

# 60M급 쌍동형 카페리 구조 엔지니어링 고찰

이정호\* · 김인철\*\* · 서광철\*\*\*†

\* 목포해양대학교 대학원, \*\* (주)해운조선, \*\*\* 목포해양대학교 조선해양공학과

## Structural Engineering Study of 60M Twin-hull typed Car-ferry

Jung-Ho Lee\* · In-Chul Kim\*\* · Kwang-Chul Seo\*\*\*†

\* Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

\*\* Hae Woon ShipYards, Mokpo 58622, Korea

\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

**요 약** : 본 논문에서는 쌍동형 카페리에 대한 기본구조설계 및 구조해석을 위한 기법을 제시한다. 카페리와 같이 길이가 50미터 이상이고, 길이/폭의 비가 12보다 큰 중/소형 고속선박의 강도해석에 대한 규정이나 방법론은 아직까지 명확하게 제시되지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 한국선급 규정을 이용하여 부재 스캔틀링을 수행하였고, 설계안에 대한 구조강도 검증을 위해서 카페리 전용선박 기준을 추가적으로 적용하여 검토하였다. 특히, 카페리 전용선박 기준을 이용하여, 선체거더 최종강도를 추가적으로 수행하였으며, 기존 기준에 의한 설계의 모호성을 극복하도록 제안하였다. 본 연구를 통해 도출된 연구 결과는 앞으로 고속 쌍동형 카페리의 구조설계 및 구조해석에 관련된 기본적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 예상되며, 현재 설계된 쌍동형 카페리의 부재 치수는 한국선급 기준에 충분히 만족하면서 구조적으로 안전하다.

**핵심용어** : 쌍동형, 슬래밍, 굽힘 모멘트, 유한요소법, 구조해석

**Abstract** : This paper suggests study of basic structure design and structural analysis for the twin car-ferrys. The rules and methodology for the strength analysis of medium and small sized high speed vessels with a length of more than 50m and a length/width ratio of more than 12, such as car-ferrys, have not been clarified yet. Therefore, in this paper, the members scantling were carried out using the KR Rule, and the car-ferry exclusive vessel standard were further applied to verify the structural strength the design. The scantling of the members is based on the Korea Classification standards, and the car-ferrys standards were additionally applied to verify the structural strength of the design. Especially, the ultimate strength of hull girder was additionally carried out by using car-ferry exclusive vessel standard, and proposed to overcome ambiguity of design by existing standard. The results of this study are expected to be useful as basic data related to structural design and structural analysis of high speed twin-hull car-ferrys. The present car-ferry design has a sufficient safety margin in strength point of view according to the KR rule.

**Key Words** : Twin-hull, Slamming, Bending moment, Finite element method, Structure analysis

### 1. 서 론

쌍동형 선박은 두 개의 선체를 가지는 선박으로 물에 잠기는 상사의 몸체를 서로 연결하여 갑판부를 활용하고 그 위에 선실 구조물을 설치한 선박을 말하며, 두 선체의 일부

혹은 전부가 수면 아래로 잠수하거나(Swath), 수면 상에 부양하거나(Planing), 파도를 뚫으며(Wave-piercing) 항해한다. 항해속력에 있어서는 선체중량의 대부분을 정적주력으로 지탱하고 있는 선박을 가리키며, 쌍동선은 크게 보통형 쌍동선과 파랑 관통형(Wave-piercing) 쌍동선으로 나눌 수 있다 (Kim et al., 2011). 이 선형의 장점으로는 동일한 배수 톤의 단동선보다 넓은 갑판을 제공하며, 건조비도 비싸지 않으나 단점으로는 침수면적이 크므로 저속운행 시 저항이 증가하고 동일한 배수 톤의 단동선보다 같은 속도를 유지하기 위

\* First Author : lljh4760@naver.com, 061-240-7476

† Corresponding Author : kcseo@mmu.ac.kr, 061-240-7303

※ It is noted that this paper is the revised edition based on proceedings of KOSOMES 2017 in Mokpo.

한 추진동력이 커야 한다는 점이다. 특히, 파랑 중 내항성능과 관련하여 불가피하게 배의  $L/B$ 가 단동선보다 작게 되므로 횡요 고유 진동주기가 적어지게 된다. 이는 입사파가 배의 길이 방향에 대해 20-70°로서 배의 운동이 6자유도 운동이 될 때 중요와 횡요가 동시에 고유 진동주기로 겹치면서 인체에 감수하기 어려운 회전운동을 일으켜 승선감이 나쁘다는 특징도 있다. 또한 상하운동이나 중요가 심하여 파면이 횡단갑판의 하부를 칠 때, 슬래밍(Slamming)이 발생하며 이러한 하중은 여객에게 주는 충격력, 정밀한 전자계측 장비 등에 고장을 일으키는 원인이 되기도 한다. 하지만 선수부의 배수량을 적게 하여 중복지력을 작게 하고 동시에 날카로운 선수를 만들어 파도로부터 전해지는 외력을 줄여 중요를 감소시킨다면 언급된 단점을 보완할 수 있다. 최근, 고속 단동형(Mono-hull), 쌍동형(Twin-hull) 형태의 요트 및 카페리에 대한 관심이 크게 증대되면서, 여러 가지 관련 설계 기술의 비약적인 발전과 함께, 국내·외 많은 연구자들이 다음과 같이 구조설계와 구조해석에 대한 연구를 진행하고 있다.

