

# 탄소섬유강화복합재료(CFRP) 레저선박의 횡요저항력 평가에 의한 상부구조물 풍압면적 특성

김도윤\* · 이창우\*\* · 이동건\*\*\* · 오대균\*\*\*†

\*, \*\* 목포해양대학교 대학원 조선해양공학전공, \*\*\* 목포해양대학교 조선해양공학과

## Characteristics of a CFRP Cruiser's Windage Area by Stability Assessment

Do-Yun Kim\* · Chang-Woo Lee\*\* · Dong-Kun Lee\*\*\* · Dae-Kyun Oh\*\*\*†

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

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

**요 약 :** 일반적으로 CFRP 레저선박의 상부구조물은 동급전장 타 선박보다 매우 작은 경향을 보이고 있는데, 이는 풍압면적에 의한 횡요저항력과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 CFRP 레저선박의 이러한 상부구조물 형상 특성을 풍압면적 변화에 따른 복원안정성 분석을 통해 파악하고자 한다. GFRP 레저선박과 CFRP 레저선박의 선체 및 상부구조물 형상 특성을 상호 비교하고, CFRP 레저선박의 상부구조물 형상변화를 통해 그 변화가 복원안정성에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이를 위해 GFRP, CFRP 레저선박 총 10척의 형상을 비교, 분석하여 선체와 상부구조물 간의 형상 추세를 파악하였고, ISO 12217에 따른 횡요저항력 추정 및 복원안정성 평가 프로그램 개발을 통해 상부구조물의 형상 변화와 복원안정성 간의 관계를 분석하였다. 연구결과, CFRP 레저선박의 풍압면적 분포경향은 GFRP 레저선박과 비슷하였으나, 상대적으로 상부구조물 형상 비율은 절반정도 크기에 그치는 경향을 보였다. 또한 CFRP 레저선박의 상부구조물 크기를 동급전장의 GFRP 선박 상부구조물 면적 비율 이상(10%) 증가시키는 경우 횡요저항력에 의한 복원성능에 문제가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 풍압면적, 복원성평가, 횡요저항력, 탄소섬유강화복합소재, 국제표준 12217, 레저선박

**Abstract :** This research aims to investigate the superstructure characteristics of the CFRP-yachts whose hulls are made of the light-weight material CFRP. CFRP-yachts, which belong to light-weight yachts, have a tendency of having very small superstructures compared to other vessels of the same length, and such a tendency is closely related to stability. In this research, a comparison of shape characteristics was made between common composite-plastic yachts and CFRP-yachts to find out the shape characteristics of CFRP-yacht. In the meantime, a case study was conducted concerning shape changes in superstructure to understand the effect of such changes on stability. For this purpose the shapes of a total of 10 GFRP-yachts and CFRP-yachts were comparatively analyzed, and the result showed the tendency of their hulls and superstructures. Whereas the case study on stability assessment involved various superstructure shapes of CFRP yachts, for assessment by superstructure size. Stability assessment was according to ISO 12217 (Small craft Stability and buoyancy assessment and categorization). A program was also developed based on stability assessment process due to rolling in beam waves and wind, and it was applied to the case study. The result of the case study showed that the windage area distribution tendency of the yachts whose hulls were made of the light-weight material CFRP was similar to that of the GFRP-yachts, but that the superstructure shapes of the CFRP-yachts were about 50% smaller than those of the GFRP-yachts. In addition, the stability assessment involving various superstructure areas of the CFRP-yachts showed that problems with stability occurred when their superstructure sizes were similar to, or larger by about 10% than, those of the GFRP-yachts.

**Key Words :** Windage area, Stability assessment, Rolling resistance, CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), ISO 12217, Pleasure yacht

\* First Author : dykim@mmu.ac.kr, 061-240-7238

† Corresponding Author : dkoh@mmu.ac.kr, 061-240-7318

※ 이 논문은 2014년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회(부산)에서 저자가 발표한 학술논문을 기초로 하고 있음을 알립니다.

## 1. 서론

탄소섬유강화복합재료(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics)는 경량선체 제작이 가능하며, 동시에 뛰어난 물성을 가지고 있어 고부가가치 레저선박의 경량선체 소재로써 적용되고 있다(Oh et al., 2014). 특히 고급 내외 의장재를 갖추고, 두 세 개의 캐빈을 갖고 있는 40~60ft 급 크루저가 CFRP 레저선박의 주류를 형성하고 있다(Fig. 1).



Fig. 1. 44ft CFRP Cruise Boat (UFO-boat, 2014).

