에 대한 구조 기준의 차이를 보인다. 이러한 구조기준은 선박의 범위(길이, 타입, 형태, 속도, 선질)등에 따라 적용범위가 분류되며, 또한 선박의 가속도 계수, 주요 하중에 따른 차이를 보인다.

향후 추가연구로 최적화, 문폴형 구조를 가진 선박에 대한 구조물에 대한 영향성 및 상부 구조물의 진동, 소음 문제에 대한 추가연구가 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 미래해양산업기술개발사업의 ‘Moon Pool 시스템 구조를 적용한 실내 다이버보트 개발’과제와 소형선박해상테스트기반구축사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] International Standard(2008), Small craft-Hull construction and scantling, Geneva
- [2] Jung, S. Y. and Y. C. Oh(2012), Floating Structure Hull Type Catamaran Structural Design and Finite Element Analysis, The Korean Society of Marine Environment & Safety, pp. 328-330.
- [3] Kim, B. J.(2011), Regulation Comparison and Structure Analysis for Design of Catamaran, The Society of Naval Architects of Korea, pp. 624-635.
- [4] Kim, B. J. and J. H. Lee(2011), Comparison Study and Structural Analysis to Investigate the Design Rule and Criteria of Catamaran, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 48, No. 6, pp. 479-489.
- [5] Korean Register(2012), Guidance Relating to the Rules for the Classification of High Speed Light Craft, Deajeon: Korean Register.
- [6] Lloyd Register(2008), Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, London: Lloyd's Register.

- [7] Oh, Y. C., J. Y. Ko, D. H. Choi and G. W. Lee(2009), Estimation for the global strength and local strength analysis of 50feet catamaran, The 8th International Symposium on Marine Engineering, pp. 229-230.
- [8] Park, C. H., H. Y. Jang, J. W. Jeong, B. S. Lee and H. H. Chun(2010), A Study on the Ship Resistance and Moment Prediction for Running Attitude of 30 Feet Catamaran Sailing Yacht, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 3, pp. 321-327.
- [9] Park, J. S., J. Y. Ko, K. W. Lee and W. J. Oh(2009), Structural analysis of an 38 feet diffusion style for high-speed catamaran yacht, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 3, pp. 167-174.
- [10] Shin, J. G., J. Y. Lee, J. H. Lee, S. H. Van, S. H. Lee and J. H. Yoo(2006), A Study on the Structural Design and Structural Analysis for Small Yacht, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 1, pp. 75-86.
- [11] Stephen, M. C.(1999), Investigation into Wave Loads and Catamarans. Hydrodynamics of High Speed Craft Conference (RINA), pp. 24-25.
- [12] Zbigniew, S.(2009), Structural weight minimization of high speed vehicle-passenger catamaran by genetic algorithm, Polish Maritime Research, Vol. 16, pp. 11-23.

Received : 2018. 04. 30.

Revised : 2018. 06. 25. (1st)

: 2018. 07. 30. (2nd)

Accepted : 2018. 08. 28.