Park and Ko(2005)는 강선요트의 설계에 사용된 시제선에 관한 구조강도 평가를 수행하기 위해 영국선급(LR)에 의한 설계와 해석 프로세스를 정립하였다.

Park et al.(2009)은 38피트 보급형 쌍동형 요트의 구조설계 및 구조 안정성 평가를 위해 해석적 방법에 기술하였으며 구조설계 과정에서는 노르웨이 선급(DNV-GL), 한국선급(KR), 미국선급(ABS)에서 제시하고 하고 있는 평가항목에 대해 검토하였다. 특히 쌍동형 선박의 구조설계 및 해석의 프로세스를 정립하였다.

Oh et al.(2009)는 50피트 쌍동형 요트의 구조설계 과정 시 구조부재 스캔들링을 수행하고 이에 대한 설계하중을 산출하여 안전성을 평가하기 위해 노르웨이선급(DNV-GL)과 한국선급(KR)의 규칙을 적용하여 설계하중 및 해석 항목 등에 관한 프로세스를 정립하였다.

Oh et al.(2011)는 CFRP를 선체소재로 채택한 레저선박의 설계 및 특성에 대해 ISO 8666(주요제원과 하중상태)과 ISO 12217(소형선박의 부력과 복원력 평가), ISO 12215-5(소형선박의 구조설계) 등을 적용하여 50피트급 CFRP 크루즈 보트의 설계모델을 구축하였다.

그러나 구조설계와 구조해석 평가에 대한 일련의 과정에 있어서, 길이 50 m 이상의 쌍동형 카페리에 대한 구조강도 평가에 대한 규정이나 절차에 대한 프로세스는 보완할 점이 많은 게 현실이다.

따라서 본 연구에서는 KR(고속경구조선 규칙) 기준을 바탕으로, 고속 쌍동형 카페리 구조설계 절차 및 상세 유한요소해석을 적용한 결과를 언급하고 있다. 이와 같은 결과는 향후 쌍동형 카페리의 구조설계 및 구조해석에 관련한 기초적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

## 2. 쌍동형 카페리 구조설계

### 2.1 설계기준 검토

Table 1에서 보여주는 설계기준 검토 결과 국제기준 및 선급기준의 경우 단동선(Mono-hull)과 다동선(Multi-hull)에 대한 기준은 있으나 연구 개발 대상의 제원이 적용 범위 내에 해당하지 않아 설계기준 적용을 하지 못한다(KR, 2015a).

Table 1. Design criterion of twin-hull

	Criteria	Mono-hull	Muti-hull
Domestic standard	Structure criterions of Steel	○	×
	Structure criterions of FRP	○	×
	Structure criterions of Aluminum	○	○
International standard	ISO 12215-5,7	○	○
Classification standard	High speed and Light Crafts of Korea Classification Standards	○	○

### 2.2 설계 하중

쌍동형 레저요트설계에 대한 기준은 선급이나 각종 연구 자료를 통해서 제시되어지고 있다. 그러나 아직까지도 쌍동형 고속 요트 및 카페리(Car-ferry)에 대한 구조설계 및 구조강도 평가에 대한 기준의 정립에 관해서는 보다 많은 연구와 고찰이 필요하다. 본 장에서는 쌍동형 카페리의 설계하중에 대한 선급의 기준을 간략히 소개를 하고 있다. Fig. 1에서는 본 논문에서 개발 목적으로 하고 있는 유사한 쌍동형 카페리에 대해서 나타내고 있다. Table 2는 본 연구에서 대상으로 하고 있는 카페리에 대한 주요치수를 나타내고 있다. 개발 목표로 하고 있는 카페리는 길이에 비해서 폭이 상대적으로 넓은 치수비를 유지하고 있으며, 방형 계수와 주형계수가 상대적으로 작은 세장선으로 설계가 되어 있어서, 중속 이상의 항주에 부합하는 특징을 가지고 있다.



Fig. 1. Twin-hull Car-ferry.

Table 2. Principal of dimension

LOA	60.00 m
L-scantling	58.0 m
Breath	19.8 m
Depth	4.2 m
Draft	2.5 m
C <sub>b</sub>	0.52
Speed (knots)	15
Displacement (ton)	1121

2.2.1 설계 수직 가속도

본 논문에서 고려한 쌍동형 고속 카페리의 속장비 ( $V/\sqrt{L}$ )가 1.93 이므로 식(1)에  $f_g$ (선종과 항행범위 제한부호에 따라 구분된 가속도 계수)와  $g_0$ (중력가속도) 값을 대입하여 설계 수직 가속도 값을 아래의 식(1)을 이용하여 계산한다.

$$a_{cy} = \frac{V}{\sqrt{L}} \times \frac{3.2}{L^{0.76}} \times f_g g_0 \tag{1}$$

$L$  : 선박길이,  $V$  : 선박속도

2.2.2 허용 속력

설계 수직 가속도에 대응하는 허용 속력은  $V/\sqrt{L}$ 가 3.0 미만일 때 식(2)에 대입하여 허용속력을 구한다.  $H_s$ 는 유의 파고를 나타낸다.

$$a_{cy} = 6 \times \frac{H_s}{L} \times (0.85 + 0.35 \times \frac{V}{\sqrt{L}}) \times g_0 \tag{2}$$

2.2.3 종방향의 설계 가속도

종식 구조를 갖는 선박에서의 종방향 설계 가속도는 주요 구조부재의 치수를 결정하는데 필수적으로 이용된다.

$$a_t = 2.5 \left( \frac{C_w}{L} \right) \left( 0.85 + 0.25 \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 g_0 \tag{3}$$

$C_w$ 는 파랑계수로서 100 m 이하의 선박에 대해서 0.08 L을 적용시켜 종방향의 설계 가속도 값을 구한다.

