



15 MW급 부유식 해상풍력 반잠수식 및 인장각식 플랫폼 특성 비교 연구

하윤진¹⁾ · 김정석¹⁾ · 박세원²⁾ · 박지용³⁾ · 김병수¹⁾ · 김영준¹⁾ · 김경환^{3)*}

Comparative Study on the Characteristics of Semi-Submersible and TLP Platforms for a 15 MW Class Floating Offshore Wind Turbine

Yoon-Jin Ha¹⁾ · Jeoung-Seok Kim¹⁾ · Sewan Park²⁾ · Ji-Yong Park³⁾ · Byung-Soo Kim¹⁾ ·
Young Jun Kim¹⁾ · Kyong-Hwan Kim^{3)*}

Received 21 July 2025 Revised 6 August 2025 Accepted 6 August 2025 Published online 8 September 2025

ABSTRACT This study presents the design results of a 15MW class floating offshore wind turbine platform developed by Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO). KRISO has designed both a semi-submersible and a tension-leg platform for the Ulsan offshore area. A series of model tests were conducted for each platform. Based on the performance evaluation results, the characteristics, advantages, and disadvantages of the semi-submersible and tension-leg platforms were analyzed. Through this study, the design outcomes and performance of the indigenous model are disclosed, aiming to contribute to the development of floating offshore wind systems in Korea.

Key words Floating offshore wind turbine system(부유식 해상풍력 시스템), Semi-submersible platform(반잠수식 플랫폼), Tension-leg platform(인장각식 플랫폼), Basic design(기본설계), Model test(모형시험)

Nomenclature

FOWT : Floating offshore wind turbine

TLP : Tension-leg-platform

Hs : Significant wave height, m

T_p : Wave peak period, sec

γ : Peakness of wave spectrum

NTM : Normal Turbulence Model

EWM : Extreme Wind Model

JONSWAP : Joint North Sea Wave Project

YCCMS : Yaw Control Catenary Mooring System

K_{XX} : Radius of gyration for rolling

K_{YY} : Radius of gyration for pitching

K_{ZZ} : Radius of gyration for yawing

GM_T : Transverse Metacentric Height

GM_L : Longitudinal Metacentric Height

1) Senior Researcher, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

2) Senior Engineer, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

3) Principal Researcher, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

*Corresponding author: kkim@kriso.re.kr

Tel: +82-042-866-3941

Fax: +82-042-866-3963

1. 서론

전 세계적으로 탄소중립(Net-Zero) 실현을 위한 에너지 전환이 가속화되면서, 풍력에너지는 재생에너지 확대의 핵심 수단으로 자리 잡고 있다. 특히, 해상풍력은 육상 대비 우수한 풍황 자원을 바탕으로 높은 전력생산 확보가 가능하며, 해역의 공간 활용도가 높아 유럽을 중심으로 빠르게 상용화되고 있다.^[1~3] 최근에는 수심이 깊은 해역에서 풍력 자원을 활용하기 위하여 부유식 해상풍력(Floating Offshore Wind Turbine System, FOWT) 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며, 유럽을 중심으로 실증단지 구축이 진행되고 있다. Equinor는 2009년 노르웨이에서 2.3 MW급 Hywind Demo 프로젝트를 시작으로 2023년부터 94.6 MW 규모의 Hywind Tampen 해상풍력단지를 구축하여 운영 중에 있다.^[4] Principle Power (PP)는 2011년 2 MW급의 프로토타입 실증 수행 후 2020년부터 포르투갈 해역에서 25 MW 규모의 WindFloat Atlantic 단지를 운영 중이며, 2018년부터 PP의 부유체를 기반으로 영국에서는 50 MW 규모의 Kincardine Offshore Windfarm이 운영중이다.^[5,6]

부유식 해상풍력의 풍력터빈을 지지하는 대표적인 부유체 형식은 스파식(Spar), 반잠수식(Semi-submersible), 인장각식(Tension-leg-platform, TLP)이 있다. Equinor의 Hywind 프로젝트에서는 스파식 부유체를 활용하였으며, 이는 5 MW급 NREL 공개터빈을 활용한 NREL의 OC3 프로젝트 4단계에서 그 성능이 널리 알려져 있다.^[7] 이와 반면에, PPI의 WindFloat 프로젝트에서는 3개의 컬럼(Column)을 가진 반잠수식 부유체를 활용하였다. 두 프로젝트로부터 스파식 및 반잠수식 부유체의 경우에는 상용화에 준하는 기술개발 단계에 도달하였다. 풍력터빈의 대형화에 따라 부유식 해상풍력은 대형화된 풍력터빈을 안정적으로 지지하여야 하며, 이에 따라 부유체의 운동이 상대적으로 적은 인장각식 부유체 개발 및 실증이 진행되고 있다. 2023년 SBM Offshore는 인장각식 부유체를 활용하여 프랑스에서 25 MW 규모의 프로방스 그랜드 라지(Provence Grand Large) 시범 프로젝트의 시험운용을 시작하였으며, 이는 세계 최초 인장각식 부유체를 활용한 부유식 해상풍력 실증 사례이다.^[8]

국내의 경우에는 잘 알려진 바와 같이, 울산 해역을 중심

으로 외국기업투자로부터 다수의 프로젝트를 통해 단지구축이 추진되고 있으며, 국내 독자 기술로 MW급 실증사업이 추진되고 있다. 이와 더불어 국내 조선소들은 각자 부유체 독자모형을 개발하고 국내외 부유식 해상풍력 사업참여를 적극 추진 중이다.^[9~11]

미국 NREL의 경우에는 University of Maine와 협력하여 15 MW급 VoltturnUS-S 하부 부유체를 공개하였으며, 이외에도 다양한 용량의 공개터빈에 적합한 부유체들을 공개하였다.^[7,12] 다만, 공개된 부유체들은 미국, 유럽 등 해역에 적합하게 설계되어 국내 기술개발에 활용하기에는 다소 한계가 있다. 따라서, 이를 극복하고자 선박해양플랜트연구소에서는 선제적으로 국내 기업들이 활용할 수 있도록 울산해역에 적합한 15 MW급 반잠수식 및 인장각식 부유체 국내 독자 모델 설계를 진행하였다. 본 연구에서는 선박해양플랜트연구소에서 설계한 15 MW급 반잠수식 및 인장각식 부유체의 장단점을 분석하고 각 부유체에 대한 특성을 비교하였다.

