

## CFRP 선체소재와 전기추진체계가 소형선박의 경량화에 미치는 효과

오대균\* · 정승호\*\* · 정숙현\*\*\*†

\* 목포해양대학교 조선해양공학과, \*\* 중소조선연구원 미래전략기획본부, \*\*\* 목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과

## Effect of a Lightweight Hull Material and an Electric Propulsion System on Weight Reduction: Application to a 45ft CFRP Electric Yacht

Daekyun Oh\* · Seungho Jung\*\* · Sookhyun Jeong\*\*\*†

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

\*\* RIMS (Research Institute of Medium &amp; Small Shipbuilding), Busan, Korea

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

**요 약** : CFRP는 경량화 소재로 각광받고 있으며, 해양산업에서도 고급요트와 특수목적 선박 등에 사용되고 있다. 전기추진체계 또한 친환경 추진 방법으로써, 요트와 소형 여객선 등의 주 추진계로 활용되고 있다. 본 연구에서는 소형선박의 선체소재와 추진계를 각각 CFRP와 전동기로 교체하였을 때의 경량화 효과를 정량적으로 비교분석하였다. 45ft GFRP 선박을 대상으로 사례연구를 수행하였으며, 선체소재를 설계원안과 동일 함침율 기준의 CFRP로 재설계하였고, 추진계는 설계원안의 동일 마력, 항해거리를 유지할 수 있도록 전동기와 배터리 시스템을 설계하였다. 연구결과 CFRP 소재는 선각을 45% 정도 경량화 할 수 있었고, 전기추진체계는 기관부를 58% 경량화 할 수 있음을 확인하였다. 다만 전기추진체계의 경우, 디젤 추진체계의 항해거리를 확보하기 위하여 상당한 양의 배터리 팩을 필요로 하기 때문에, 현실적인 수준에서의 경량화 실효성은 없는 것으로 확인되었다.

**핵심용어** : 소형선박, CFRP 탄소섬유강화플라스틱, 전기추진, 배터리 팩, 경량설계

**Abstract** : CFRP is often used as lightweight hull material for luxury yachts or special-service ships. An electric propulsion system is also eco-friendly, and has been trialled to equip a small vessel as its main propulsion. In this study, replacing the hull materials and propulsion system with CFRP and electric motors, we made an estimate of the effect of weight reduction and compared it to the original design, for this purpose a case study was conducted on a 45-ft yacht. When redesigning structures with CFRP, we applied the reinforcement content of the carbon fiber in the same way as the original ( $GC=0.4$ ), and when changing to the electric propulsion system, we designed motors and battery packs to achieve the same performance as the original. The result showed that CFRP and the electric propulsion system could make the structural and machinery weights 45% and 58% lighter, respectively. However, in terms of efficiency, it was confirmed that the electric propulsion system is practically inefficient because it requires a huge amount of battery packs for the same navigation range with diesel engines.

**Key Words** : Small craft, CFRP (Carbon fiber reinforced plastic), Electric propulsion, Battery pack, Lightweight design

## 1. 서 론

현재 경량화 소재로 각광받고 있는 CFRP(탄소섬유강화플라스틱, Carbon Fiber Reinforced Plastic)는 우수한 비강도로 여러 산업분야에서 경량화를 위한 대체재와 고급 내외장재로

써 사용되고 있다(Oh et al., 2014). 항공분야에서는 탄소복합체의 사용을 항공기 구조의 절반까지 사용한 사례가 있고, 자동차 산업에서는 구조체의 전체에 사용된 바 있다. 소형선박 분야에서도 선체에 CFRP를 적용하여 경량화 한 모델이 출시되어 고급 외장재를 갖춘 레저선박이 출시되고 있다(Oh et al., 2014)(Fig. 1).

전기추진시스템은 추진기 자체의 경량화 특성과 배기가스가 없는 친환경 특성으로 육상 및 해상 운송수단에 널리 적용되고 있다. 그 추세에 따라 선박안전기술공단에서는 전

\* First Author : dkoh@mmu.ac.kr, 061-240-7318

† Corresponding Author : jeongsokhyun@gmail.com, 061-240-7238

※이 논문은 2017년도 해양환경안전학회 추계학술대회(2017.11.23.-24., 부산)에서 저자가 발표한 자료를 기초로 하고 있음을 밝힙니다.

