

부유식 해상풍력 하부구조물 기술 동향

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
정 준 환 (ssss45674@kdb.co.kr)

- ◆ 부유식 해상풍력 발전의 필요성이 증가하고 있으며 안정적인 발전 운영을 위해 부유식 하부구조물 기술의 중요성이 증대
- ◆ 반잠수식이 지배적인 시장에서 기술 개발을 통해 새로운 구조들이 등장하고 있으며, 한국은 조선 기술력을 바탕으로 높은 잠재력을 보유

□ 부유식 해상풍력 발전의 필요성이 높아지고 있으며, 거친 해상환경에서 안정적인 발전 운영을 위해서는 부유식 하부구조물 기술이 필수 요소

- 육상풍력, 고정식 해상풍력 발전의 경우 입지 선정 과정의 어려움이 존재
 - 육지에 가까워질수록 가용 공간이 희소해지며, 환경 영향에 대한 민감성 증가
- 부유식 해상풍력 발전은 원해(遠海)에 설치되어 입지 선정이 비교적 수월하고, 장애물로 인한 난류가 적어 우수한 풍질*을 바탕으로 높은 이용률** 확보 가능
 - * 풍질 : 풍력 자원의 질, 바람이 강하고 일정한 풍속을 유지할수록 풍질이 높음
 - ** 일정 기간의 실제 발전량을 동일 기간 정격 출력으로 발전했을 때의 발전량으로 나눈 비율
- 부유식 해상풍력은 타 풍력 발전과 달리 부유 상태에서 큰 하중을 지지하고 해상에서 안정을 유지해야 하기에 하부구조물의 중요도가 높음

풍력 발전 설치 위치에 따른 특징



자료 : 산업은행 작성

□ 하부구조물은 형태에 따라 크게 네 종류로 분류되며, 현재 설치가 예정된 부유식 해상풍력 프로젝트 대부분이 반잠수식을 채택 중

- 하부구조물은 형태에 따라 원통형(Spar), 반잠수식(Semi-submersible), 인장각형(Tension-leg-platform), 바지(Barge)로 분류
 - ※ 분류별 상세 정보는 별첨 문서 참조

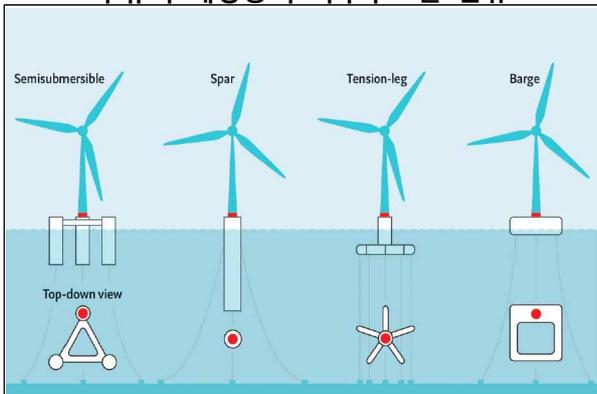
부유식 해상풍력 하부구조물 특징

구조물	안정성	설치 가능 수심	제작 비용	설치 비용	총 비용
원통형	매우 높음	80~100m 이상	높음	높음	높음
반잠수식	높음	40m 이상	높음	낮음	보통
인장각형	매우 높음	40m 이상	낮음	매우 높음	매우 높음
바지	보통	30m 이상	낮음	낮음	보통

자료 : GWEC 참고하여 당행 제작성

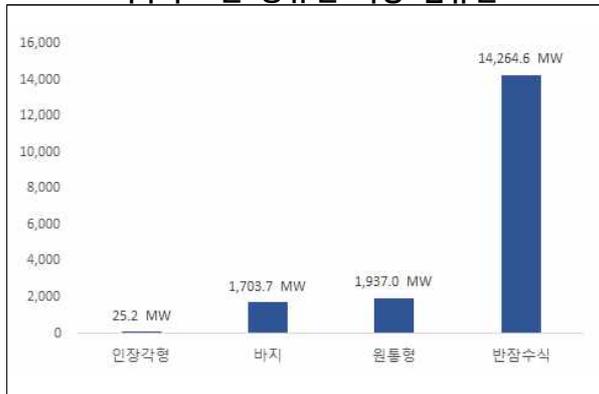
- 초기에는 안정성이 높은 원통형을 많이 채택하였으나, 설치 용이성으로 인해 개발 예정 프로젝트 대부분이 반잠수식을 채택 중
 - 최초의 부유식 해상풍력 프로젝트 Hywind Scotland의 경우 안정성이 높은 원통형을 채택했으나, 설치 가능 수심의 제한과 높은 비용의 한계가 존재
 - ※ 크레인을 이용해 원통을 세워 설치하므로 수심의 제한과 크레인 선박 대여로 인한 높은 비용 발생
 - 반잠수식은 예인선*을 이용해 설치하여 비용이 낮고, 설치 위치와 기상 상태의 영향을 적게 받아 설치가 용이
 - * 예인선(Tug boat) : 크기에 비해 강한 추진력을 갖춰 배를 끌거나 움직이는 운반선 역할의 선박
 - 반잠수식 프로젝트의 실증 운영 성공 이후, 개발 예정인 프로젝트 대다수가 반잠수식을 채택 중

