탄소섬유강화복합재료(CFRP) 레저선박 선체설계를 위한 ISO 12215와 국제선급규정 비교분석

오대균* · 이동건* · 강기문** · 류철호*** · 노재규****

*목포해양대학교 조선해양공학과

**목포해양대학교 대학원

***인하공업전문대학 조선해양과

****군산대학교 조선공학과

Comparative Study of Rules of ISO 12215 and International Classification Society for Structural Design of CFRP Cruise Boat

Dae-Kyun Oh*, Dong-Kun Lee*, Gi-Moon Kang**, Cheol-Ho Ryu*** and Jackyou Noh****

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Korea

**Graduate School, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Korea

***Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Technical College, Incheon, Korea

****Department of Naval Architecture, Kunsan National University, Gunsan, Korea

KEY WORDS: CFRP 탄소섬유강화복합재료, ISO 12215 국제표준 12215, Design pressure 설계압력, Scantling 두께계산, Pleasure yacht 레저선박

ABSTRACT: Recently, CFRP composites have often been used as the materials for lightweight pleasure yacht hulls. Because CFRP composites not only make the hull light but also have good physical characteristics, in the leading countries of the marine industries, CFRP yachts are being sold at a higher price. The design and construction of FRP composite yachts, including those made of CFRP, have to follow rules based on ISO 12215, such as the hull structure rules of the international classification societies. On the other hand, there are no rules related to CFRP composites in the Guidance for Recreational Crafts, which was newly revised by the Korean Register of Shipping. In this paper, ISO 12215-5 and Part B, RINA Pleasure Yacht (REGISTRO ITALIANO NAVALE) on the design pressure and scantling of CFRP hull structures are compared and analyzed. Through a comparative study and the application to a cruise yacht design, we try to understand how to design CFRP hull structures using the international standards, ISO 12215, and the rules of the international classification society, RINA.

1. 서 론

탄소섬유강화복합재료(CFRP, Carbon fiber reinforced plastics)는 경량선체 제작이 가능하며, 동시에 뛰어난 물성을 가지고 있어 고부가가치 레저선박의 경량선체 소재로서 널리 사용되고 있다. 실제로 유럽에서는 화려한 외관 디자인의 CFRP 크루즈 보트(Fig. 1)가 GFRP(Glass fiber reinforced plastics) 레저선박보다 매우 고가로 판매되고 있으며, 최근에는 경량 선체설계를 통한 보급형 고성능 파워보트도 개발되어 기존 제품과 차별화된 시장을 형성하고 있다. 국내의 경우 아직까지 CFRP를 선체소재로 사용한 레저선박

개발 사례가 없으며, 이와 관련된 규정 또한 직접적으로 다루고 있지 않다.

본 연구에서는 CFRP 레저선박의 구조설계를 위한 국제규정을 비교 분석하고, 사례 연구를 통해 정의한 설계선의 구조에 대하여 각각의 규정을 적용, 비교분석함으로써 국제규정에 적합한 CFRP 레저선박의 구조설계 과정을 이해하고자 한다. 분석 대상은 ISO 12215-5와 이탈리아선급의 레저선박 선체설계 규정(RINA, 2009)으로 하였으며, 각 규정의 선저부 충격압력과 판부재 두께 추정 규정을 중심으로 비교분석 하였다.

Received 15 October 2013, revised 3 January 2014, accepted 13 February 2014

Corresponding author Dae-Kyun Oh: +82-61-240-7318, dkoh@mmu.ac.kr

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of KAOST 2013 in Jeju.

2. 관련규정과 연구 현황

해양레저산업 선진국들이 모여 있는 유럽공동체 등에 레저선박의 제작 및 수출을 위해서는 소형선박 ISO 표준에 따라 설계 및 건조해야 하며, 이에 기반을 둔 설계·건조 인증인 CE 마크를 획득해야 한다. ISO 12215는 소형선박의 선체구조와 치수설계에 대한 표준을 정의하고 있으며, 선체 소재 및 구조에 따른 충격압력, 치수설계 등 구조설계에 대한 정의는 ISO 12215-5에서 다루고 있고 CFRP에 대한 구조설계 또한 이 규정에 따른다. 프랑스선급, 이탈리아선급, 영국선급 등 레저선박의 인증을 주도하는 국제선급에서도 이에 기반 한 규정들을 두고 있으며 CE RCD(Recreational craft directive-94/24/EC) 인증과 관련된 입급업무도 수행하고 있다. 최근 개정된 한국선급의 레저선박 지침(KR, 2011) 또한 ISO 12215에 기반하고 있지만 선체 재료에 있어서는 CFRP에 관한 부분을 다루고 있지 않고 있다.