2.2.4 횡방향의 설계가속도

횡방향으로 작용하는 설계가속도는 아래 식(4)를 이용하여 계산이 가능하다.

$$a_t = \left( 2 \times \frac{\pi}{T_R} \right)^2 \theta_r r_r \tag{4}$$

여기서,  $T_R = \frac{\sqrt{L}}{1.05 + 0.175 \frac{V}{\sqrt{L}}}$ ,  $\theta_r = \frac{\pi h_w}{2L}$  으로 구할

수 있다.  $T_R$ (횡요주기),  $\theta_r$ (최대횡요의 기울기)이며  $h_w$ 는 최대 속력의 0.7배를 유지 할 수 있는 최대과고로서  $0.6C_w$  이상이어야 한다.  $r_r$ 은 횡요 중심으로부터 고려하는 위치까지의 높이이다.

2.2.5 선저 설계 슬래밍 압력

단동형선을 제외한 복수개의 헬과 갑판을 갖는 선박형태에서는 피칭운동에 의한 선저에 슬래밍압력이 빈번하게 작용되며, 이에 대한 설계값을 아래의 식(5)와 같이 계산하여 Fig. 2에 도식하였다. 작용면적 및 선저경사각( $\beta_{cy}$ )에 의해서 하중값이 좌우되며, 너클 선형일수록 작용면적(A)증가에 따른 선저 슬래밍 압력은 증가한다.

$$P_{sl} = 1.3k_1 \left( \frac{\Delta}{nA} \right)^{0.3} d_0^{0.7} \left( \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{cy}} \right) a_{cy} \tag{5}$$

$\beta_{cy}$  : 선박의 종방향 무게중심에서의 선저경사각도로서 최소 10도, 최대 30도로 한다.

$k_1$  : 종방향 슬래밍 압력 분포 계수

$n$  : 선체의 수, 쌍동선의 경우 2

$A$  : 고려하는 부재의 설계하중 작용면적( $m^2$ )

$d_0$  : 운항속도시 정상운항상태에서 L의 중앙에서 측정된 흘수(m)

$\beta_x$  : 고려하는 횡단면에서의 선저경사각도로 최소 10도, 최대 30도로 한다.

$a_{cy}$  : 설계 수직 가속도

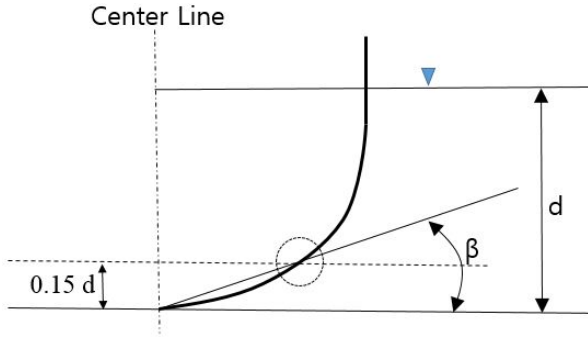


Fig. 2. Bottom gradient angle in cross section.

선체가 2개이므로,  $n$ 의 계수 값을 2로 하고 고려하는 부재의 설계 하중 작용면적(A)는  $0.002\Delta/d$ 보다 클 필요는 없다( $\Delta$ : 배수량).  $k_t$ (슬래밍 압력 분포계수), 판을 따라 측정된 휨 보강재의 간격(S), 운항 속도 시 정상운항 상태에서 L의 중앙부에서 측정된 흘수( $d_0$ ), 고려하는 횡단면의 선저 경사각도( $\beta_x$ )를 통하여 선저 슬래밍 압력을 구한다. 본 논문에서는 속장비( $V/\sqrt{L}$ )가 3.0 미만이므로 식(5)를 고려하지 않는다.

2.2.6 중요에 의한 슬래밍 압력

판재류와 휨보강재 및 거더 부재에 작용하는 중요에 의한 슬래밍 압력을 아래 식(6)에 의해 계산한다.

$$P_{sl} = \frac{21}{\tan(\beta_x)} k_a k_b C_W (1 - \frac{20d_L}{L}) (0.3/A)^{0.3} \quad (6)$$

$k_a$  : 부재별 재료 계수 (판재류 = 1.0)

$k_b$  : 계수 (판재류, 중휨보강재 및 중거더 = 1.0)

$d_L$  : 선수단에서 측정된 최소항해 흘수(m)

$\beta_x$  : 고려하는 횡단면에서의 선저경사각도로 최소 10도, 최대 30도로 한다

$C_W$  : 과량계수(0.08 L)

2.2.7 선수 측부 및 선수부 충격압력

선박이 항주중일 때 선수는 과도한 피칭운동에 의해 유발되는 충격압력이 전달되며, 선수의 측부에도 유사한 현상이 발생한다. 이러한 영향을 적절히 고려하기 위하여, 식(7)에 의해 설계하중을 계산하며, Fig. 3과 4에 도식하였다.