부유식 해상풍력 하부구조물 분류



자료 : MDPI

하부구조물 종류별 시장 점유율

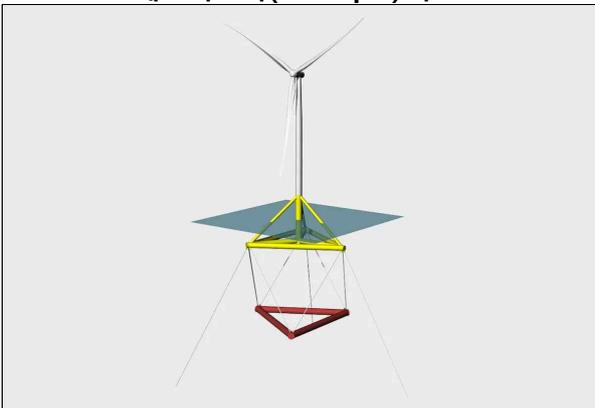


주 : '22년 기준 현재 설치 완료 및 예정 단계 모두 포함
자료 : DOE 참조하여 당행 제작성

□ 기존 구조를 개선한 새로운 구조들이 개발 및 실증 중이며, 국내는 정부 주도의 기술 개발 진행 중

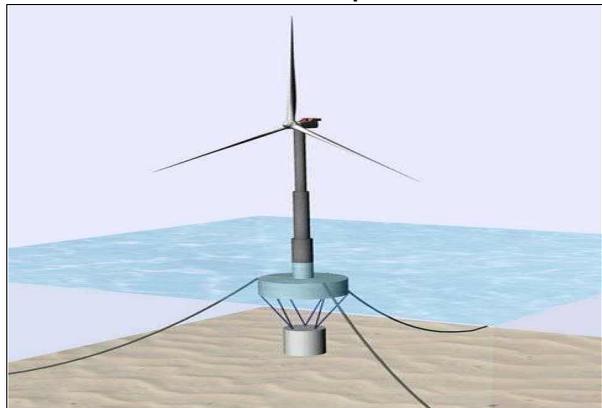
- 기존 문제점을 개선한 테트라스파(TetraSpar), TELWIND 등의 구조가 개발되어 실증 진행 중
 - 테트라스파 구조는 '21년 7월 설치되어 실증 진행 중이며 부유체를 강철관의 용접으로 제작하여 반잠수식의 높은 제작비용을 극복
 - TELWIND는 원통형 구조, 인장각형 구조를 결합하여 예인선만으로 설치를 가능하게 하여 원통형의 높은 설치비용을 극복

테트라스파(TetraSpar) 구조



자료 : NREL

TELWIND 구조

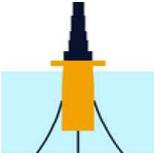
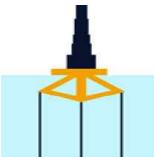
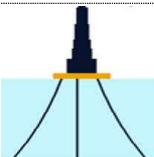


자료 : GRUPO COBRA

- 국내는 정부 주도의 하부구조물 기술 개발이 진행되고 있으며, 세계적인 조선 경쟁력을 바탕으로 시장진출 기대
 - 정부는 “新성장 4.0 전략 '23년 추진계획”의 에너지 신기술 분야에 “부유식 해상풍력 구조물 설계기술 개발”을 포함
 - 선박해양플랜트연구소(KRISO)는 한국선급으로부터 국내 기술로 개발한 15MW급 반잠수식 구조의 AIP 인증*을 획득
 - * AIP(Approval In Principle) 인증 : 기본설계에 대한 안정성과 성능의 타당성을 검증받는 절차
 - 하부구조물 기술은 기존의 석유·가스 해양플랜트 구조물 기술과 유사하여 국내 조선업체는 뛰어난 기술 경쟁력으로 인해 높은 잠재력 보유