## CFRP 선체소재와 전기추진체계가 소형선박의 경량화에 미치는 효과

기추진을 선박에 적용하기 위한 규정을 마련 중에 있다. CFRP 소재와 전기추진이 경량화에 유리하고 친환경적이라는 것은 널리 알려진 사실이지만 실제로 적용 시 경량화 효과에 대한 정량적 평가 연구는 미진한 실정이다. 본 연구에서는 GFRP 소재의 선체를 경량화 소재인 CFRP를 선체 소재로 대체하고, 디젤 추진체계를 전기추진체계로 대체하였을 때의 경량화 효과를 정량적으로 평가함으로써 그 효과를 확인해보고자 한다.



Fig. 1. 58ft CFRP power yacht (Wally, 2017).

## 2. 연구방법

소재의 변경과 기관부 종류의 변경이 선각 중량과 기관부 중량에 미치는 영향을 각각 비교할 수 있도록 두 가지 중량을 따로 구분하여 확인하였다.

사용한 선박의 중량은 국제표준(ISO, 2002a)에 정의된 개념으로 연료, 청수 등 부가 질량을 제외한 경하 시의 중량인  $m_{LCC}$ 이고,  $m_{LCC}$ 는  $W_s$ (선각 중량),  $W_o$ (의장 중량),  $W_m$ (기관부 중량)으로 구분되어 있다. 여기서 비교의 대상인 선각 중량과 기관부 중량을 제외한 의장 중량은 두 선박의 규모가 동일하고 배치가 유사하기 때문에 동일하다고 가정하였다.

### 2.1 선체 소재가 선각 중량에 미치는 영향 추정

비교를 위해 GFRP 선체 소재에 디젤 기관을 탑재한 대상 선박(이하 MMU-GD.45)을 설계하였으며, MMU-GD.45에서 선체 소재를 CFRP로 변경한 선박(이하 MMU-CE.45)을 재설계하였다. MMU-CD.45의 선각 중량과 MMU-CE.45의 선각 중량을 추정하여 서로 비교하였다.

### 2.2 추진체의 변경이 기관부 중량에 미치는 영향 추정

추진체의 변경이 기관부 중량에 미치는 영향을 확인하기 위해 MMU-GD.45의 디젤엔진을 전동기로 변경해 기관부를 재설계하였다. 그리고 실제 항해를 고려했을 시 기관부 중

량을 확인하기 위해 항해 조건을 가정하여 디젤유와 배터리 시스템의 중량을 추정하였다. 항해 조건 중 속도는 서비스 속도(10노트)와 최대 속도(30노트)로 가정하였으며, 항해 거리는 30NM로 가정하였다. 또한 디젤유와 배터리 시스템의 효율을 비교하기 위해서 동일한 기관부 중량으로 항해할 수 있는 거리를 추정했다.

## 3. 사례연구 대상선박(45ft GFRP 디젤엔진 파워요트)

### 3.1 대상 선박의 선각 중량

MMU-GD.45는 45ft 규모의 선체의 소재가 GFRP인 선박들의 전형적인 선박의 형상을 갖도록 설계하였다. 동일한 규모의 실적선의 데이터를 사용해 배치와 구조가 가장 유사한 선박을 선정하여 주요 요목을 추정하였다(Table 1). 기관부를 제외한  $m_{LCC}$ 는 12.023톤이며, 조금 더 자세히 설계를 진행한 MMU-CE.45의 의장 중량을 통해 정확한 선각 중량을 구할 수 있다.