2. 주요환경조건

본 연구에서는 울산해역을 대상으로 15 MW급 반잠수식 및 인장각식의 국내 독자 모델 부유체를 설계하였다. Table 1

Table 1. Main environmental conditions

Design Load Case	Wind	Wave			Current
	Avg. Vel. (m/s)	Hs (m)	Tp (s)	γ	Avg. Vel. (m/s)
1.2	1.97	0.92	6.07	1.0	-
	5.26	1.18	5.88	1.0	
	6.01	1.25	5.86	1.0	
	7.51	1.42	5.85	1.0	
	8.26	1.51	5.86	1.0	
	11.27	1.94	6.11	1.0	
	14.47	2.99	7.38	1.0	
	16.44	3.61	8.05	1.0	
1.6	18.00	11.80	15.10	2.5	0.79
6.1	35.39	11.80	15.10	2.5	
10.1	35.39	12.70	15.40	2.5	
Survival	39.04	13.91	16.32	2.5	

은 두 부유체 설계를 위한 울산해역 대표 환경조건을 보여 준다. 바람조건은 수면 10 m 높이 기준에서의 10분 평균 바람속도이며, 파도는 JONSWAP 스펙트럼이 고려되었다. 조류속도의 경우에는 Design Load Case(DLC) 1.2에서는 고려되지 않았으나, 그 외의 DLC 조건에서는 두 부유체 설계 시 고려되었다. 그리고 바람조건 중 Normal Turbulence Model(NTM)은 A Class로 난류강도 0.16이 적용되었으며, Extreme Wind Model(EWM)의 난류강도는 0.11이 적용되었다. 그리고 대표수심은 137 m 이다.

3. 국내 독자 모델 소개

3.1 반잠수식 부유체

선박해양플랜트연구소의 15 MW급 반잠수식 부유체 국내 독자 모델은 국내 해양환경과 조선소 여건을 고려하였

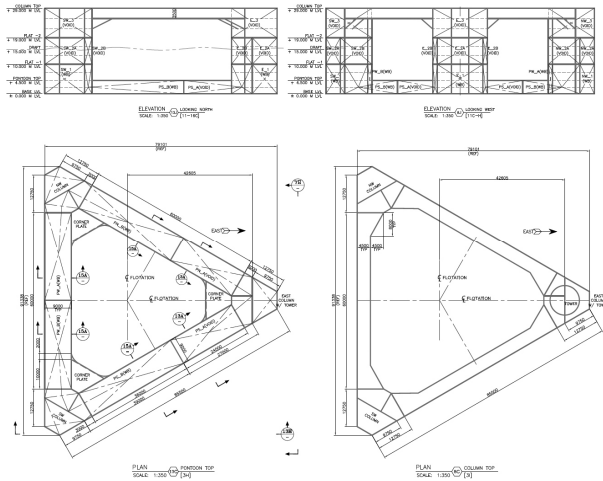


Fig. 1. Drawing of the 15 MW Class KRISO Semi FOWT platform

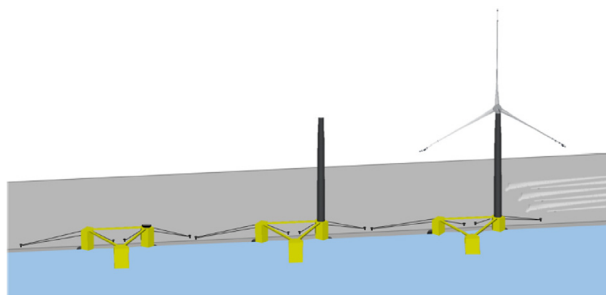


Fig. 2. Process of offshore wind turbine installation during quayside mooring

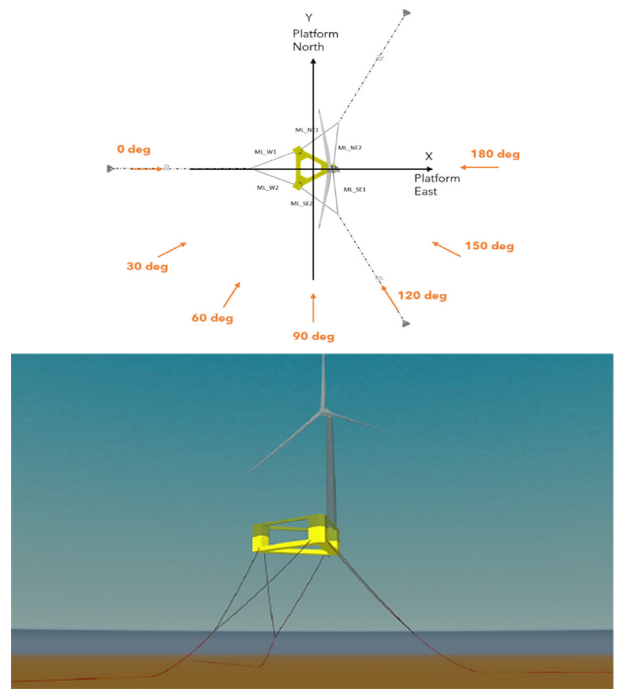


Fig. 3. Configuration of mooring system

으며, 중량을 최소화하기 위한 설계를 진행하였다. 상부 해상풍력 터빈은 IEA 15 MW급 공개터빈을 활용하였다.^[12]