캐노피(Canopy), 데크 하우스 등 상부구조물을 갖고 있는 크루저 급 CFRP 선체 레저선박 10여종을 분석한 결과 동급 전장 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastics) 레저선박 보다 선체 중량이 30%~40% 정도 경량화 된 것으로 확인할 수 있었다(Oh et al., 2013). 다만 선체의 경량화로 인해 선박의 무게 중심이 높아져 상대적으로 상부구조물의 공간 확보에 제약이 있으며, 선체의 깊이는 선실 내 공간 확보를 위해 경량화 특성과 반대로 깊어지는 경향을 보이고 있다(Oh et al., 2013). 크루저 급 CFRP 레저선박의 이러한 특성은 상부구조물의 형상이 복원성에 밀접한 관계가 있기 때문이며, 전반적인 CFRP 레저선박에서 이와 같은 형상 특성의 경향을 보이고 있다.

레저선박의 상부구조물 형상이 복원안정성에 미치는 영향은 무게중심의 상승도 있지만, 상부구조물의 종단면적 증가에 따른 횡요저항 증가도 큰 영향을 준다. 횡요저항은 풍속, 유의파고 등의 해상상태 조건에 따라 선박에 작용하는 횡방향 부가 저항력으로써 흡수 상부 선체의 종단면적이 이에 영향을 받는 중요한 설계 인자이다(Lee et al., 2013).

본 연구에서는 CFRP 레저선박의 상부구조물 형상 변화가 복원안정성에 미치는 영향을 분석함으로써 CFRP 크루저의 상부구조물 형상특성을 파악하고자 한다. 이를 위해 40~60ft

급 CFRP 크루저 5척과 동급 전장 GFRP 크루저 5척의 실적선 형상분석을 실시하였으며, 이를 기반으로 하는 가상의 CFRP 선체 및 상부구조물의 형상조건 변화에 따른 복원안정성 평가결과를 비교분석하였다. 이때 형상조건 변화에 따른 횡요저항력의 추정 및 복원안정성 평가는 소형선박의 복원성과 부력 평가 국제표준 규정인 ISO 12217(ISO, 2008)을 적용하였다.

## 2. 풍압면적과 횡요저항력

상부구조물의 형상변화에 따라 횡요저항력을 고려한 복원성을 평가하고 이를 GFRP 크루저의 평가결과와 비교하고자 한다. ISO 12217에서는 해상상태에 따른 횡요저항력에 영향을 받는 선체의 형상 조건을 풍압면적 이라고 하며 그 정의와 평가 과정은 다음과 같다.

### 2.1 풍압면적

풍압면적( $A_{LV}$  : Windage area)은 선박이 적절한 적하 상태에서 흡수선 위의 선체, 선루, 선실 및 돛대의 투영 측면적으로 정의한다(Fig. 2).

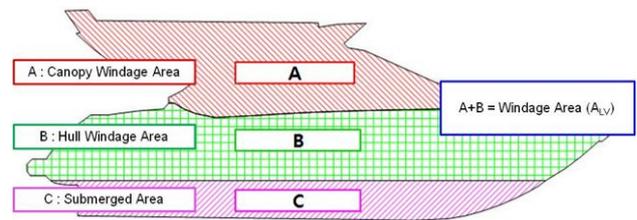


Fig. 2. The definition of windage area affecting rolling resistance.

Fig. 2의 상부구조물 면적 A와 흡수선 상부 선체 선측 면적 B의 합을 풍압면적이라고 하며, Fig. 1의 44ft CFRP 크루저와 Fig. 5의 GFRP 크루저의 상부구조물 형상을 비교하면 그 특징을 파악할 수 있다.

### 2.2 횡요저항력의 평가

풍압면적은 횡요저항력에 큰 영향을 미치며, 횡요저항력의 평가는 횡방향의 파도 및 바람에 의한 횡동요를 고려한 복원성 평가를 통해 이루어진다. 이때 바람과 파도에 의한 횡요저항력은 설계범주(Design category)에 따라 영향을 받게 되며, 이때 바람에 의한 횡경사모멘트( $M_w$ )는 상부구조물의 풍압면적과 밀접한 관련이 있다(식1)(Lee et al., 2013).