Fig. 1 57ft CFRP cruise boat of WALLY(CE RCD Certification/ Design category B)

선행연구자들에 의해서 CE RCD 인증을 위한 국제규정 분석(Lee and Lee, 2010)이 수행된 바 있고, ISO 표준 및 국제선급 규정에 제시된 충격압력에 대한 분석(Lee, 2011) 및 사례연구(Kim et al., 2011)도 수행된 바 있으나, 파워보트 혹은 소재에 따른 분석 특히 CFRP 선체 소재에 따른 국제규정 검토는 아직까지 이루어진 바 없다.

이에, 본 연구에서는 CFRP 레저선박의 구조설계를 위한 국제 규정 분석 대상을 ISO 12215-5(ISO, 2008)와 이탈리아선급의 레저선박 선체설계 규정(RINA, 2009)으로 하여, 사례 설계선에 대한 선저부 충격압력 및 판부재 두께 추정 결과를 바탕으로 두 가지 국제규정을 비교분석 하고자 한다. 국제선급 규정 중 이탈리아선급 규정을 대상으로 선택한 이유는 슈퍼요트를 포함하는 레저선박 인증의 40% 정도 점유율(RINA, 2011)을 보이고 있고, CFRP 소재 레저선박의 인증 사례를 보유하고 있기 때문에 국제선급규정 중 분석대상으로 선택하게 되었다.

3. 선저부 충격압력과 판부재 두께 추정

ISO 12215와 RINA Pleasure Yacht Part B는 선체 소재에 따른 충격압력과 선체구조의 치수추정에 대해 다루고 있다. 선체 구조의 경우 선저부, 선측부, 데크, 상부구조물 등 구조부재의 종류에 따라 별도의 규정을 두고 있다. 본 연구에서는 두 규정의 선저부 충격압력과 판부재에 대한 요구두께 추정 규정을 비교분석 대상으로 정의하였다.

3.1 선저부 충격압력 추정 규정 비교

ISO 12215의 선저부 충격압력 추정식은 아래 식 (1)과 같으며, RINA Part B의 충격압력 p_2 추정식은 아래 식 (2)와 같다.

Table 1 Comparing design pressure in ISO 12215-5 and RINA Pleasure Yacht Part B

ISO 12215-5			RINA Part B	
Design Pressure		Bottom Pressure in Planing Mode P_{BMP}	Planing Mode p_2 (Slamming/Impact Pressure)	
			Displacement Mode p_1 (Hydrostatic Head)	
Basic Factor		Fully Loaded Displacement m_{LDC}	Fully Loaded Displacement Δ	
		Waterline Length L_{WL}	Scantling Length equal to Waterline L	
		Chine Beam B_C	Support Contour C_s	
Coefficient	Vertical Acceleration	Dynamic Load Factor n_{CG} [Deadrise Angle at 0.4LWL]	Vertical Acceleration at LCG a_{CG}	
		Longitudinal Pressure Distribution k_L	Longitudinal Distribution of Vertical Acceleration a_V	
		Longitudinal Position	Coefficient as Function of The Longitudinal Position F_L	
	Hull Structure	Design Area of Panel	Coefficient as a Function of Panel Area F_a	
		Shape and Inclination	Coefficient Function of The Shape and Inclination of Hull F_i	
	Design Category (Wave and Wind)		Design Category Factor k_{DC}	

$$P_{BMP} = \frac{0.1 * m_{LDC}}{Lwl * B_C} (1 + k_{DC}^{0.5} * n_{CG}) * k_{AR} * k_L \quad (1)$$

$$p_2 = 15 \frac{\Delta}{L * C_S} g (1 + a_v) * F_L * F_1 * F_a \quad (2)$$

충격압력 추정 은 선체에 작용하는 설계압력의 추정과 이를 보정하기 위한 부분으로 구분 지어 정리할 수 있으며, ISO 12215-5와 RINA Part B의 충격압력 추정식을 비교 정리하면 Table 1과 같다. 두 규정 모두 배수량과 LWL 그리고 선폭에 따른 기본압력을 산출하며, 설계면적(Design area)의 선체길이 방향 위치, 형상 및 설계조건에 따라 이를 보정하고 있다.