선박해양플랜트연구소의 15 MW급 반잠수식 부유체 국내 독자 모델은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이, 조선소 야드에서 15 MW급 해상풍력 터빈 설치를 위하여 안벽에 접안이 쉬운 형상으로 각 세 컬럼(Column)의 형상은 오각형이다. 또한, 부유체 중량감소 및 조선소 야드에서의 크레인 거리를 고려하기 위하여 편심형으로 각 세 컬럼 중 하나에 해상풍력 터빈이 설치된다. 계류시스템의 경우에는 유지보수 선박의 이접안을 고려하였으며, 해상풍력 터빈 대형화에 따른 선수동요(Yaw)를 최소화할 수 있도록 하고자 하였다. 이에 YCCMS(Yaw Control Catenary Mooring System) 계류시스템으로 설계하였다.

계류시스템 및 터빈 정보를 제외한 선박해양플랜트연구소 15 MW급 반잠수식 부유체 국내 독자 모델의 주요제원은 Table 2와 같다.

3.2 인장각식 부유체

인장각식 부유체는 타 부유체 대비 중량이 작아 자재비를 절감할 수 있으나 유체역학적으로 자체 복원력이 존재

Table 2. Principal dimensions of the 15 MW class semi FOWT platform of KRISO

Parameter	Value
In-place Draft (m)	15.00
Freeboard (m)	14.00
Column Height (m)	29.0
Pontoon Width (m)	9.00
Pontoon Height (m)	4.50
Pontoon Length (m)	60.00
Column Side Length (m)	12.75
Distance from Column Center to Hull Center (m)	42.61
Distance between Column Outer Edges	85.50
Corner Plate Length (m)	12.00
Corner Plate Elevation from keel (m)	4.50
Displacement (m ³)	15,927
Radius of Gyration, k_{xx} (m)	48.80
Radius of Gyration, k_{yy} (m)	49.50
Radius of Gyration, k_{zz} (m)	36.50
GM _T , GM _L (m)	16.70

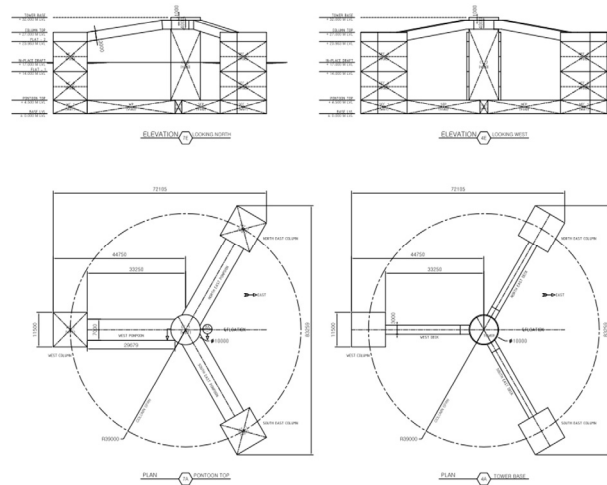


Fig. 4. Drawing of the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform

하지 않으며, 부유체와 앵커 사이에 수직으로 연결되는 강한 장력의 텐던에 의한 추가 복원력으로 부유되는 특징을 가진다. 따라서 인장각식 부유체는 운송·설치 비용이 상대적으로 매우 크다. 운송·설치 비용 중 이를 절감하기 위한 하나의 방법으로는 운송비용을 저감하는 것이며 이를 위하여서 Wet-towing이 가능하여야 한다. 선박해양플랜트연구소는 Wet-towing이 가능할 수 있도록 일부 복원력을 가진 15 MW급 인장각식 부유체 국내 독자 모델을 설계하

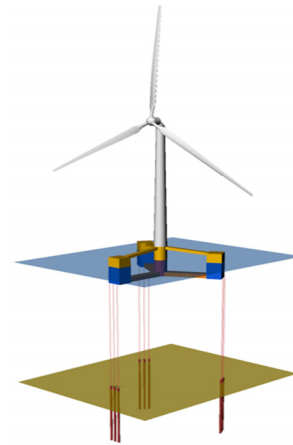


Fig. 5. Configuration of the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform

Table 3. Principal dimensions of the 15 MW class TLP FOWT platform of KRISO

Parameter	Value
In-place Draft (m)	17.00
Freeboard (m)	15.00
Length Overall (m)	70.00
Beam Overall (m)	79.05
Column C-C Radius (m)	39.00
Center Column OD (m)	10.00
Center Column Height (m)	32.00
Outer Column Square Width (m)	11.50
Outer Column Height (m)	27.00
Freeboard_Center Column (m)	15.00
Freeboard_Outer Column (m)	10.00
Pontoon Width (m)	7.00
Pontoon Depth (m)	4.50
Deck Width (m)	3.00
Deck Depth (m)	3.00
Displacement (m ³)	11,020
Radius of Gyration, k_{xx} (m)	22.99
Radius of Gyration, k_{yy} (m)	22.99
Radius of Gyration, k_{zz} (m)	30.14
GM _T , GM _L (m)	26.64

였다(Fig. 4 참조).