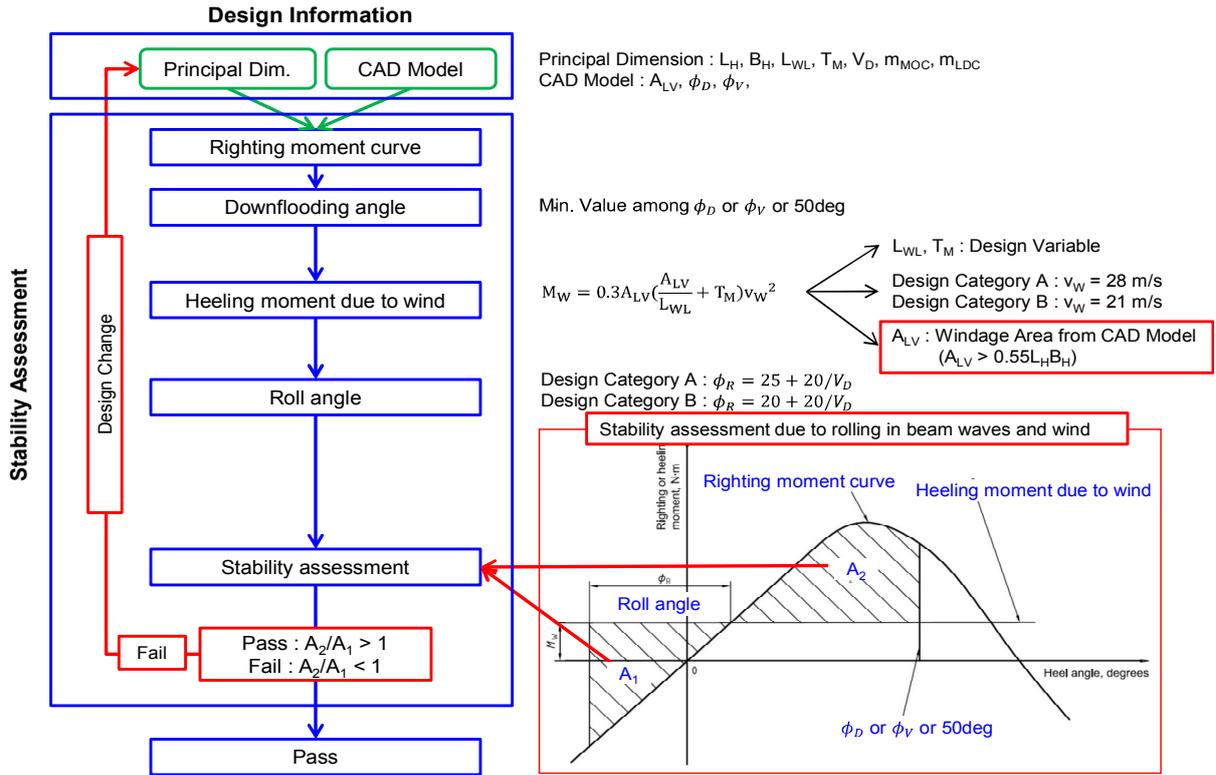


Fig. 3. The process of stability assessment due to rolling in beam waves and wind.

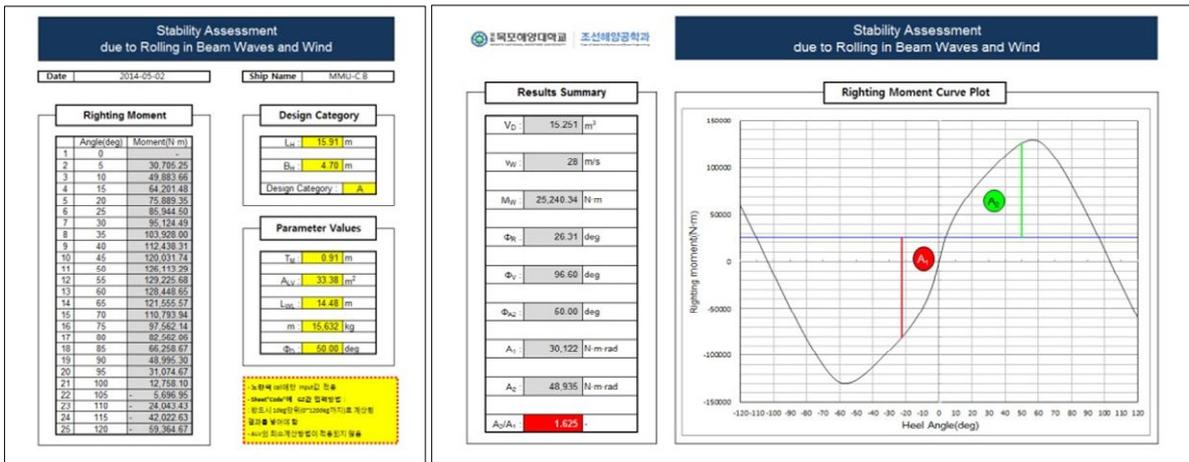


Fig. 4. Stability assessment program according to ISO 12217.