설계압력 추정은 두 규정 모두 선수부(1.0LWL)로 갈수록 충격압력이 증가하는 유사한 경향을 보이고 있다. 특히 RINA Part B의 경우 종방향 위치에 따라 선저부 경사각에 대한 고려를 하고 있으며, ISO 규정의 경우에도 선저경사각에 대한 고려가 있으나 이는 기본 설계압력 추정 시에 선체중양부(0.4LWL) 측정값만 고려하도록 하고 있다. 또한 RINA 규정의 경우 홀수 선에서 압력 측정점까지의 깊이를 고려한 수두(Hydrostatic head)압력 식 (3)의 p_1 식 (3)을 고려하고 있으며, 요구두께 추정 시 선체형상 고려에 따른 슬래밍 충격압력 p_2 와 비교하여 큰 값을 사용하도록 하고 있다. 다만 p_1 의 값은 10D(KN/m², D : 선체 중앙부 선저에서 웨더데크(Weather deck)까지의 높이) 보다 커야하며 그렇지 않을 경우, 이 값을 채택하도록 되어 있다.

$$p_1 = 0.24 * L^{0.5} (1 - \frac{h_0}{2 * T}) + 10 (h_0 + a * L) \quad (3)$$

L : Water line length

T : Design draft at the middle of length

h_0 : Vertical distance from pdr to the full load waterline

pdr : Point of reference in the design area

a : Coefficient as a function of the longitudinal position of pdr

ISO 규정의 경우 CE RCD 인증을 위한 설계범주(Design category) 정의에 따라 풍력등급(Beaufort scale)과 유의파고를 고려한 계수를 적용하고 있다.

3.2 선저부 판부재 두께 추정 규정 비교

충격압력에 따른 선저부 요구 판부재 두께 추정식은 ISO 12215의 경우에는 식 (4)와 같으며 RINA Part B의 경우에는 식 (5)와 같다.

$$t = b * k_C \sqrt{\frac{P * k_2}{1000 * \sigma_d}} \quad (4)$$

$$t_1 = k_1 * k_a * s * k_{of} * p^{0.5} \quad (5)$$

σ_d : Design stress(=0.5 σ_{uf})

k_{of} : Mechanical properties coefficient

P, p : Design pressure

요구두께 추정식의 경우도 기본 요구두께와 이를 보정하기 위한 부분으로 구분 지어 정리할 수 있었으며, ISO 12215-5와 RINA Part B의 요구두께 추정법을 비교 정리하면 Table 2, Fig. 2, Fig. 3과 같다.

Table 2 Comparing required thickness in ISO 12215-5 and RINA Pleasure Yacht Part B

Required Thickness	ISO 12215-5		RINA Part B	
	Scantling Thickness	FRP Single-Skin Laminate t	Thickness by Design Pressure	
			Thickness by Design Height	
Basic Factor	Minimum Thickness	Thickness Equation by Minimum Dry Weight of Reinforcement t/w	Minimum Thickness for Bottom Single-Skin = 5.5mm (E-glass)	
	Design Pressure	Bottom Pressure in Planing Mode P_{BMP}	Displacement Mode p_1 (Hydrostatic Head)	
	Panel Dimension	Short Dimension of The Panel b	Planing Mode p_2 (Slamming/Impact Pressure)	
	Laminate Properties	Ultimate Flexural Strength σ_{uf}	Spacing of The Ordinary Stiffener s	
	Design Height	-	Ultimate Flexural Strength $R_{mf} \rightarrow k_{of}$	
	Mass of Reinforcement	Minimum Dry Weight of Reinforcement w	Depth Measured Vertically in The Transverse Section at The Middle of Length $D \rightarrow t_2$	
Coefficient	Hull Structure	Ratio of Panel Dimension k_2	Coefficient as a Function of The Ration of Panel Dimension k_a	
	Panel Curvature	Curvature Correction Factor for Curved Plates k_c	Curvature Correction for Plating has a Pronounced Curve (1-f/s)	
	Pressure Type	-	Pressure Type Correction k_1	