선박해양플랜트연구소의 15 MW급 인장각식 부유체 국내 독자 모델은 세 개의 사각형 컬럼이 배치되었으며, 가운데 원기둥이 추가로 배치되어 해상풍력 터빈을 지지하고 자체 복원력을 가질 수 있도록 설계되었다. 여기서, 한국에

너지기술연구원에서 설계된 해상풍력 터빈이 활용되었으며, 이는 IEA 15 MW급 공개터빈에 대하여 국내 해양환경을 고려한 재설계로 상대적으로 중량이 작고 성능이 향상된 해상풍력 터빈이다.

부유체와 앵커사이에 연결되는 텐던의 경우에는 비용절감을 위하여 기존 해양플랜트구조물의 강관과 달리 고려제강(주)에서 제공된 와이어로프 사양이 활용되었으며, 하나의 텐던이 끊어지더라도 전체 시스템이 안정적인 수 있도록 각 사각형 컬럼 당 세 개의 텐던이 적용되었다.

Table 2는 텐던 및 터빈 정보를 제외한 선박해양플랜트연구소 15 MW급 인장각식 부유체 국내 독자 모델의 주요 제원을 보여준다.

4. 모형시험 성능평가

선박해양플랜트연구소의 서로 다른 두 부유체의 모형시험이 진행되었으며, 모형시험기법은 최신 모형시험 기술인 덕트팬을 활용한 실시간 수치해석 연동 모형시험기법(Real-Time Hybrid Method)이 활용되었다.^[13] 수치해석 연동 모형시험기법은 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) 방법 기반으로 실제 크기의 고정식 해상풍력 터빈의 추력을 OpenFAST나 Bladed 같은 풍력전문수치해석 프로그램으로 해석하고, 해석된 공력하중(추력)을 실험모델 타워 상부 나셀 위치에 설치된 추력모사장치(Actuator)로 시간간격에 따라 모형시험이 종료될 때까지 실시간으로 부여하는 방법이다. 추력모사장치로 구현된 터빈의 공력하중에 의하여 변화된 실험모델의 6자유도 운동은 나셀 위치의 상대속도와 상대각도로 변환되어 다시 풍력전문수치해석 프로그램 입력자료로 활용된다. 환경조건은 Table 2의 설계조건과는 다르게 울산해역의 결합확률분포(Joint Probability Distribution)와 모형 축척비, 해양공학수조의 환경재현장비들의 성능이 동시에 고려되었다.

4.1 반잠수식 부유체 모형시험

선박해양플랜트연구소의 15MW급 반잠수식 부유체 국내 독자 모델에 대한 수조모형시험을 수행하였다. 모형축척비는 1/42.25로 선박해양플랜트연구소 해양공학수조의

수심을 고려하여 결정되었다. Fig. 6은 15 MW급 반잠수식 부유체 국내 독자 모델에 대한 수조모형시험에서의 계측센서들의 위치를 보여준다. 15 MW급 해상풍력 터빈에서의 공력특성을 계측하기 위하여 타워 상부에는 3축 로드셀 및 3축 가속도계로 추력 및 나셀 요-모멘트, 나셀 가속도를 계측하였으며, 각 Fairlead 위치에 1축 수중로드셀로 계류시스템의 장력을 계측하였다. 또한, 부유체 주위에 상대파고계를 설치함으로써 상대운동에 의한 상대파고 및 Air-gap을 계측하였다. 부유체의 6자유도 운동은 비접촉식 광학카메라를 활용하여 계측하였다.

Fig. 7은 선수파 조건에서의 운동 RAO를 보여준다. 전후동요(Surge)를 보면, 파도주파수에 따른 부유체의 전후동요 특성을 확인할 수 있으며, 파도주파수 0.12 Hz 근처

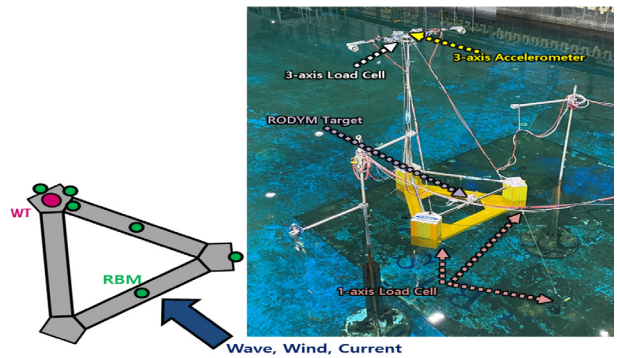


Fig. 6. Locations of measuring sensors on the 15 MW Class KRISO Semi FOWT platform model

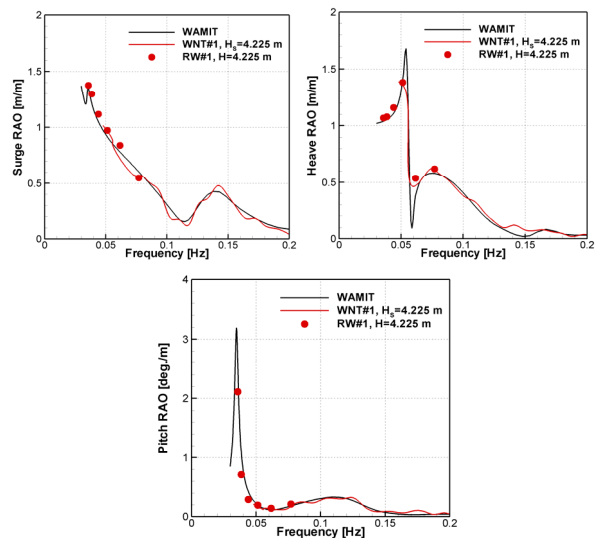


Fig. 7. Motion RAOs of the 15 MW Class KRISO Semi FOWT platform (Heading = 180 deg.)