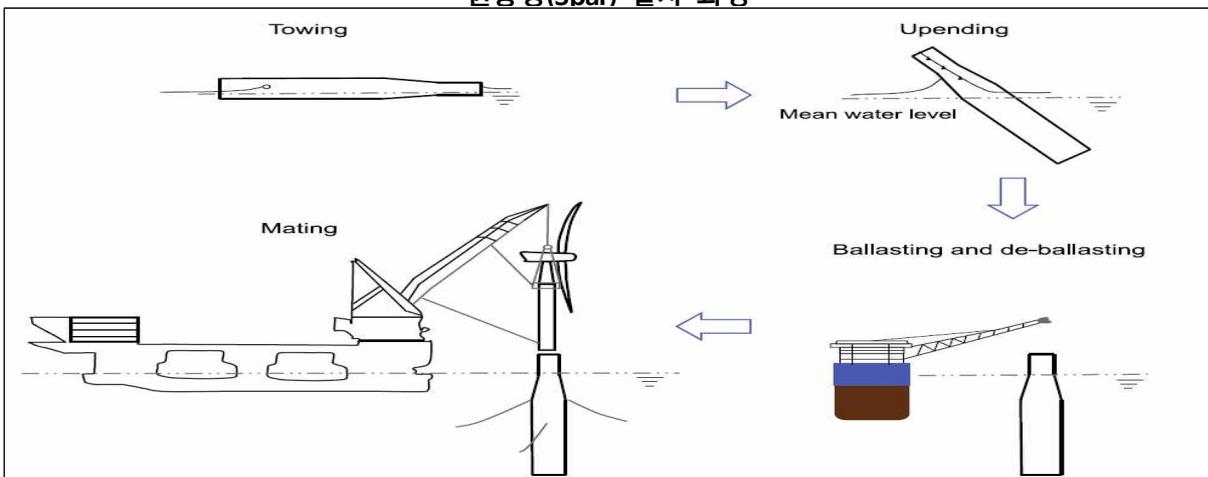
[별첨문서]

부유식 해상풍력 하부구조물 상세 자료

구분	장점	단점
 <p>원통형 (Spar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 원통형 구조로 제작이 간단하고 부식에 강함 - 간단한 계류 시스템 - 무게중심이 낮고 원통형 구조로 인하여 부력중심의 변화가 적어 안정성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물의 중량이 무거워 높은 제작 비용 발생 - 원통형 구조와 원통을 세워서 설치하는 방법으로 인해 깊은 수심에만 설치 가능 - 수상에서 설치되므로 날씨 영향을 많이 받고 특수설치선이 필요
 <p>반잠수식 (Semi-submersible)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 물과 접촉하는 수평 면적이 넓어 외력에 대한 응답성이 좋고 상하운동이 적음 - 간단한 계류 시스템과 설치과정 - 제작부터 설치까지 전 과정의 리스크가 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물 구조가 복잡하여 대량 생산이 어려움 - 파도에 취약하고, 수평 방향으로 잦은 동요가 발생 - 제작을 위해 건조 도크가 필요
 <p>인장각형 (Tension Leg Platform)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물이 간단하고 가벼워 제작 비용이 낮음 - 유지보수가 쉬움 - Tendon이라 불리는 강철 기둥으로 부유체와 해저 면이 항상 장력을 유지하여 높은 안정성을 나타냄 	<ul style="list-style-type: none"> - 복잡한 계류 시스템으로 인해 설치비용이 높음 - 설치하는 과정에서 불안정하며, 특수설치선이 필요 - 해저 면과 부유체를 연결하는 Tendon으로 인해 운영 리스크가 증가
 <p>바지 (Barge)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 설치 가능 수심이 가장 얕아 해저 환경의 영향이 적음 - 구조와 구성 재료가 간단하여 대량 생산이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> - 계류 시스템과 약간의 부력으로 평형을 유지하므로 다른 구조에 비해 안정성이 낮고 파도에 취약

자료 : GWEC 참고하여 당행 재작성

원통형(Spar) 설치 과정



자료 : ScienceDirect(2021.1.27.), "Installation of offshore wind turbines: A technical review"