특히 RINA Part B의 경우 충격압력에 따른 두께추정과 별도로 웨더데크의 높이(Design height)와 구조부재의 배치 결과에 따른 설계면적을 고려(Shorter dimension)한 두께 t_2 와 아래 식 (6)을 계산하여 상기 식 (5)에 의한 t_1 과 비교한 다음 더 큰 값을 채택하도록 하고 있다.

$$t_2 = 16 * s * k_{of} * D^{0.5} \quad (6)$$

또한 충격압력에 따른 요구두께 t_1 에 대하여 수두압과 충격압력의 차이에 따른 압력형태(Pressure type) 보정을 고려한 계수를 적용하고 있다.

두 규정 모두 최소 요구두께를 정의하고 있는데, ISO 규정의 경우 배수량(m_{LDC}), 속도, 구조부재의 종류, 섬유의 종류에 따라 정의되어 있으며, RINA Part B의 경우 구조부재의 종류에 따라 최소 요구두께를 각각 정의하고 있다.

Fig. 2 Plating-scantling process of ISO 12215-5 including material property and design pressure

Fig. 3 Plating-scantling process of RINA Pleasure Yacht Part B including material property and design pressure

4. CFRP 선체설계 사례연구 및 고찰

4.1 설계선 개요

설계선의 규모는 CFRP 레이저선박 중 가장 많이 건조되고 있는 40~50 피트 급 크루즈 보트로 선정하였으며, 실적선을 참조하여 선형을 정의하였고 ISO와 RINA 규정에 적합한 구획 및 구조설계를 하였다. 사례연구 수행을 위한 설계선의 ISO 기준 주요 제원은 Table 3과 같다. Fig. 4는 설계선의 구획 및 구조에 대한 배치와 형상을 보이고 있으며, Fig. 5는 설계홀수에서의 선체구조를 고려한 중앙단면도와 반쪽도를 보이고 있다.

선저부의 충격압력과 판부재 요구두께 측정점(Load point)은 Fig. 6에서 보는 바와 같이, 킬의 위치변화(x/LWL)에 따른 측정 판부재의 설계면적(Design area)에 따라 계산하였다. 다만, 보다

Table 3 Principal dimensions of CFRP design ship according to ISO 8666

Item	Wind	Unit
LH	15.91	m
BMAX	4.42	m
D	2.82	m
T	0.74	m
Δ (mLDC)	14.57	ton
V	38	knot

Fig. 4 Perspective view of hull structures

Fig. 5 Section view of hull structures

Fig. 6 Spacing of structures and reference points(load points) for estimating design pressure and required thickness

Table 4 Load points of design area on bottom plate

CASE I

load points of the design area along the keel line

I-1, H-1, G-1, F-2, E-2, D-2, C-2, B-2, A', A

CASE II

load points of the unit design area adjacent to the keel line

I-1, H-1, G-1, F-1, E-1, D-1, C-1, B-1, A', A

면밀한 분석을 위하여 킬라인에 따른 계산(Table 4-CASE I)과 킬라인과 인접한 동일 설계면적 판부재에 대한 계산(Table 4-CASE II) 두 가지의 경우를 고려하여 충격압력과 두께추정을 수행하였다.

4.2 CFRP 적층판 물성 정의

두께 추정을 위한 적층판의 물성 정의는 ISO, RINA 규정에서 각각 제시하고 있는 추정식을 이용하였다. CFRP 적층판의 G_c (Content of reinforcement in laminate)는 RINA 규정에서 제시하고 있는 선체 제작 시 작업환경을 고려한 추천값을 참조하여 0.5로 가정하였고, 적층판 형태는 Woven roving으로, 선체는 Single-skin 라미네이트로 제작한다고 가정하였다.