에는 곡(Hollow)이 발생하는데 이는 입사파가 부유체 컬럼 사이를 지나고 그 파도가 서로 상쇄되어 발생하는 현상이다. 이는 각 컬럼을 가지는 부유체에 흔히 발생하는 현상 중 하나이다. 상하동요(Heave) 운동을 보면, 부유체의 상하동요 고유주파수는 0.05 Hz 근처이며, 상하동요 운동 또한 0.06 Hz 근처에서 곡이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 WAMIT 주파수영역해석결과와 그 곡의 크기가 다른 것을 확인할 수 있으며, 이는 모형시험에서의 점성효과로 인한 차이로 사료된다. 설계 시 각 컬럼을 가지는 부유체에서의 곡이 발생하는 파주파수 위치는 부유식 해상풍력 시스템에서 중요한 설계요소이다. 이는 부유체 거동이 작기 때문에 발전측면에서 유리함을 가질 수 있기 때문이다. 종동요(Pitch) 운동을 보면, 0.03 Hz 주위에서 부유체는 고유주파수를 가지며, 이후 부유체는 파주파수에 따른 작은 종동요 운동을 가진다. 본 연구에서는 15 MW급 해상풍력 터빈의 추력특성과 이에 따른 부유체 거동 측면에서의 분석을 위하여 Fig. 8과 같이 선수파 중 운용조건을 중심으로 모형시험결과를 분석하였다. Fig. 9는 Fig. 8 모형시험조건으로부터 계측된 15 MW급 해상풍력 터빈 추력, 나셀 가속도, 계류시스템 대표 장력 해석결과의 통계치를 보여준다. 계류시스템 대표 장력은 선수파 중 운용조건에서 정면 컬럼 Fairlead 위치에서 계측된 가장 큰 장력이다.

Fig. 9의 15 MW급 해상풍력 터빈 추력을 보면, 파도의 크기보다 풍속조건에 지배적인 것을 확인할 수 있으며, 정격풍속 11 m/s 보다 풍속이 빠른 정지풍속 25 m/s(Cut-out wind speed)에서 표준편차가 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 최대 및 최소 추력도 정격풍속 주위에서는 약 50% 정도의 차이를 보이나 정지풍속 주위에서는 약 100%정도의 차이를 보인다. 이러한 큰 추력 변화에도 불구하고 나셀가속도는 0.4 g 이내의 특징을 보인다. 다만, 상하동요의 풍속에 따른 변화는 크지 않으나 파도조건에 지배적인 것을 확

DLC	Full Scale					Model Scale				
	Wind	Wave			Current	Wind	Wave			Current
		Hs	Tp	γ			Hs	Tp	γ	
1.2	9.00 m/s	1.50 m	8.00 s	1.0	0.00 m/s	1.38 m/s	0.036 m	1.231 s	1.0	0.000 m/s
	11.00 m/s	1.75 m	8.25 s	1.0	0.00 m/s	1.69 m/s	0.041 m	1.269 s	1.0	0.000 m/s
	13.00 m/s	2.00 m	8.25 s	1.0	0.00 m/s	2.00 m/s	0.047 m	1.269 s	1.0	0.000 m/s
1.6	11.00 m/s	10.72 m	14.08 s	2.5	0.00 m/s	1.69 m/s	0.254 m	2.166 s	2.5	0.000 m/s
	25.00 m/s	10.72 m	14.08 s	2.5	0.00 m/s	3.85 m/s	0.254 m	2.166 s	2.5	0.000 m/s

Fig. 8. Design load cases for the model test of the 15 MW Class KRISO Semi FOWT platform model