$$P_{sl} = (\frac{0.7LC_L C_H}{A^{0.3}}) [0.6 + 0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} \sin\gamma \cos(90^\circ - \alpha) + \frac{2.1a_0}{C_B} \sqrt{0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} + 0.6 \sin(90^\circ - \alpha) (\frac{x}{L} - 0.4)}] \quad (7)$$

$C_L$  : 선박길이의 수정계수

$C_H$  : 하중점에서 수선상부 높이에 대한 수정계수

$a_0$  : 가속도계수

고려하는 부재의 설계하중 작용 면적(A), 선미단으로 부터 고려하는 곳까지의 거리(x), 선박의 각각의 수정계수와 플레어 각도( $\alpha$ ), 수선의 접선과 버텍 라인이 이루는 각도( $\gamma$ ) 등을 통하여 선수 측부 및 선수부 충격 압력을 구한다.

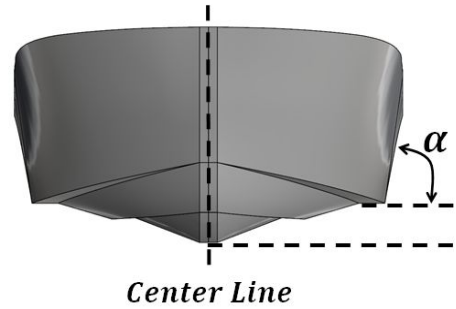


Fig. 3. Flare angle at the considered position.

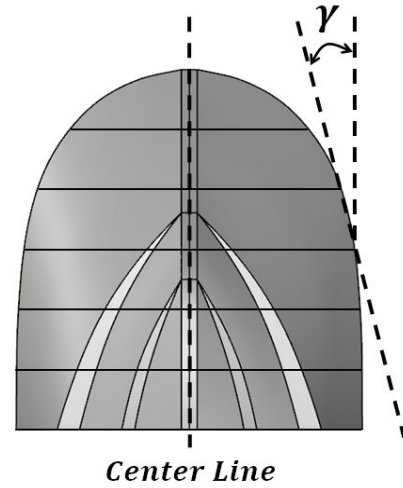


Fig. 4. The angle between the tangent of the waterline and the buttock line.

2.2.8 쌍동선 연결구조의 슬래밍 압력

쌍동형 선박의 구조 취약부 중 한가지인 헐과 데크의 연결구조에 작용되는 국부적인 슬래밍 하중에 대한 구조안전성 검토를 위하여 식(8)을 이용하여 계산한다.

$$P_{sl} = 2.6k_t (\frac{\Delta}{A})^{0.3} a_{cy} (1 - \frac{H_C}{H_L}) \quad (8)$$

$H_C$  : 흘수선으로부터 하중 작용점까지 수직거리(m)

$H_L$  : 수선으로부터 슬래밍을 피하기 위한 하중작용점까지의 필요한 수직거리(m)

선체에 따른 슬래밍 압력의 선박 길이 방향 분포 계수( $k_l$ )는 쌍동선의 경우 0.3을 이용하고 선체 형상에 따른 계수( $k_c$ )를 이용하여 쌍동선 연결 구조의 슬래밍 압력을 구한다.

**2.2.9 선측부 및 노출 갑판에 작용하는 해수압력(만재흘수선 하부)**

중양에서 선미단까지, 선수단 앞쪽까지 해수압력은 항행 범위 제한 부호에 따라 선측부, 노출갑판부, 루프부가 결정된다.

$$P = 10h_0 + (k_s - 1.5 \frac{h_0}{d}) C_W \tag{9}$$

$h_0$  : 만재흘수(d)에서의 수선으로부터 하중작용점까지의 거리(m)

$k_s$  : 해수압력의 선박길이 방향의 분포계수

$C_W$  : 파랑계수

Table 3에서는 KR(2015a)에서 분류한 항행범위에 각 요트의 부재범위에 따른 해수압력의 최소값을 나타내고 있다.

Table 3. Minimum value against water pressure

Restriction Code	Side	Exposure deck	High loop
SA0, SA1, SA2, SA3	6.5	5	3
SA4	5	4	3
SA5	4	3	3

**2.2.10 고속항해 시 충격하중에 의한 굽힘 모멘트**

고속항해 시, 선박의 선수부는 과도한 충격하중이 반복적으로 전달되며, 이로 인하여 발생하는 굽힘 모멘트에 구조가 충분한 강성을 갖는 설계를 하도록 권고하고 있다.

$$A_R = k\Delta \left( \frac{1 + 0.2 \frac{a_{cg}}{g_0}}{d} \right) \tag{10}$$

속장비가 3.0 이상인 선박의 슬래밍 압력의 면적에 대해 중양부 파정 착수 시 k값을 0.7로하고 선수미 착수시의 k값을 0.6으로 하여 면적을 구한다.

**2.2.11 중양부 파정 착수 모멘트**

슬래밍 압력의 작용면적의 종방향 범위( $l_s$ ), 슬래밍 압력의 작용면적의 폭( $b_s$ )을 구하여 중양부 파정 착수 모멘트(hogging)을 아래 식(11)과 같이 계산한다.

$$M_B = \frac{\Delta}{2} (g_0 + a_{cg})(e_w - 0.25l_s) \tag{11}$$

선박의 선수부 무게 중심에서 선미부 무게 중심까지 거리의 1/2값( $e_w$ )을 구하고 추정이 불가능할 경우에는 0.25 L로 구한다. Fig. 5와 6은 KR(2015a)을 참고하였다.