물성은 항목에 따라 미소하게 차이가 있지만 RINA 규정에 의한 CFRP 적층판의 물성이 약 25%정도 작게 추정되는 결과를 보였으며, 이 중 두께 추정에 쓰이는 CFRP 적층판의 휨강도는 ISO와 RINA 규정에 의해 각각 $\sigma_{ur}=386(N/mm^2)$, $R_{mf}=293(N/mm^2)$ 로 추정되었다.

4.3 선저부 충격압력 추정 결과

ISO 규정과 RINA 충격압력 추정법에 따른 선저부 충격압력 추정 결과는 Fig. 7과 같다. 이때 킬 라인에 따른 설계면적 측정점에서의 충격압력 CASE I은 실선(Fig. 7, Fig. 9)으로, 킬라인과 인접한 동일 설계면적 측정점에서의 충격압력 CASE II는 점선(Fig. 7, Fig. 11)으로 표시하였다.

Fig. 7 Comparing design pressure at load points(ISO & RINA)

Fig. 8 Comparing required thickness at load points(ISO & RINA)

Fig. 9 Design pressure at load points along the keel line(CASE I)

Fig. 10 Required thickness at load points along the keel line (CASE I)

Fig. 11 Design pressure at load points adjacent to the keel line(CASE II)

Fig. 12 Required thickness at load points adjacent to the keel line(CASE II)

Fig. 13 Required thickness of bottom (CASE I)

Fig. 14 Required thickness of bottom (CASE II)

ISO 규정에 따른 추정결과의 경우 선체 중앙부에서 큰 값을 보이다가 선수부로 가면서 일정 값으로 수렴하고 있다. 선체 중앙부 F(Fig. 9 0.4LWL)에서 매우 큰 값을 보이는 이유는 충격압력 측정 판부재의 설계면적이 급격히 줄어드는 선체 중앙부(F-1 panel)이기 때문이며, 이는 설계면적이 다시 증가함에 따라 선미부보다 다소 증가한 값으로 수렴하고 있다. RINA 규정에 따른 추정결과의 경우 선체 중앙부에서 다소 큰 결과를 보이고 있다가, 선수부로 가면서 선저 경사각에 의한 영향으로 충격압력이 급감하고 있다. 특히, 선저 경사각이 50도보다 큰 A, B 영역(0.8LWL~1LWL)의 경우 충격압력이 수두압력 보다 작게 작용하는 것으로 나타났다.

4.4 선저부 판부재 두께 추정 결과

ISO와 RINA 규정의 선저부 판부재 두께 추정법에 따른 선저부 판부재 두께추정 결과는 Fig. 8과 같다. 측정점 CASE I에서의 두께 추정결과는 Fig. 10에, 측정점 CASE II에서의 두께 추정결과는 Fig. 12에 별도로 보이고 있다. 각각 설계면적 측정점에서 충격압력을 계산한 후 그에 따른 두께를 계산하여 큰 값을 선택하도록 하며, 이때 두께 추정결과가 각 규정의 최소요구사항보다 작은 경우는 최소요구사항 값을 선택하도록 한다.

Fig. 13과 Fig. 14는 최종적으로 산출된 CASE I과 CASE II의 요구두께를 보이고 있다. 전체적으로 RINA의 요구두께 추정 결과가 ISO보다 크게 산출되는 경향을 보이고 있으며 최대 요구두께는 RINA=13.6mm과 ISO=8.1mm, 평균 요구두께는 아래 Table 5와 같이 추정되었다.

RINA 규정의 경우 휨강도를 포함하는 물성 추정 시 대체적으로(약 25%) 작게 추정되는 경향이 있었으며, 설계면적의 형상특성에 따른 충격압력의 감소를 대체 산출식으로 보정하고 있었다.

선체 중앙부에서 요구두께가 매우 작은 이유는 설계선의 선형 특성에 따라 설계면적이 매우 작게 계산되면서(Fig. 13 0.4LWL~0.6LWL) 발생한 것이며, 이 경우 최소 요구두께가 채택되었다. 선수부 요구두께의 경우 충격압력 추정 경향과 반대로 RINA의 요구두께가 더 크게 나타났는데, 그 이유는 선수부의 선저 경사각이 급격히 증가함에 따라 RINA의 충격압력이 0에 가깝게 산출되면서 이 구간의 수두압력을 두께 산출에 적용하였기 때문이다. 수두압력을 두께 추정에 적용하는 경우 압력형태 보정(k_1)에 따라 충격압력 보다 두께 고려가 더 이뤄지기 때문에 오히려 ISO 충격압력 추정치를 고려한 것 보다 더 큰 요구두께가 산출된 것으로 판단된다.