$$M_W = 0.3A_{LV}(\frac{A_{LV}}{L_{WL}} + T_M)v_W^2 \quad (1)$$

- $A_{LV}$  : 풍압면적(m<sup>2</sup>)  $A_{LV} > 0.55L_H B_H$
- $T_M$  : 수선 중심 흘수(m)
- $v_W$  : 설계범주에 따른 풍속(m/s)

항요저항력에 의한 복원성 평가를 위해서는 크게 선박의

주요 치수 및 하중상태를 필요로 하며, 선체형상으로부터 해수유입각( $\phi_D$ )과 풍압면적 정보를 필요로 한다. 형상조건과 설계범주에 따른 풍속( $v_W$ ) 및 유의 파고에 의한 항요각( $\phi_R$ ) 추정을 통해 예비 동적 복원에너지(Reserved dynamic stability energy :  $A_2-A_1$ )(Fig. 3)를 평가함으로써 항요저항력에 의한 복원성을 판단하며, Fig. 3은 풍압면적과 바람에 의한 항요사모멘트( $M_W$ ) 그리고 이에 따른 항요저항력을 고려한 복원성 평가 과정을 정리하여 보이고 있다.

### 2.3 상부구조물의 형상 특성 분석 방법

본 연구에서는 CFRP 크루저 실적선의 상부구조물 단면적에 변화를 주고 이에 따른 횡요저항력을 평가함으로써 상부구조물의 형상 특성을 분석하고자 한다. 또한 일반적으로 널리 사용되고 있는 복합재료 선체소재인 GFRP 소재 레저선박과의 형상 특성을 상호 비교함으로써 경량소재인 CFRP가 선체와 상부구조물 형상 결정에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

## 3. 실적선의 종단면적 특성 분석

### 3.1 종단면적의 분포

CFRP 크루저의 종단면적 비율 특성을 파악하기 위하여 동급 전장 GFRP 크루저의 종단면적과 비교분석하였다. 40~60ft 급 GFRP, CFRP 실적선 각 5척의 종단면적 분포를 분석하였으며, 인터넷에 공개된 대표적인 요트 메이커의 선박 주요제원과 일반배치도 등을 분석 대상으로 하였다.

Fig. 5는 실적선의 종단면적의 분포 분석 사례를 보이고 있으며 총 10척의 종단면적 분포 분석 결과는 Table 1, 2와 같다.

크루저 실적선의 형상특성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. A+B는 풍압면적을 B+C는 선체 종단면적을 의미하며, A+B : C의 분포를 통해 풍압면적의 분포 특성을 파악할 수 있다. CFRP 크루저의 상부구조물 단면적은 GFRP 크루저의 선체단면적 대비 절반정도의 크기이며, 풍압면적은 GFRP 크루저와 비슷한 면적 비율 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

즉, 횡요저항에 영향을 주는 풍압면적 분포 비율은 두 종류 선박 모두 매우 유사하나, 상대적으로 CFRP 크루저의 상부구조물이 매우 작은 것을 확인할 수 있었다. 이는 경량선체 특성으로 인해 흘수가 낮은 반면 선체 깊이가 높아져 나타나는 현상으로 이해할 수 있다.

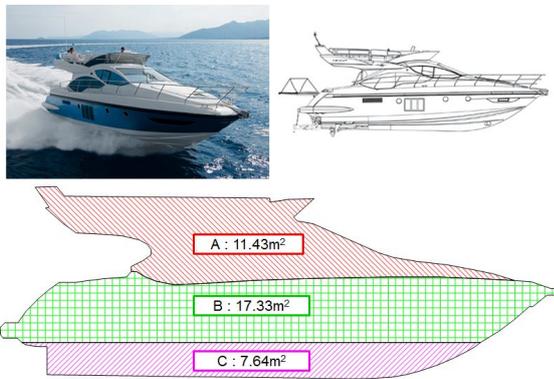


Fig. 5. Sectional area distribution of 45ft GFRP-Cruise Boat (Azimut Yachts, 2014).