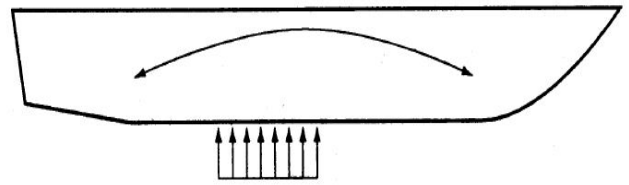


Fig. 5. Longitudinal range of slamming pressure area.

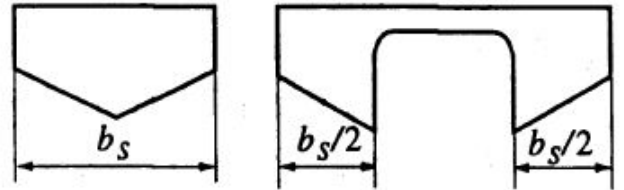


Fig. 6. Width of slamming pressure area.

**2.2.12 선미부 파정 착수 모멘트**

슬래밍 압력의 작용면적의 중양으로부터 선박의 무게 중심까지의 평균 거리( $e_r$ )를 구하여 선미부 파정 착수 모멘트(sagging)를 아래 식(12)와 같이 계산한다. Fig. 7은 KR(2015a)을 참고하였다.

$$M_B = \frac{\Delta}{2} (g_0 + a_{cg})(e_r - e_w) \tag{12}$$

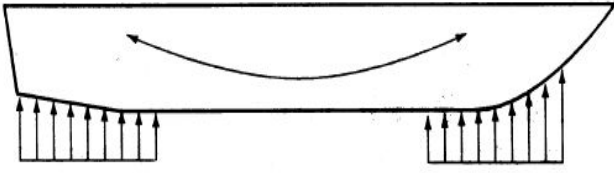


Fig. 7. Slamming pressure action range.

2.2.13 호킹 및 새김 굽힘 모멘트

호킹 굽힘 모멘트로 최대 하중조건에서의 정수중 모멘트 추정치에 관한 호킹은  $0.5\Delta L$ 로 계산을 하고 새김은 “0”으로 계산을 한다. 용골상면으로부터 쌍동선 연결구조 의 하단까지의 높이를 이용하여 호킹과 새김 시의 쌍동선 연결부의 잠수에 의한 영향 계수( $k_2, k_3$ )를 구하며, 식(13), (14)와 같이 계산한다.

$$M_{Hog} = M_{SW} + 0.19C_W L^2 (B_{WL} + k_2 B_{tn}) C_b \quad (13)$$

$$M_{Sag} = M_{SW} + 0.14C_W L^2 (B_{WL} + k_3 B_{tn}) (C_b + 0.7) \quad (14)$$

$M_{SW}$  : 최대하중 조건에서의 정수중 모멘트

$C_W$  : 파랑계수 (0.08L)

$C_b$  : 방형계수

$B_{tn}$  : 쌍동선 연결부의 너비(m)

$B_{WL}$  : 중앙부의 수선면적

$k_2, k_3$  : 호킹 및 새김시의 쌍동선 연결부의 잠수에 의한 영향계수

2.2.14 종굽힘에 의한 전단력

호킹과 새김현상에 의해 발생하는, 종굽힘에 의한 전단력을 아래 식(15)과 같이 계산한다.

$$Q_b = \frac{M_B}{0.25L} \quad (15)$$

2.2.15 쌍동선 연결구조에 작용하는 횡방향 굽힘 모멘트

항해 범위에 따라 쌍동선 선체 중심간의 길이(b)와 항행범위에 따른 계수(s)에 의하여 횡방향 굽힘 모멘트를 아래 식(16)과 같이 계산하며, Fig. 8에 도식하였다.

$$M_s = \frac{\Delta a_{cg} b}{s} \quad (16)$$

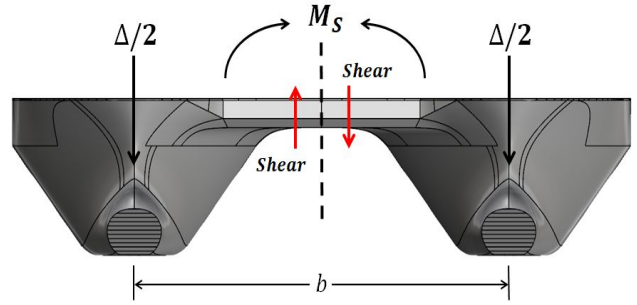


Fig. 8. Bending moment of connection structure.

Table 4에서는 KR(2015a)에서 분류한 항행범위에 따른 두 가지 계수 값의 정의에 대해서 나타내고 있다.

Table 4. Navigation range

Restriction Code	s	q
SA4	8.0	6.0
SA3	7.5	5.5
SA2	6.5	5.0
SA1	5.5	4.0
SA0	4.0	3.0

2.2.16 쌍동선체 사이의 중심선상에 작용하는 수직 전단력

항행범위 제한 부호에 따른 항행범위에 따른 계수(s)와 항행구역에 따른 계수(q) 값을 이용하여 쌍동선체 사이의 중심선상에 작용하는 수직 전단력을 아래 식(17)과 같이 계산한다.

$$S = \frac{\Delta a_{cg}}{q} \quad (17)$$

2.2.17 쌍동선 종·횡 비틀림 모멘트

두 개의 혈과 갑판 사이에 작용되는 서로 다른 유체압력 차이에 의해서 발생하는 종, 횡 비틀림 모멘트에 의한 하중 계산을 아래 식(18), (19)과 같이 계산한다.

$$M_p = \frac{\Delta a_{cg} L}{8} \quad (18)$$

$$M_t = \frac{\Delta a_{cg} b}{4} \quad (19)$$

쌍동선 길이와 폭을 이용하여 종( $M_p$ )과 횡( $M_t$ )를 구하며, Fig. 9에 도식하였다.