Table 1. Principal particulars of MMU-GE.45

Item	Requirement
$L_H$	45ft
$m_{LCC}$ (w/o Engine)	12.023 ton
$W_m$	1.5 ton
Speed	Service Speed : 10 knot Maximum Speed : 30 knot
Passenger (w/ crew)	Maximum 12 Persons
Sanitation facility and crew room	

### 3.2 대상 선박의 기관부 중량

MMU-GD.45의 기관부는 Volvo Penta의 D6-330엔진 2기와 스텐드라이브(Sterndrive) 추진기 2기이다. 엔진과 스텐드라이브 한 세트의 중량이 0.75톤(Volvo Penta, 2017)이므로 MMU-GD.45의 기관부 중량은 1.5톤이다.

하지만 실제 항해를 할 때를 고려한 기관부 중량을 추정하기 위해서는 선박의 항해 조건에 맞는 디젤유의 중량이 기관부 중량에 포함되어야 한다.

디젤유의 중량은 2장에서 정의한 항해 조건과 시간당 연료소비량을 통해 추정할 수 있다. 시간당 연료소비량을 추정하기 위해서는 엔진의 속도별 출력을 알아야 하는데, 본 연구에서는 서비스 속도인 10노트로 주행 시 MCR의 33.3%, 최대 속도인 30노트로 주행 시에는 MCR의 100%인 것으로 가정하였다. 그리고 이러한 가정 사항을 통해 시간당 연료 소비량은 Table 2와 같이 추정했다.

Table 2. Fuel consumption estimates

	Specific Fuel Consumption (g/kWh)	Power (kW)	Fuel Consumption (10 <sup>3</sup> g/h)
10 knot (33.3 % MCR)	257.9	80.82	20.84
30 knot (100 % MCR)	230.1	242.7	55.85

항해 조건에 따라 항해 시간을 Table 3과 같이 정의할 수 있으며, Table 2의 시간당 연료소비량과의 곱으로 속도별 디젤유의 중량을 추정할 수 있다(Table 4).

Table 3. Cruising time estimates according to speed change

Speed (knot)	Range (NM)	Cruising Time (hour)
10	30	3
30	30	1

Table 4. Fuel weight estimates according to speed change

Speed (knot)	Fuel Consumption (kg/h)	Cruising Time (hour)	Fuel Weight (kg)
10	20.84	3	62.52
30	55.85	1	55.85

위 두 결과를 사용하여 추정된 실제 항해를 고려한 디젤 기관계의 기관부 중량은 Table 5와 같다.

Table 5. Machinery weight estimates according to speed change

Speed (knot)	Engine+Propulsion (kg)	Fuel Weight (kg)	Set	Total Weight (kg)
10	750	62.52	2	1,625.04
30	750	55.85	2	1,611.70

### 3.3 디젤의 중량 대비 효율

디젤 기관계와 전기추진계의 기관부 중량에 대한 효율을 비교하기 위해 동일한 기관부 중량으로 항해 가능한 거리를 추정했다. 기관부 중량은 45ft 동급 크기 선박의 평균 기관부 중량인 3.172톤을 사용하여, 이 중 엔진과 추진기의 중량을 제외한 나머지 중량을 디젤유의 중량으로 가정하였다. 디젤유의 중량은 1.672톤이며 엔진이 2기이기 때문에 절반에 해당하는 연료의 중량을 항해거리 계산에 사용하였다.

Table 2의 시간당 연료 소모량과 Table 3의 항해 시간을 통해 두 가지 속도로 항해할 수 있는 거리를 추정하였으며 그 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Cruising distance according to speed change

Fuel Weight (kg)	Fuel Consumption (kg/h)	Speed (knot)	Cruising Time (hour)	Cruising Range (NM)
836	20.84	10	40.12	401.2
836	55.85	30	14.97	449.05

## 4. 선체 소재의 변경(CFRP)에 따른 중량 변화

### 4.1 MMU-CE.45의 주요 요약

MMU-GD.45의 소재를 변경하여 CFRP 소재 선박을 설계하였다. CFRP소재의 특성으로 선형의 차이가 있기 때문에 전형적인 CFRP 선박의 실적선을 참고하였다. 대상선박과 동일한 선체길이에 따라 주요 요목을 추정하였으며 이때 추가 중량물은 국제규정 ISO 12217(ISO, 2002b)에 따라 추정하였다. 이 때 MMU-CE.45의 주요요목은 Table 7과 같다.