Table 1. Sectional area distribution of GFRP-Hull Cruisers

	GFRP_A	GFRP_B	GFRP_C	GFRP_D	GFRP_E
A	31.4%	25%	28.56%	27.44%	30.54%
B+C	68.6%	75%	71.44%	72.56%	69.46%

Table 2. Sectional area distribution of CFRP-Hull Cruisers

	CFRP_A	CFRP_B	CFRP_C	CFRP_D	CFRP_E
A	18%	15.3%	13.58%	18.63%	12.26%
B+C	82%	84.7%	86.42%	81.37%	87.74%

Table 3. Characteristics of sectional area distribution

	GFRP-HULL	CFRP-HULL
A : B : C	28.59% : 50.95% : 20.46%	15.55% : 65.06% : 19.39%
A : B + C	28.59% : 71.41%	15.55% : 84.45%
A + B : C	79.54% : 20.46%	80.61% : 19.39%

### 3.2 종단면적 분포 추세

실적선의 종단면적 분포 분석을 통해 선체 소재와 길이 ( $L_H$ )에 따른 종단면적 분포 추정식을 Fig. 6, Fig. 7과 같이 도출할 수 있었다. 이 결과는 다음 장에서 CFRP 크루저의 상부구조물 형상 변화에 적용하였다.

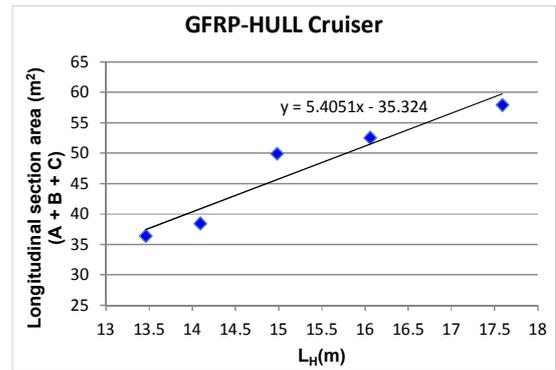


Fig. 6. Trend line of longitudinal section area (GFRP-HULL Cruiser).

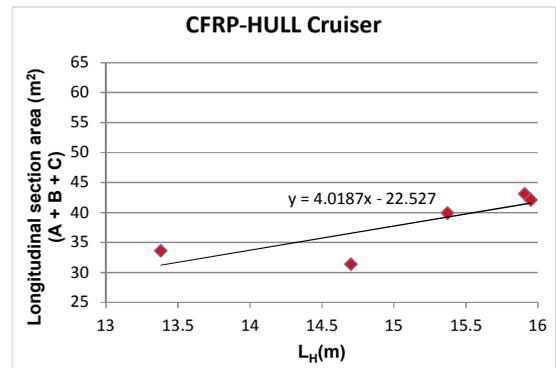


Fig. 7. Trend line of longitudinal section area (CFRP-HULL Cruiser).

#### 4. CFRP 크루저의 풍압면적 특성

##### 4.1 사례연구 방법

풍압면적의 변화에 따른 횡요저항력을 평가하기 위하여 몇 가지 가정을 하였다.

설계범주는 사례연구에 적용한 선박이 Ocean-going이 가능한 A 상태로 정의하였으며, 이때의 해상풍속 및 파도에 의한 횡요각(Roll angle)은 ISO 12217 규정에 따라  $v_w=28\text{ m/s}$ ,  $\phi_R=25+20/V_D$  ( $V_D$ : Displacement volume,  $\text{m}^3$ )로 가정하였다. 해수 유입각( $\phi_D$ )은 현측형상에 따른 결과변화를 고려하여 최소값인  $50^\circ$ 로 가정하였다. 풍압면적의 경우 규정에서는 선체 길이와 폭에 따른 최소값이 적용되도록 하고 있으나, 통상적으로 CFRP 크루저의 상부구조물이 매우 작기 때문에 규정에 의한 최소값이 아닌 실제 측정값 또는 종단면적 분포 추세(Fig. 7)에 따른 추정치를 적용하였다.

횡요저항력에 의한 안정성 평가는 ISO 12217에 따라 평가 프로그램(Fig. 4)을 개발하였으며, 앞서 기술한 가정 사항을 적용하여 사례연구를 수행하였다.

사례 연구에 사용한 CFRP 선체 크루저의 주요제원은 Table 4와 같다. 기 개발된 선박의 설계자료를 기반으로 구성하였으며 종단면적 분포는 Fig. 8과 같다. 3.2절에서 도출한 종단면적 분포 추정식에 따라 상부구조물의 형상(A-Fig. 8)을 변화시킴으로써 이에 따른 횡요저항력에 의한 안정성을 평가하였다.