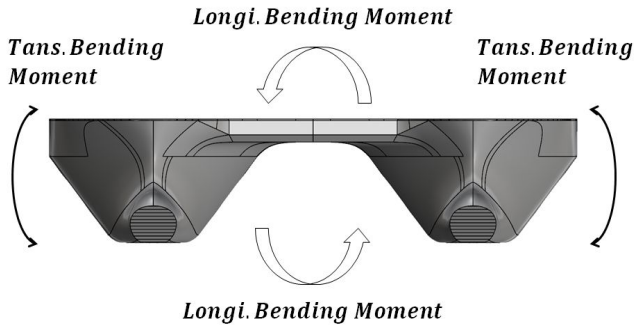


Fig. 9. Torsional moment of connection structure.

### 2.2.18 굽힘 강도(선체 횡단면의 단면계수)

선박의 중앙부에 있어서의 굽힘 모멘트와 허용 굽힘 응력 ( $175 \text{ N/mm}^2$ )을 이용하여 선체 횡단면의 단면계수( $Z_t$ )를 아래 식(20)과 같이 계산하며, 허용굽힘응력 보다 큰 경우에만 선급규칙을 만족하는 조건이다.

$$Z_t = \frac{M}{\sigma} \times 10^3 \quad (20)$$

앞서 언급한 내용은 선급규칙에서 규정한 주요 하중성분을 계산한 일례를 나타내고 있으며, 이러한 방법은 일반적인 소형강구조선 설계에 범용적으로 사용되고 있다. 이러한 방법은 선체구조를 구성하는 독립된 부재의 안전성은 쉽게 확인이 가능하나, 연속부재 상태에서 설계하중에 대한 구조 안전성에 대한 상세 검토는 제공하지 않는다. 이에 본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위한 새로운 구조설계 절차를 제안하고자 한다.

### 2.3 구조강도 검토 절차

아래 Fig. 10은 본 논문에서 제안하는 구조설계 검토 절차를 나타내고 있다. 단계별로 새롭게 추가된 항목은 2가지이며, 판넬 좌굴 체크와 중앙부 휨강도 평가이다. 쌍동형 카페리 구조의 특성 상, 선저와 혈과 데크 연결구조에서 압축하중이 자주 발생하기 때문에, 판넬의 좌굴강도 평가는 필수 사항이며, 이는 기둥좌굴 검토가 완료된 후에 별도로 실시해야 한다. 선급규칙에 의한 단면계수치 설계가 완료된 후에는 중앙부 단면에 대한 상세 구조검토를 통해서, 적용된 하중 대비 구조강도 안전율을 보다 신뢰성 있게 파악이 가능하다. 이러한 일련의 절차를 통해서, 구조엔지니어는 설계 결과물에 대한 확신 및 최적설계를 가능하게 할 수 있다.

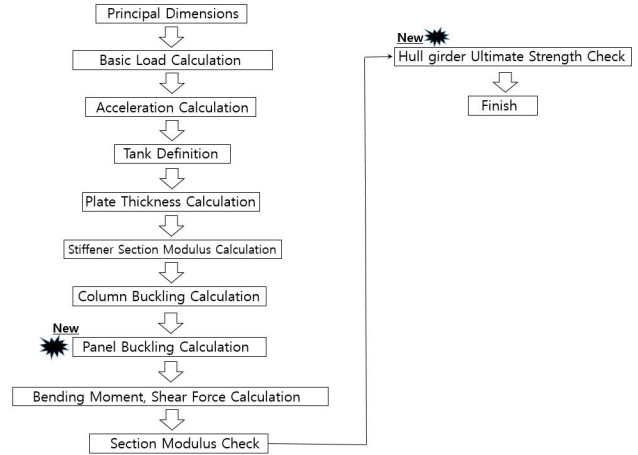


Fig. 10. Structural strength review process.

## 3. 구조설계에 대한 강도 검증

주요 구조 부재의 치수는 앞장에서 기술한 절차와 방법에 따라 정의 하였으며, 새롭게 제안한 구조강도 검토 절차에 대한 유용성을 검토하기 위하여 카페리 전용선박 기준에서 제시한 방법에 따라 부재의 치수 및 구조강도를 재검증하였다. 위 기준에서는 선실구조가 종강도 부재로서 강도분담 역할을 하는 개념이므로, 일반적인 카페리에 적용하기에는 적합하지 않지만, 선실구조를 제외한 나머지 종강도 부재의 구조 안전성을 검증하는데 있어서는 유용하다. Fig. 11은 설계된 중앙 횡단면도를 나타내고 있으며, 쌍동형 선체 내에 작용하는 슬래밍 압력 및 비틀림 모멘트에 충분한 구조강성을 확보하기 위하여 응력 집중부 설계 및 생산성을 고려한 두께 단차를 복합적으로 고려하였다(KR, 2015c).