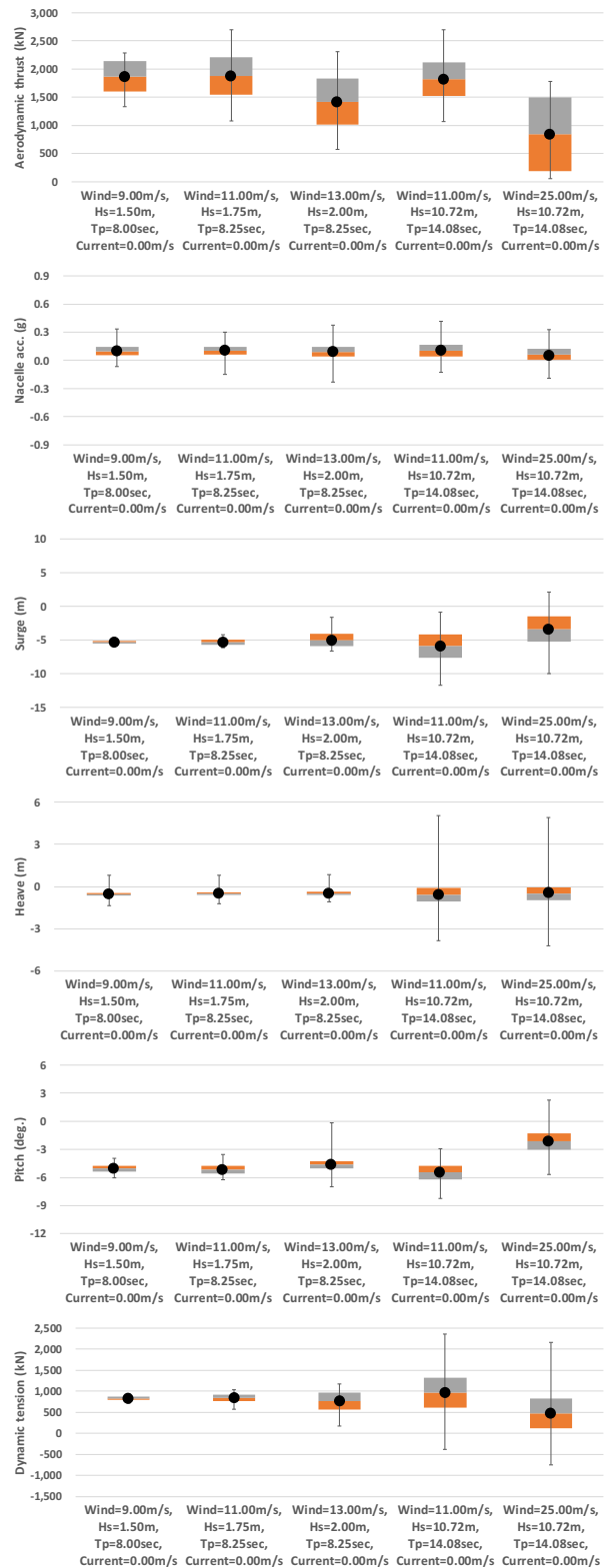


Fig. 9. Statistical results of the model test for the 15 MW Class KRISO Semi FOWT platform (orange and gray boxes: standard deviations, black circle points: mean values, black lines: max. and min. values)

인할 수 있다. 그리고 전후동요 및 종동요 운동의 경우에는 파도 뿐아니라 풍속에 따른 추력에 지배적인 특성을 보이며 평균 값의 변화를 확인할 수 있다. 그리고 전후동요 및 종동요 운동에 따른 계류장력도 풍속의 영향이 크게 나타난다.

4.2 인장각식 부유체 모형시험

선박해양플랜트연구소는 해양공학수조에서 모형축척비 1/36에 대한 15 MW급 인장각식 부유체 국내 독자 모델에 대한 수조모형시험을 수행하였다. Fig. 11은 선수파조건에서 15 MW급 인장각식 부유체 국내 독자 모델의 운동 RAO를 보여준다. Fig. 10은 계측센서의 위치를 보여주며, 이는 Fig. 6의 계측센서 배치와 유사하다. 인장각식 부유체 모형시험을 위하여 해양공학수조 pit를 활용하였으며, 별도의

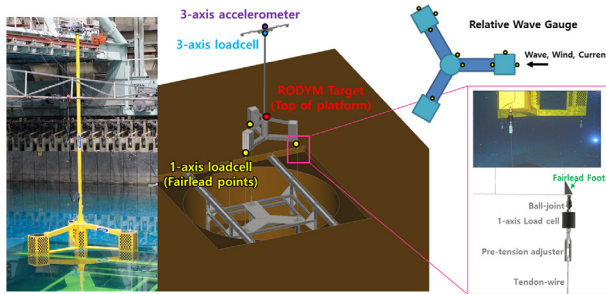


Fig. 10. Locations of measuring sensors on the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform model

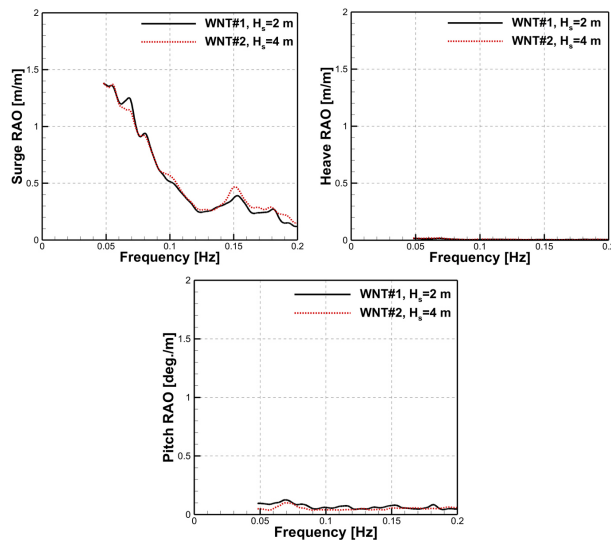


Fig. 11. Motion RAOs of the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform (Heading = 180 deg.)

구조물을 활용하여 모형텐던을 고정하였다.

또한, 수중로드셀을 활용하여 텐던의 장력을 계측하였으며, 인장각식 부유체의 경우 텐던 장력에 따른 부유체 거동이 매우 민감하기 때문에 텐던 길이를 미세조정할 수 있는 별도의 조정장치를 수중로드셀 하부에 설치하였다. 전후동요를 보면, Fig. 7과 마찬가지로 파도주파수에 따른 부유체 운동과 파도주파수 0.12 Hz 근처에서 곡을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 7과는 다르게 파도주파수에 따른 상하동요 및 종동요 운동은 매우 작은 것을 확인할 수 있다.

이는 인장각식 부유체의 특징 중 하나로 하부에 강한 텐던 장력으로 인하여 수직운동이 매우 작기 때문이다. 특히, 인장각식 부유체를 활용한 부유식 해상풍력 시스템의 매우 작은 종동요 운동은 발전측면에서 이점을 가진다.