Table 5 Comparing required thickness (ISO & RINA)

	ISO 12215-5			RINA Part B			Unit
	Max	Min	Ave.	Max	Min	Ave.	
Case 1	8.1	2.6	5.4	13.6	5.5	9.3	mm
Case 2	8.1	4.5	6.4	13.6	8.6	10.8	mm

5. 결 론

본 연구에서는 CFRP 레이저선박의 선체구조 설계를 위한 ISO 표준과 RINA 규정을 비교분석하였다.

충격압력 추정에 있어서는 RINA Part B가 ISO 12215-5보다 선체의 형상에 대한 고려가 더 이뤄지고 있으며, 또한 선체 종방향 압력측정 위치에 따른 수두압력도 고려하고 있다. ISO 규정의 경우 충격압력 추정 시 설계범주(Design category)에 따른 풍력과 유의파고를 고려하는 특징이 있었다.

요구두께 산출을 위한 물성 추정에 있어서는 두 규정 모두 섬유의 종류, 직조방식, 구조부재의 종류, 작업형태 등을 고려한 다양한 추정방식을 제공하고 있으며, CFRP에 대한 고려 또한 유리섬유와 함께 잘 정의되어 있었다. 물성정의 결과는 탄성계수와 강도에 있어서 ISO 12215-5의 추정결과가 다소 높게 산출되는 경향을 보였다. 이에 따라 요구두께 추정의 경우 전반적으로 RINA Part B의 추정결과가 ISO 12215-5보다 크게 요구되는 경향이 있으며, 구조부재별 최소 요구두께의 경우도 RINA Part B가 다소 크게 요구되는 경향이 있었다.

CFRP 사례 설계선의 선체구조 설계를 통해 위와 같은 비교분석 결과의 경향을 다시 확인할 수 있었으며, 또한 국제규정을 적용한 CFRP 소재 레이저선박의 선체구조 설계 과정을 이해할 수 있었다.

유럽공동체 EU 및 해양레저산업 선진국에 레이저선박의 제작 및 수출을 위해서는 이와 같은 국제규정에 적합한 설계 및 인증은 필수이다. 이에, 국제규정을 기반으로 한 레이저선박 설계기술의 저변확대 및 경쟁력 강화를 위해 본 연구를 수행하였으며, 연구결과는 향후 CFRP 소재의 레이저선박 개발에 유용한 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 논문은 지식경제부 광역경제권 연계협력사업 “CFRP 소재의 고급 크루즈 보트 개발”의 지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

References

- ISO (International Organization for Standardization), 2008. ISO 12215-5 : Small Craft - Hull Construction and Scantlings - Part 5: Design Pressures for Monohulls, Design Stresses, Scantlings Determination. ISO, Switzerland.
- Kim, B.J., Kwon, S.Y., Kim, S.C., Lee, J.H., 2011. Comparison Study and Structural Analysis to Investigate the Design Rule and Criteria of Catamaran. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 48(6), 479-489.
- KR (Korean Register of Shipping). 2011. Guidance for Recreational Crafts. Korean Register, Korea.
- Lee, C.J., Lee, H.J., 2010. A Study on the Comparison of

- Domestic Pleasure Boat Inspection Guideline with International Standards(ISO). Journal of Korea Ship Safety Technology Authority, 28, 64-77.
- Lee, J., 2011. On the Design Impact Pressure in the Rules and Regulations of ISO and Classification Societies. Journal of Korea Ship Safety Technology Authority, 31, 60-70.
- RINA (Registro Italiano Navale), 2009. Rules for the Classification of Pleasure Yacht Part B Hull and Stability. Imago Media, Italy.
- RINA (Registro Italiano Navale), 2011. RINA for Yacht. RINA, Italy.