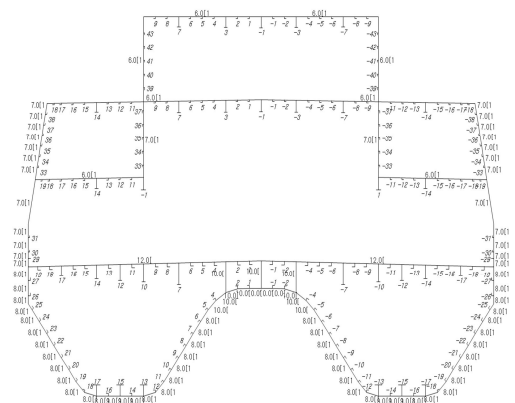


Fig. 11. Midship section (FR.61, x=30.5 m).

### 3.1 Design Bending Moment 계산

카페리 전용선박 기준에서 요구하는 휨모멘트 분포도를 Fig. 12에서 나타내고 있으며, 앞서 언급한바와 같이 요구되는 휨모멘트가 강구조선 기준 대비 큰 값을 적용하고 있다. 이러한 하중을 기준으로 하여, 종방향 휨거동을 해석하였으며 주요 결과는 3.2에서와 같다(KR, 2015b).

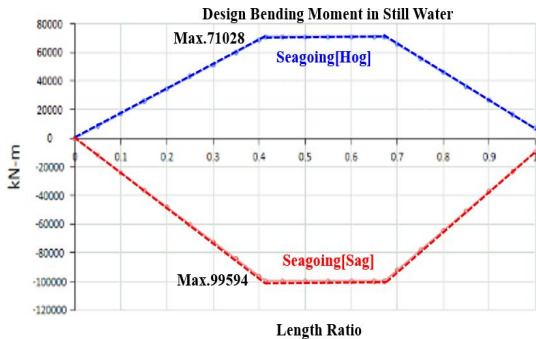
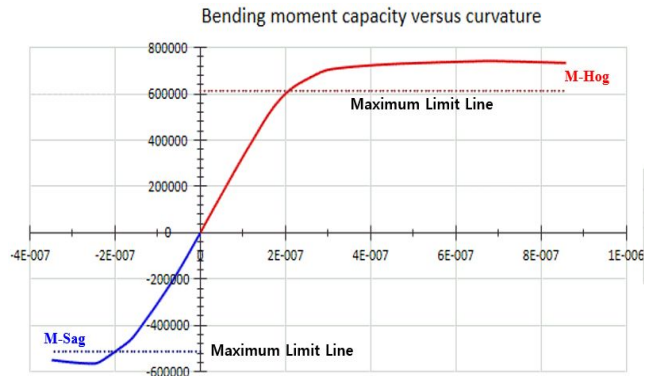


Fig. 12. Design bending moment in still water.

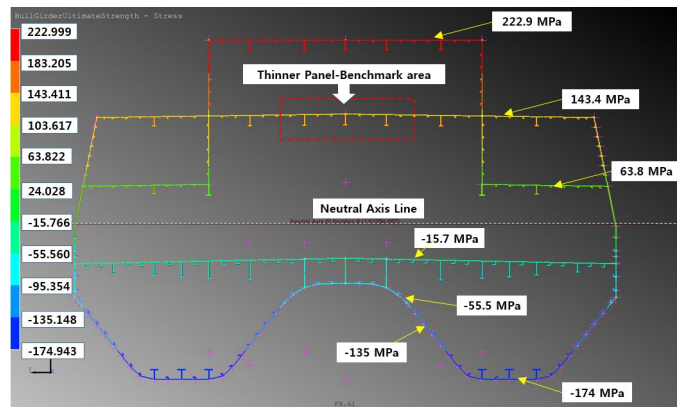
### 3.2 Hull girder bending 검토

Fig. 13에서는 호깅 및 새깅 조건에서 휨모멘트 변화에 따른 중앙단면 부재에 발생하는 곡률에 대해서 (a)에서 나타내고 있다. 선사에서는 허용하는 범위내에서 선박의 운용기간을 증가하기를 원하며, 선령증가에 따른 구조강도 저하를 고려하고자 한다면, 이러한 moment-curvature 결과는 필수적으로 검토가 되어야 하는 항목이다. 기준에서 요구하는 최대하중 대비, 중앙부 종강도 단면계수 값이 충분한 구조강성을 보유하고 있음을 확인할 수 있다. 일부 최상층 갑판부에서 허용치를 넘는 값이 나타나지만, 카페리 전용선박 기준에서는 선실구조도 종강도 부재로 인식하기 때문에 과도한 하중이 적용된 원인이다. 본 논문에서 고려하고 있는 카페리에서는 종강도 부재로 인식하지 않는 영역이고, 하중자체가 소형강구조선 설계 대비 크게 적용된 점을 고려하였을 때, 무시할 수 있다.

Fig. 14는 선급기준에 의해 계산된 최대 호깅, 새깅 및 비틀림모멘트 하중등을 모두 고려하였을 때, 각 부재별 압축하중에 의한 좌굴강도 검토 결과를 나타내고 있다. 이 부분은 현재 선급규칙에서 보완해야 하는 항목이며, 본 논문에서 제안하고 있다. 검토결과 데크하우스 벽면 부재에서 좌굴강도를 만족하지 못하며, 나머지 부재들은 허용치 내에서 만족함을 확인하였다. 현재 설계하는 쌍동형 카페리의 데크하우스는 길이방향으로 연속되지 않는 비 종강도 부재이나, 카페리 전용선박 기준에서는 모든 구조부재가 종강도 부재로 인식하여 발생한 결과이며, 이는 실제와 다르기 때문에, 무시가 가능하다.