Table 7. Principal particulars of MMU-CE.45

Items	Unit	Value
L <sub>H</sub>	m	13.064
B <sub>H</sub>	m	4.039
D <sub>LWL/2</sub>	m	1.705
T	m	0.682
m <sub>LCC</sub> (w/o Engine)	ton	9.006
m <sub>LDC</sub>	ton	12.47

### 4.2 MMU-CE.45의 선형 설계 및 구조설계

선형 설계는 Maxsurf Modeler(Bentley, 2018)를 사용하였으며, 저항 및 유효마력 추정에는 Maxsurf Stability(Bentley, 2018)를 사용했다. 저항 추정은 활주형 고속선에 널리 사용되는 Savitsky Planing 알고리즘(Savitsky, 2012)을 사용하였다. 그 결과 선박의 최대 속도인 30노트의 경우, 엔진의 효율을 55%로 가정하였을 때 약 610마력이 요구될 것으로 추정할 수 있었다. 요구마력에 따라 엔진의 조건은 305마력 이상의 엔진 2기로 정의했다.

선체 구조설계는 국제표준 ISO 12215(ISO, 2008)와 국제선급 RINA(이탈리아 선급협회, Registro Italiano Navale)의 플레저요트 규정(RINA, 2009)을 사용하였다.

## CFRP 선체소재와 전기추진체계가 소형선박의 경량화에 미치는 효과

규정에 적합하도록 횡 방향 구조재는 트랜섬을 포함한 격벽 6개와 거더 2개를 설치하였고, 종 방향은 선저에 프레임을 6개, 양 선측에 각 3개를 설치하였다(Fig. 2).

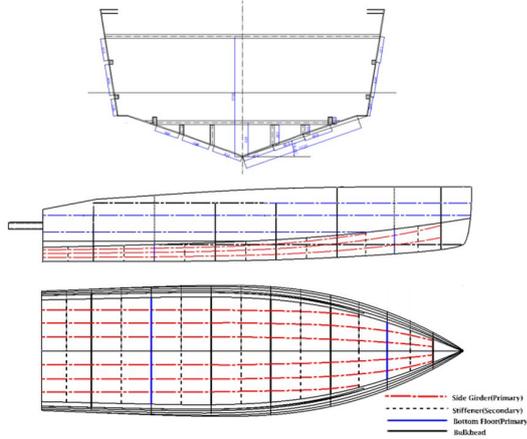


Fig. 2. Structural layout of MMU-CE.45.

### 4.3 MMU-CE.45 중량 추정

복합소재를 설계하여 선각 중량을 추정할 수 있는데, 이 때 Oh et al.(2018)에 정리된 RINA에 기반한 복합소재 설계 알고리즘을 적용하였다. 이 알고리즘은 구조별로 가장 큰 압력이 가해지는 설계 면적을 기준으로 요구 두께를 산정하여 복합소재를 설계를 하는 방법이다. Fig. 3에 MMU-CE.45의 선저의 하중분포를 나타내었으며, 최대 하중은  $lwl$ 의 62% 위치에서  $53.8 \text{ kN/m}^2$ 으로 추정하였다.

복합소재 설계에 섬유는 CFRP Woven Roving  $400 \text{ g/m}^2$ , 수지는 Polyester, 중심재는 Wood Balsa를 사용하였으며, 이 때 섬유와 수지의 중량비율인 함침율은 해양 복합소재로 흔히 사용하는 40%를 사용하였다.

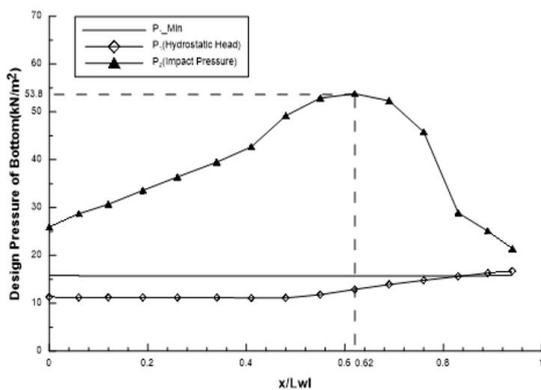


Fig. 3. Design pressure distribution.