Fig. 12는 모형시험조건을 보여주며, Fig. 8과 마찬가지로 본 연구에서는 선수파 중 운용조건에 대한 모형시험결과를 분석하였다. Fig. 13은 모형시험결과 중 대표적인 해석결과를 보여준다. 먼저, 추력특성을 보면, Fig. 9의 반잠수식 부유체와는 다르게 풍속에 따른 표준편차 및 최대, 최소 추력의 변화는 크지 않음을 확인할 수 있다. 나셀 가속도의 경우에는 강한 장력의 텐던에 의한 인장각식 부유체 특징으로 종동요 운동이 크지 않기 때문에 그 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 인장각식 부유체의 또 다른 특징으로 전후동요로 인하여 Set-down이라고 하는 침하 현상으로 전후동요 변화에 따른 상하동요 변화를 확인할 수 있다. 종동요 운동을 보면, Fig. 9의 반잠수식 부유체와는 다르게 상대적으로 작은 종동요 운동크기를 확인할 수 있으며, 이는 15 MW급 해상풍력 터빈의 추력변화에도 기여함을 확인할 수 있다. 다만, 텐던 장력의 경우에는 반잠수식 부유체의 계류시스템 장력에 비하여 10배 정도의 큰 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 그 변화는 전후동요 및 전후동요로 인하여 발생하는 Set-down에 의한 상하동요와 연관성이 있는 것으로 사료된다.

DLC	Full Scale					Model Scale				
	Wind	Wave			Current	Wind	Wave			Current
		Hs	Tp	γ			Hs	Tp	γ	
1.2	5.00 m/s	5.96 m	1.04 s	1.0	0.00 m/s	0.83 m/s	0.029 m	0.993 s	1.0	0.000 m/s
	11.00 m/s	5.86 m	1.51 s	1.0	0.00 m/s	1.83 m/s	0.042 m	0.977 s	1.0	0.000 m/s
	16.00 m/s	6.23 m	2.06 s	1.0	0.00 m/s	2.67 m/s	0.057 m	1.038 s	1.0	0.000 m/s
1.6	11.00 m/s	11.80 m	15.10 s	2.5	0.00 m/s	1.83 m/s	0.328 m	2.517 s	2.5	0.000 m/s
	25.00 m/s	11.80 m	15.10 s	2.5	0.00 m/s	4.17 m/s	0.328 m	2.517 s	2.5	0.000 m/s

Fig. 12. Design load cases for the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform model

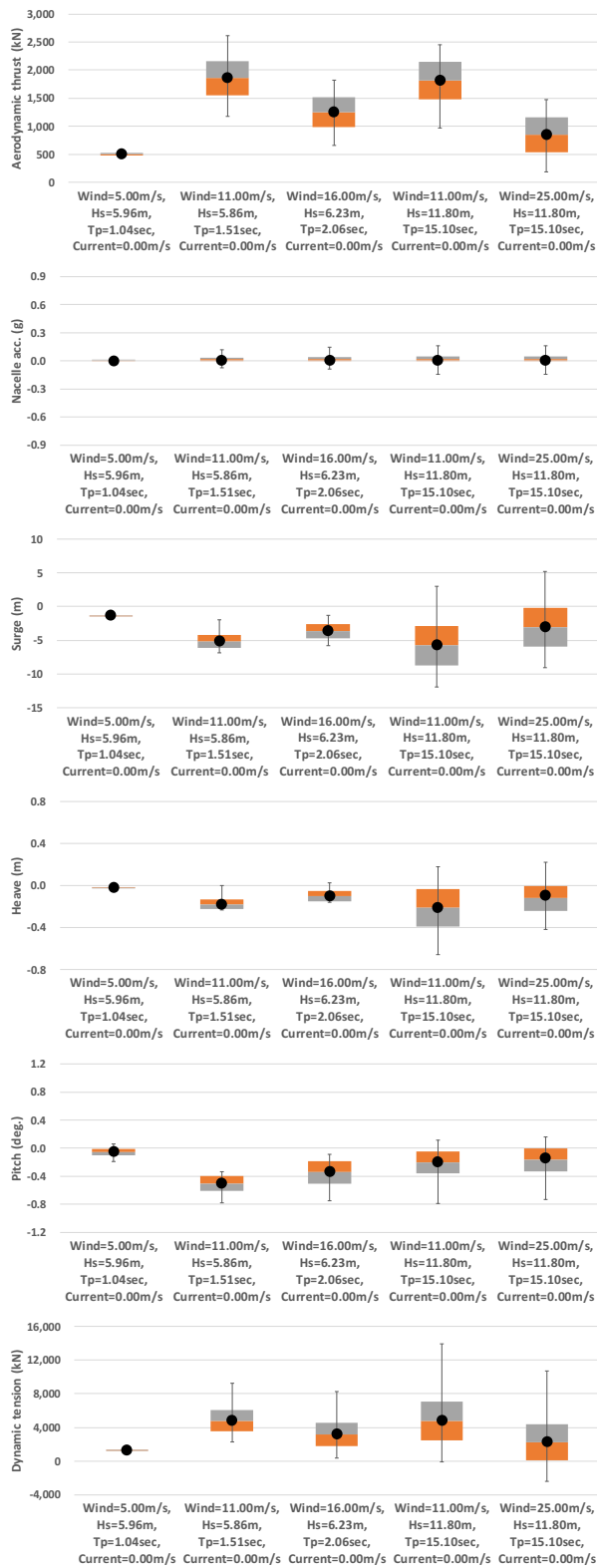


Fig. 13. Statistical results of the model test for the 15 MW Class KRISO TLP FOWT platform (orange and gray boxes: standard deviations, black circle points: mean values, black lines: max. and min. values)

Table 4. Characteristics of the 15 MW class Semi and TLP FOWT platforms

	Semi platform	TLP
Thrust	· Large variation characteristics of thrust with wind speed	· Relatively small variation characteristics of thrust with wind speed
Nacelle acc.	· Stable but larger than TLP	· Small, similar to fixed-bottom WT
Surge	· Characterized by thrust-dominant behavior	· Relatively wave-dominant rather than wind speed-dominant
Heave	· Characterized by wave-dominant behavior	· Dominant in surge motion
Pitch	· Characterized by thrust-dominant behavior	· Small, similar to fixed-bottom WT
Dynamic tension	· Much smaller than TLP and dominant in surge motion	· Very large and dominant in surge motion

4.3 반잠수식 및 인장각식 부유체 특징

본 연구에서는 선박해양플랜트연구소 15 MW급 반잠수식 및 인장각식 부유체 국내 독자 모델에 대한 모형시험결과를 바탕으로 그 특징들을 분석하였으며, Table 4에 요약하였다.