(a) moment-curvature curve



(b) von-Mises stress distribution

Fig. 13. Hull girder ultimate strength curve and von-mises stress distribution.

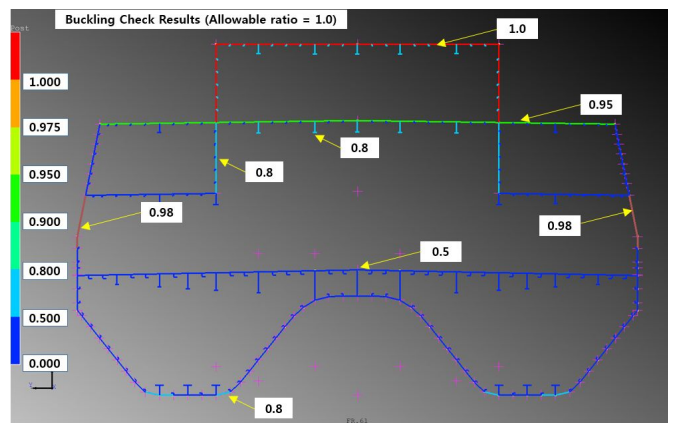


Fig. 14. Buckling check results.

## 4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 쌍동형 카페리의 구조 설계 및 구조 안정성 평가에 대한 주요 항목 및 이에 대한 결과를 기술하고 있



다. 구조부재의 두께 및 사이즈를 결정하기 위해서 KR(한국선급)에서 제시하는 기준들을 적용하였으며, 추가적인 검증을 위하여, 카페리 전용선박 기준을 적용하여, 중앙단면부 구조강도 검토를 수행하여 설계를 완료하였다. 본 연구를 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 슬래밍 압력에 의한 하중은 충격하중 형태로 혈과 보드에 전달되며, 혈과 보드의 연결지점과 선수부 방향의 보드에서 슬래밍 압력에 의하여 응력집중이 발생하는 부위이다. 따라서, 구조설계 시 응력집중을 완화할 수 있는 선형 및 구조부재 선정이 중요하다.
- (2) 한국선급의 고속경구조선 규칙에 의거한 판두께 및 보강재 사이즈 선택과정은 쉬우나, 적정 수준의 값을 선택하는데 있어서 애매모호한 점들이 많다. 이러한 부분은 카페리 전용선박에 의한 종강도 붕괴거동 검토를 통하여 신뢰성을 확보할 수 있다.
- (3) 한국선급의 카페리 전용선박 기준 적용 시, 선실구조에 대한 최대응력 및 좌굴강도 평가결과는 무시할 수 있으며, 나머지 종강도 부재에 대한 구조강도 만족 여부는 신뢰성 있는 수준으로 결정할 수 있다.
- (4) 현 설계된 쌍동형 카페리의 부재치수는 한국선급 기준에 충분히 부합하면서, 구조강도 또한 만족한다.

본 연구에서 언급한 일련의 프로세스는 동일구조부재의 설계 및 구조안정성 평가에 있어서, 유익한 기초자료로 활용되리라 판단된다. 이후의 연구로서는 구조재료가 알루미늄인 경우의 고속 쌍동형 카페리에 대한 개발과 함께, 상세 평가기준 및 하중 정의에 대한 구체적인 비교/분석이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학협력 기술개발사업(기업부설연구소 신규설치)(No.C032694) 및 2016년도 전라남도 지역수요맞춤형연구개발사업으로 수행된 연구 결과이며, 위 기관의 지원에 감사를 표합니다.

## References

- [1] Kim, B. J., S. Y. Kwon, S. C. Kim and J. H. Lee(2011), Comparison study and structure analysis to investigate the design rule and criteria of catamaran, Journal of the Society of Naval Architectures of Korea, Vol. 48, No. 6, pp. 479-489.
- [2] KR(2015a), Rules for the Classification of High Speed and Light Craft, Vol. 3, pp. 29-47.
- [3] KR(2015b), Rules for the Classification of Steel Ships, Vol. 3, pp. 15-28.
- [4] KR(2015c), Rules for the Classification of Steel Ships Pt 7: Ships of special service, Vol. 7, pp. 35-48.
- [5] Park, J. S. and J. Y. Ko(2005), Estimation about Local Strength using FE-Analysis for Steel Yacht, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 11, No. 2, pp. 77-82.
- [6] 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.
- [7] Oh, D. K., C. W. Lee, U. C. Jeong and C. H. Ryu(2011), A Study on the Basic Design and its Characteristics of 50ft-class CFRP Cruise Boat, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 6, pp. 674-680.
- [8] Oh, Y. C., J. Y. Ko, D. H. Cho and G. W. Lee(2009), Estimation for the Global Strength and Local Strength Analysis of 50 feet Catamaran, The Korean Society of Marine Engineering, Annual Meeting 2009, pp. 229-230.

Received : 2017. 05. 16.

Revised : 2017. 07. 04. (1st)

: 2017. 08. 21. (2nd)

Accepted : 2017. 08. 28.