3D CAD 모델과 앞서 정의한 복합소재 정보를 사용하여 선체 구조별 중량을 추정하였으며 그 결과는 Table 8과 같다. Table 8에 보이는 바와 같이 MMU-CE.45의 선각 중량은 3.738톤이다.

Table 8. Structures weight estimation from 3D CAD model

Structure		Area or Length	Weight (kg)		
Hull Plating	Single Skin	Bottom	40.902m <sup>2</sup>		
		Side	35.638m <sup>2</sup>		
	Sub Total		-	1032.86	
Stiffener	Top-hat	Side Girder	Bottom	66.56m	98.04
			Floor	16.80m	60.29
		Stiffener	21.40m	12.80	
	Side	Longitudinal	68.86m	61.78	
		Frame	5.41m	4.04	
	Sub Total		-	236.95	
Deck, Bulkhead	Sandwich	Lower deck	10.489m <sup>2</sup>	104.57	
		Cockpit Deck	6.929m <sup>2</sup>	69.08	
		Upper Deck	18.763m <sup>2</sup>	187.05	
		Weather Deck	14.795m <sup>2</sup>	147.49	
		Transom	3.199m <sup>2</sup>	31.89	
		Bulkhead 2	3.195m <sup>2</sup>	31.85	
		Bulkhead 3	4.797m <sup>2</sup>	76.52	
		Bulkhead 4	7.103m <sup>2</sup>	169.95	
		Bulkhead 5	5.576m <sup>2</sup>	100.06	
		Collision Bulkhead	0.796m <sup>2</sup>	6.35	
Sub Total		-	924.81		
Core Material		-	1543.16		
Total		-	3737.79		

구조안전성을 확인하기 위하여 RINA의 플레저요트 규정에 따라 종강도 평가를 수행하였으며 선박의 구조강도에 대한 문제는 없는 것으로 확인하였다.

### 4.4 소재별 선각 중량 비교

MMU-CE.45의 기관부 제외  $m_{LCC}$ 는 9.006톤이다. 여기서 선각 중량 3.738톤을 제외하면 의장 중량은 5.285톤으로 추정할 수 있다. 이 의장 중량을 MMU-GD.45에 동일하게 적용하면 선각 중량은 6.755톤으로 추정할 수 있다. MMU-GD.45와 MMU-CE.45와  $m_{LCC}$ 를 Table 9에 정리하였다. 대상 선박인 MMU-GD.45과 비교하여 CFRP 소재를 적용한 MMU-CE.45의 선각 중량은 45%가량 경량화 되었음을 알 수 있었다.

Table 9. Comparison of weight ( $m_{LCC}$ ) of GFRP and CFRP hull vessel

	MMU-GD.45 (GFRP)	MMU-CE.45 (CFRP)	Unit
Ws + Wo	12.023	9.006	ton
Wo	5.268	5.268	
Ws	6.755	3.738	

### 5. 추진계 변경에 따른 기관부 중량 변화

요구 마력인 610마력 이상의 전동기로는 LGMarines사의 I-330 2기로 선정하였다. 이 전동기는 대상 선박 MMU-GD.45의 엔진인 D6-330과 동일한 마력과 추진 방식을 사용하기 때문에 두 추진체계를 비교하기에 적절할 것으로 판단되었다.

Table 10에 MMU-GD.45와 MMU-CE.45의 기관 사양을 비교해 나타내었다.