Table 4. Principal particular of CFRP-Cruiser A

	Item
$L_H$	15.91m
$L_{WL}$	14.48m
$B_H$	4.7m
$T_M$	0.91m
$\phi_D$	$50^\circ$
$m_{LDC}$	15.632ton

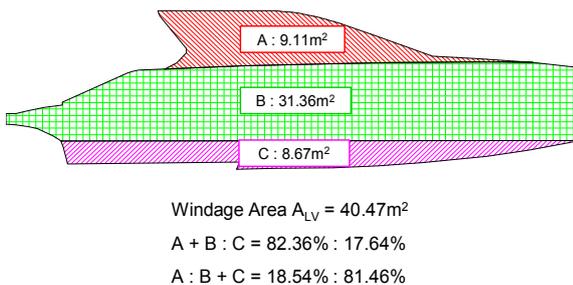


Fig. 8. Sectional area of 50ft CFRP-Cruiser A for case studies.

##### 4.2 상부구조물의 형상 변화

풍압면적의 변화에 따른 횡요저항력을 평가하기 위하여 몇 가지 가정을 하였다.

CFRP 크루저의 상부구조물 형상 변화에 따른 횡요저항력을 평가하기 위하여 다음과 같이 4가지 사례연구를 수행하였다.

- (1) CASE 1 : CFRP 선체 추정면적과 CFRP 상부구조물 추정면적 적용. A : B + C = 15.55% : 84.45%
- (2) CASE 2 : CFRP 크루저 A 선체 면적과 상부구조물 면적 적용. A : B + C = 18.54% : 81.46%
- (3) CASE 3 : CFRP 선체 추정면적과 GFRP 상부구조물 추정면적 적용. A : B + C = 29.28% : 70.72%
- (4) CASE 4 : CASE 3 상태에서 GFRP 상부구조물 추정면적을  $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 씩 증가

CASE 1은 CFRP 크루저의 통계치에 따른 선체와 상부구조물 형상의 조합 사례이고, CASE 2는 실제 CFRP 크루저의 횡요저항력 평가로써 데이터 검증을 위한 대조군이다. CASE 3은 CFRP 크루저의 선체에 GFRP 크루저의 상부구조물을 조합한 사례이며, CASE 4는 CASE 3의 경우에서 상부구조물 형상을 GFRP 크루저 이상 지속적으로 증가시킨 사례이다.

위 사례연구 계획에 따른 상부구조물의 CASE 별 종단면적은 Fig. 9와 같으며 그때의 선체와 상부구조물의 종단면적에 따른 풍압면적 조건은 Table 5와 같다.

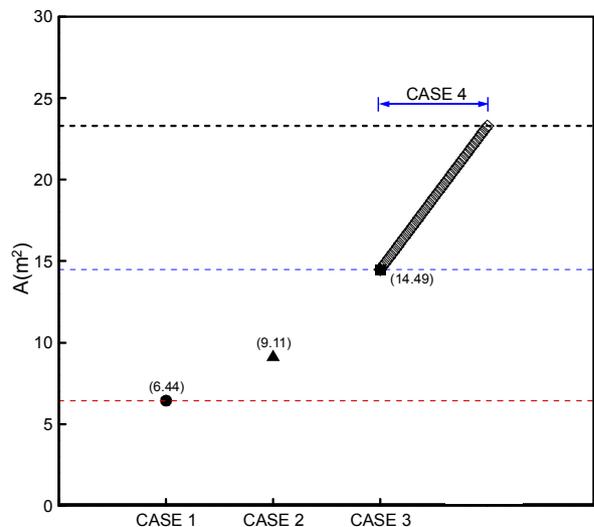


Fig. 9. Superstructure area on case studies.

탄소섬유강화복합재료(CFRP) 레저선박의 횡요저항력 평가에 의한 상부구조물 풍압면적 특성

Table 5. Case studies according to  $A_{LV}$  variation

	CFRP-Yacht	GFRP-Yacht
	$A+B+C=4.0187L_{II}-22.527$	$A+B+C=5.4051L_{II}-35.324$
CASE 1	CFRP Hull CFRP Top $34.97m^2$ $6.44m^2$ $A_{LV}=33.38m^2(80.61\%)$	
CASE 2	CFRP Cruiser A $40.02m^2$ $9.11m^2$ $A_{LV}=40.47m^2(82.36\%)$	
CASE 3	CFRP Hull GFRP Top $34.97m^2$ $14.48m^2$ $A_{LV}=41.42m^2(83.76\%)$	
CASE 4	CFRP Hull GFRP Top++ $34.97m^2$ $23.28m^2$ $A_{LV}=50.24m^2(86.21\%)$	