5. 결론

본 연구에서는 선박해양플랜트연구소에서 설계된 국내 해양환경 및 조신소환경을 고려한 15 MW급 반잠수식 및 인장각식 부유체의 설계(안)을 소개하고 모형시험성능평가 결과를 개략적으로 검토하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 반잠수식 부유체의 경우 풍속에 지배적인 추력변화를 보이거나 인장각식 부유체의 경우 상대적으로 풍속에 의한 추력변화는 크지 않다.
- 2) 반잠수식 부유체의 풍속에 따른 추력변화는 전후동요 및 종동요 운동변화에 기인하며, 이로인하여 나셀 가속도 또한 상대적으로 크게 변화한다. 인장각식 부

유체의 경우 전후동요 및 중동요가 파도변화에 민감하나 그 크기가 크지 않아 나셀가속도는 매우 작다.

- 3) 반잠수식 부유체의 상하동요는 파도변화에 민감하며, 인장각식 부유체의 상하동요는 전후동요로 인한 Set-down 현상에 기인하여 발생된다.
- 4) 부유체 운동성능은 반잠수식 보다 인장각식 부유체가 크지 않아 상부의 해상풍력터빈 운용에는 유리할 것으로 사료된다. 다만, 인장각식 부유체를 지지하는 강한 장력의 텐던에 큰 동적장력이 발생하여 유지보수에는 상대적으로 큰 비용이 소요될 것으로 예상된다.

본 연구에서 소개된 선박해양플랜트연구소 15 MW급 반잠수식 및 인장각식 부유체는 울산해역 환경조건에 적합하게 설계되었다. 본 설계(안)이 수심, 해양환경 등 다른 해역조건에서 활용될 경우 재설계로부터 부유체 고유주기 특성, 계류시스템 또는 텐던의 형상 및 사양 등 변경이 필요할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 재원으로 선박해양플랜트연구소의 기본사업인 '탄소중립사회 실현을 위한 해양그린수소 핵심원천기술 개발(1525013024, PES5541)'과 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 '인장각형(TLP)방식 부유식 해상풍력발전시스템 설계 및 축소모형시험 기술 개발(20223030020130, PNS5300)' 사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. 그리고 15 MW급 해상풍력 터빈 설계와 텐던의 제원 공유에 도움을 주신 한국에너지기술연구원 박세명 선임연구원과 고려제강(주)의 홍성희 팀장님께 감사드립니다.

References

[1] WindEurope, 2021, "Offshore Wind in Europe – Key Trends and Statistics 2020", <https://windeurope.org/data/products/offshore-wind-in-europe-key-trends-and-statistics-2020/>.

[2] IRENA, 2019, "Future of Wind: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects",

<https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>.

[3] GWEC, 2023, "Global Offshore Wind Report", <https://www.gwec.net/reports/globaloffshorewindreport/2023>.

[4] Equinor, <https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen>.

[5] WindFloat Atlantic, <https://www.windfloat-atlantic.com/>.

[6] Principle Power, 2021, "KOWL: World's largest floating windfarm fully operational", 2021.10.19., <https://www.principlepower.com/news/kowl-worlds-largest-floating-windfarm-fully-operational>.

[7] Jonkman, J., 2010, "Definition of the Floating System for Phase IV of OC3", National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL/TP-500-47535., <https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47535.pdf>.

[8] SBM Offshore, 2023, "SBM Offshore announces the successful installation of the 3 floating wind units for Provence Grand Large", 2023.10.12., <https://www.sbmoffshore.com/newsroom/sbm-offshore-announces-successful-installation-3-floating-wind-units/>.

[9] Samsung Heavy Industries, 2021, "Samsung Heavy Industries Takes on the Renewable Energy Market with Large-Scale Offshore Wind Floaters", 2021.07.19., <https://blog.samsungshi.com/815>.

[10] Hyundai Heavy Industries, "Hi-FLOAT-HHIS's Substructure for Floating Offshore Wind Turbine", Leaflet, https://english.hhi.co.kr/img/filedown/Hifloat_leaflet.pdf.

[11] Hanwha Ocean, 2025, "Hanwha Ocean Successfully Develops In-House Model for Offshore Wind Floating Substructure", 2025.01.13., https://www.hanwha.co.kr/newsroom/media_center/news/news_view.do?seq=13931.

[12] Allen, C., Viselli, A., Dagher, H., Goupee, A., Gaertner, E., Abbas, N., Hall, M., and Barter, G., 2020, "Definition of the UMaine VoltumUS-S Reference Platform Developed for the IEA Wind 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine", National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL/TP-5000-76773, <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/76773.pdf>.

[13] Ha, Y.J., Ahn, H., Park, S., Park, J.Y., and Kim, K.H., 2023, "Development of Hybrid Model Test Technique for Performance Evaluation of a 10MW Class Floating Offshore Wind Turbine Considering Asymmetrical Thrust", Ocean Eng., 272, 113783., <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113783>.