Table 10. Specifications of diesel engine and electric motor

	MMU-GD.45 Diesel Engine	MMU-CE.45 Electric Motor
Model	 Volvo D6-330	 LGM i-330
HP	330	330
RPM	0 ~ 3,500	0 ~ 3,525
Fuel Type	Diesel Oil	Electric Battery
Operating Voltage (V)	-	300 ~ 750
Propulsion	Sterndrive	Sterndrive
Engine Weight (kg)	750	370
Propulsion Weight (kg)		67
Wm (kg) (w/o Fuel)	750	437

#### 5.1 전기추진계의 기관부 중량

MMU-CE.45의 기관부는 LGmarines의 i-330 전동기 2기와 스텐드라이브 추진기 2기이다. 엔진과 추진기 한 세트의 중량이 0.437톤(LG Marines, 2017)이므로 MMU-CE.45의 기관부 중량은 0.874톤이다. 이는 실제 항해를 고려하지 않은 기관부 중량이며, 실 항해를 고려하기 위해 디젤기관과 마찬가지로 항해 조건에 따라 배터리의 중량이 포함되어야 한다.

##### 5.1.1 배터리 용량 선정 방법

배터리의 경우 구성이 매우 다양하므로 본 연구에서는 선박안전기술공단의 친환경 전기추진 선박의 잠정 기준안의 정의 부분을 참고하여 배터리의 구성단위를 정의하였다. 배터리의 가장 작은 단위는 배터리 모듈이고, 배터리 모듈을 15개씩 연결한 묶음을 배터리 팩, 그리고 선박에 탑재한 모든 배터리 팩들을 연결한 것을 배터리 시스템으로 정의하였다. 그리고 배터리 시스템의 중량을 추정할 때 사용한 배터리 팩의 사양은 Table 11과 같다.

Table 11. Specification of battery pack

Items	Value	Unit
Number of Module	15	ea
Voltage	660	V
Energy	26.4	kWh
Weight	300	kg

배터리 시스템의 중량은 전동기의 요구 전력량과 동작전압과, 항해 조건에 따라 추정할 수 있는데, 이는 디젤기관의 디젤유 중량 추정 방법과 유사하다.

MMU-CE.45의 항해 조건을 만족하는 요구 전력량을 추정하기 위해서 탑재한 전동기의 제조사에서 전류와 동작전압 데이터를 제공받았다. 전동기의 동작전압은 660V로 배터리 모듈을 15개 이상을 사용하면 충족할 수 있다. 전동기의 전류는 제공받은 데이터를 Fig. 4와 같이 속도별 요구 전류의 함수로 정리하였다. 함수에 따라 MMU-CE.45가 서비스 속도인 10노트로 주행할 때 전동기의 요구 전류는 235A, 최대속도인 30노트로 주행할 때는 500A로 추정하였다.

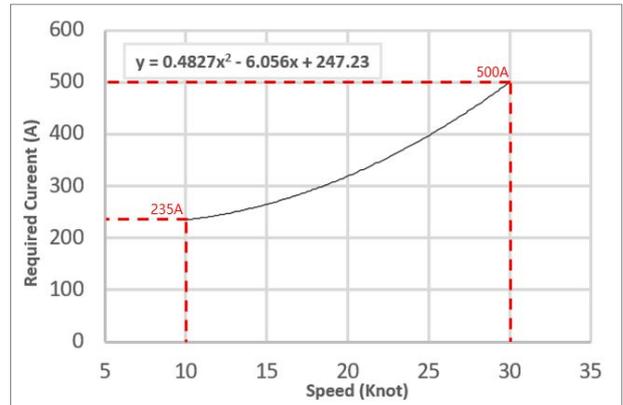


Fig. 4. Current consumption estimate in change with speed.

##### 5.1.2 MMU-CE.45의 배터리 용량과 중량 선정

항해 조건은 디젤 기관계와 동일하므로 각 속도에 대한 항해시간은 Table 3과 같다. 따라서 선박에 탑재해야 할 배터리의 전력량을 Table 12과 같이 추정할 수 있다.