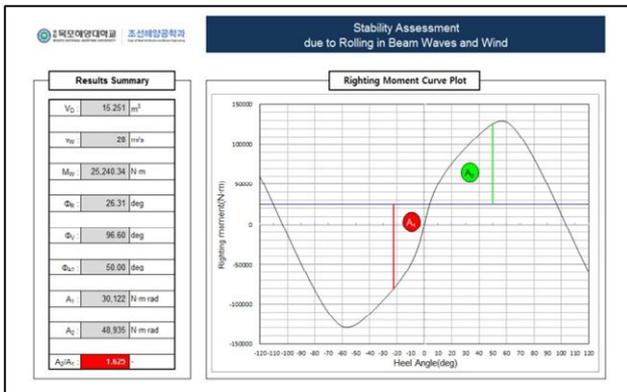


Fig. 10. Result of CASE 1,  $A_2/A_1=1.625$ .

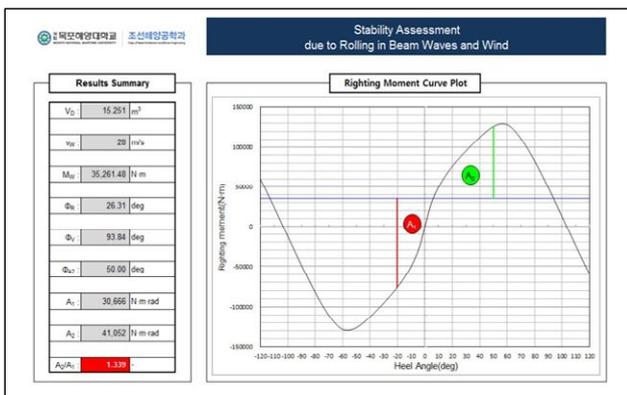


Fig. 11. Result of CASE 2,  $A_2/A_1=1.339$ .

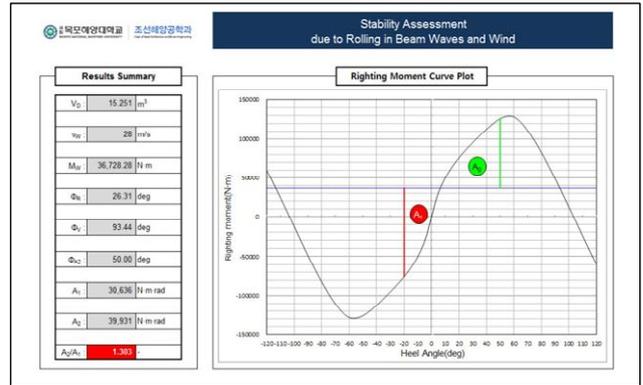


Fig. 12. Result of CASE 3,  $A_2/A_1=1.303$ .

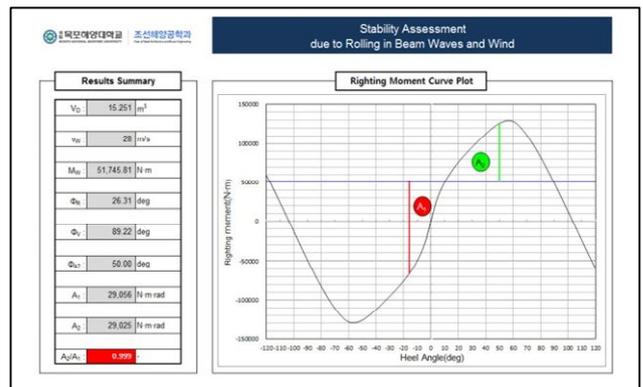


Fig. 13. Result of CASE 4,  $A_2/A_1=0.999$ .

4.3 CFRP 크루저의 상부구조물 형상 특성

상부구조물의 형상 변화에 따른 안정성 평가 결과( $A_2/A_1$ )는 Fig. 14와 같으며,  $A_{LV}$ 가  $41.42 m^2$  이상으로 증가하는 CASE 4의 경우는 횡요저항력에 의해 안정성에 문제가 발생하는 시점( $A_2/A_1 < 1$ )까지 계산을 수행하였다. Fig. 10~Fig. 13은 각 CASE의 안정성 평가 과정을 보이고 있으며, Table 6은 사례 연구의 결과를 정리하여 보이고 있다.

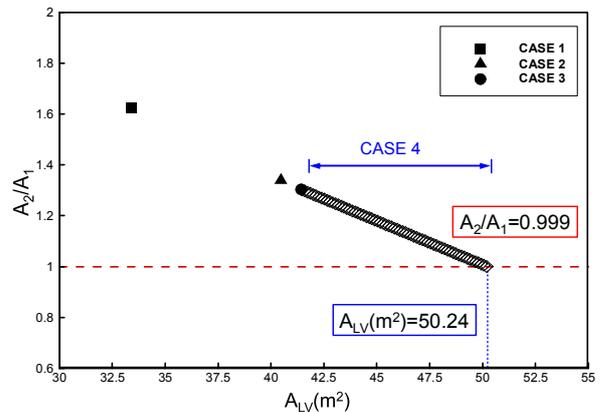


Fig. 14. Results( $A_2/A_1$ ) of CASE 4.