Table 12. Power consumption estimates according to speed change

Speed (knot)	Voltage (V)	Current (A)	Power (kW)	Cruising Time (hour)	Required Energy (kWh)
10	660	235	155.1	3	465.30
30	660	500	330	1	330

CFRP 선체소재와 전기추진체계가 소형선박의 경량화에 미치는 효과

위에서 추정한 요구 전력량을 배터리 팩 한 개의 전력량을 나누어 선박에 탑재할 배터리 팩의 개수를 추정할 수 있는데, 이때 배터리 팩에 배터리 모듈만을 따로 추가하여 배터리 시스템을 구성할 수 있으므로 배터리 팩의 개수를 소수점까지 사용했다. 배터리 한 팩에 300 kg이므로 요구되는 배터리 팩의 개수에 증량 곱하여 배터리 시스템의 증량을 구할 수 있으며, 그 결과는 Table 13와 같다.

Table 13. Battery system weight estimate according to power consumption

Speed (knot)	Required Energy (kWh)	Energy of Battery Pack (kWh)	Battery Pack Amount (ea)	Battery Weight (kg)
10	465.30	26.4	17.63	5,289
30	330	26.4	12.5	3,750

5.2 배터리의 증량 대비 효율

디젤 기관계와 마찬가지로 증량 대비 효율을 확인하기 위해 디젤기관과 동일한 기관부 증량과 조건으로 항해 가능한 거리를 추정하였다. 기관부 증량 3.172톤에서 전동기와 추진기의 증량을 제외한 2.298톤을 배터리시스템의 증량으로 계산하였으며, 2.298톤은 배터리 팩 7.66개의 증량에 해당된다. 배터리팩 7.66개의 전력량은 202.22 kWh이며, 해당 전력량과 두 가지 속도로 항해 가능 거리는 Table 14과 같다.

Table 14. Cruising range estimate according to battery system weight

Speed (knot)	Energy (kWh)	Power (kW)	Cruising Time (hour)	Cruising Range (NM)
10	202.22	155.1	401.2	13
30	202.22	330	449.05	18.38

5.3 추진 시스템별 기관부 증량 비교

MMU-GD.45와 MMU-CE.45의 기관부 증량을 Table 15에 정리하였다.

전기추진계를 적용함으로써 기관부 증량은 약 58% 경량화 되었다. 하지만 실제 항해를 고려해 연료(디젤과 배터리)를 포함한 기관부 증량은 서비스 속도 일 때 3.8배, 최대 속도일 때 2.9배가량 증가하였다. 또한 디젤 기관계와 전기추진계의 기관부 증량의 구성비(Fig. 5)가 서로 반전된 것을 볼 수 있다.

Table 15. Machinery weight comparison of diesel engine and electric motor vessel

Speed (knot)	Item	MMU-GD.45 (Diesel Engine)	MMU-CE.45 (Electric Motor)	Unit
10	Engine+Propulsion	1.500	0.874	ton
	Fuel	0.125	5.282	
	Total Weight	1.625	6.156	
30	Engine+Propulsion	1.500	0.874	
	Fuel	0.112	3.750	
	Total Weight	1.612	4.627	

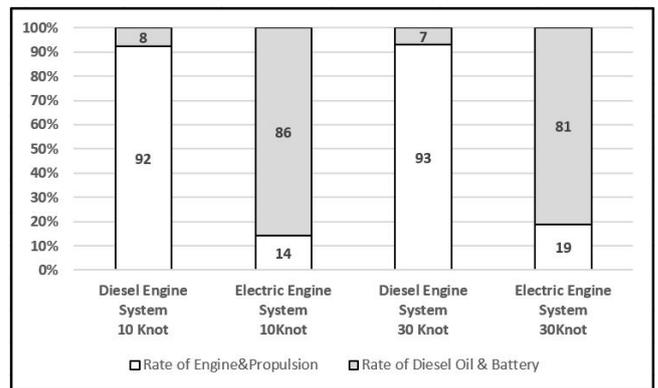


Fig. 5. Weight component ratio of machinery by engine(motor) and fuel (battery).

디젤 기관계는 엔진과 추진기가 기관부 증량에서 90%가량을 차지했지만, 전기추진계는 20%에도 못 미치는 비율을 차지했다. 동일 기관부 증량 대비 항해거리에 대한 효율을 비교한 결과를 Table 16에 정리하였다.

Table 16. Cruising distance comparison of diesel engine system and electric motor system to the same fuel weight condition

Speed (knot)	Diesel Engine System	Electric Motor System	Unit
10	401.2	13	NM
30	499.05	18.38	

6. 결론 및 고찰

선체 소재의 변화와 추진체의 변경에 따른 선각 증량과 기관부 증량을 정리하자면 Table 17과 같다.

Table 17. Weight comparison of MMU-GD.45 and MMU-CE.45

Ws \ Wm	Diesel Engine System 1.75 ton	Electric Motor System 6.156 ton
GFRP 6.755 ton	(MMU-GD.45) 8.505 ton	12.911 ton
CFRP 3.738 ton	5.488 ton	(MMU-CE.45) 9.894 ton

선체 소재를 GFRP에서 CFRP로 변경했을 때, 선각 중량은 45%가량 경량화 되었다. 구조의 중량이 경감되었지만 선체 구조강도에 문제가없어 소재의 변경은 효율적인 경량화 방법으로 판단된다. 하지만 GFRP 소재의 가격과 대비해 CFRP 소재의 가격은 10배 이상이 차이가 난다고 알려져 있어 경제적인 문제가 해소되어야 실제로 경량화 실효성이 있을 것으로 사료된다.

추진체계를 디젤 기관계에서 전기추진계로 변경함으로써 기관부 중량은 58%가량 경감되어 실제로 경량화에 효과적으로 보여질 수도 있다. 하지만 실제 항해 시 디젤기관과 동일한 조건으로 항해하려면 배터리의 중량이 약 5톤 더 적용되어야 하므로 최종적으로 그 중량이 380%가량 증가함을 알 수 있었다. 이는 배터리의 중량 대비 효율의 문제로 추후 극복해야 하는 과제로 판단된다. 따라서 전기추진계는 항해 거리, 속도와 배수량 등 제약이 있으므로 소형 선박으로의 적용은 선박의 목적이나 규모에 제한적일 것으로 사료된다. 추후 전기추진계를 소형선박에 적용하는데 선박의 규모와 항해조건의 효율적인 범위에 대한 연구를 진행하면 전기추진선박의 초기설계에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술평가원(KEIT)의 산업핵심기술개발 사업 "중소형조선소 시뮬레이션 기반 생산관리시스템 개발" 과제(과제번호: 10050495)와 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NFR-2017R1D1A3B03032051)의 지원을 받아 수행한 연구의 결과임을 밝히며, 지원에 감사드립니다.

### References

[1] Bentley(2018), Maxsurf, <https://www.bentley.com/en/products/Product-lineoffshore-structural-analysis-software/maxsurf>.  
 [2] ISO(2002a), International Organization for Standardization, ISO 8666 Small Craft - Principal data, ISO.  
 [3] ISO(2002b), International Organization for Standardization,

ISO 12217 Small craft - Stability and bouyancy assessment and categorization, ISO.  
 [4] ISO(2008), International Organization for Standardization, ISO 12215 Small craft - Hull construction and scantlings, ISO.  
 [5] LG Marines(2017), I-330, <http://www.lgmarines.com/page/?pid-inboard>.  
 [6] 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.  
 [7] Oh, D. K., Z. Q. Han and J. K. Noh(2018), Light-Weight Structure Design for a 11m CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Plastics) High Speed Craft with Optimum Fiber Mass Content.  
 [8] RINA(2009), Registro Italiano Navale, Rules for the Classification of Pleasure Yacht Part B Hull and Stability.  
 [9] Savitsky, D.(2012), The Effect of Bottom Warp on the Performance of Planing Hulls. Proceedings of 3<sup>rd</sup> Chesapeake Powerboat Symposium, pp. 1-40.  
 [10] Volvo Penta(2017), D6-330, <http://www.volvopenta.com/marine-leisure/en-en/products/motor-boats/ranges/inboard-shaft/d6-330/specification.html>.  
 [11] Wally(2017), Carbon PowerBoat Wally 58 Power, <https://www.wally.com/wally-power/58-wally-power.html>.

Received : 2018. 09. 21.

Revised : 2018. 10. 19.

Accepted : 2018. 10. 26.