사례연구결과 종단면적 분포 추세에서 얻을 수 있었던 범위 내에서는 안정성에 문제가 없었다(CASE 1, 2). GFRP 크루저의 상부구조물 추정치에 해당되는 형상을 적용하였을 경우도 큰 문제가 없었으나(CASE 3, A=29.28%), 이보다 상부구조물의 비율이 선체 대비 약 10% 정도 더 증가된다면(CASE 4, A=40%) 횡요저항력에 의해 복원성에 문제가 발생하는 것으로 알 수 있었다.

Table 6. The result of case studies

	Windage area ( $A_{LV}=A+B$ )	Stability assessment ( $A_2/A_1$ )	Area ratio A+B : C	Area ratio A : B+C
CASE 1	33.38m <sup>2</sup>	1.625	80.61% : 19.39%	15.55% : 84.45%
CASE 2	40.47m <sup>2</sup>	1.339	82.36% : 17.64%	18.54% : 81.46%
CASE 3	41.42m <sup>2</sup>	1.303	83.76% : 16.24%	29.28% : 70.72%
CASE 4	50.24m <sup>2</sup>	0.999	86.21% : 13.79%	39.96% : 60.04%

## 5. 결 론

본 연구에서는 CFRP 레저선박의 상부구조물 형상특성을 파악하기 위하여 풍압면적의 변화에 따른 횡요저항력을 평가하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) CFRP 크루저의 상부구조물과 선체의 종단면적 비율은 약 15% : 85%로 분포되어 있으며, 동급 전장 GFRP 선박 대비 상부구조물 단면적은 선체면적 대비 약 절반 정도에 그친다.
- (2) 풍압면적의 분포는 동급 전장 대비 두 소재 선박 모두 약 80%로 유사한 경향을 나타내고 있다.
- (3) 하지만 풍압면적 분포가 유사한 경우라도 CFRP 크루저가 상대적으로 더 횡요저항에 안정하다고 판단할 수 있다. 이는 배수용적이 상대적으로 작아 횡요각이 조금 증가될 수는 있으나, 상부구조물 보다 선체의 풍압면적 분포가 크기 때문이다.
- (4) CFRP 크루저의 상부구조물 면적을 동급 전장 GFRP 선박 상부구조물 면적 비율 이상 증가시키는 경우 풍압면적 증가에 따른 횡요저항으로 복원성에 문제가 발생할 수 있다.
- (5) 동일 풍압면적 분포인 두 소재 선박의 경우 CFRP 크루저의 상부구조물 비율이 절반정도로 훨씬 작기 때문에 횡요저항 또한 작아질 것으로 예상할 수 있으나, 이는 풍압면적 중 상부구조물 면적과 바람에 의한 횡요저항과의 관계에 대한 추후 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 미래창조과학부, 한국연구재단, 전남과학기술진흥센터에서 지원하는 "전남과학연구단지 기초·원천연구개발지원사업"과 2014년 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2014056245)에 의해 이루어졌으며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## References

- [1] Azimut Yachts(2014), Official Luxury Yacht Azimut 45, <http://www.azimutyachts.com/azimut45.html>.
- [2] ISO(2008), International Organization for Standardization, ISO 12217 Small craft - Stability and buoyancy assessment and categorization.
- [3] Lee, C. W., D. J. Yum and D. K. Oh(2013), A Study on Design Variables for Automated Design Review according to ISO 12217 on Early Design Stage of Pleasure Yachts, Proceedings of KAOST, pp. 1895-1898.
- [4] Oh, D. K., C. W. Lee, W. C. Jeong and C. H. Ryu(2013), 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.
- [5] Oh, D. K., D. K. Lee, G. M. Kang, C. H. Ryu and J. K. Noh(2014), Comparative Study on Rules of ISO 12215 and International Classification Society for Structural Design of CFRP Cruise Boat, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 28, No. 1, pp. 77-84.
- [6] UFO-boat(2014), Carbon Cruiser U119, <http://www.ufo-boat.com/en/u119-carbon/>.

Received : 2014. 10. 24.

Revised : 2014. 12. 01.

Accepted : 2014. 12. 26.