

풍력 발전 현황 및 산업 동향 - 해상풍력 및 부유식 해상풍력을 중심으로

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
윤정길 선임연구원(jayun2014@kdb.co.kr)

I. 풍력발전 현황

III. 부유식 해상풍력 발전의 특징 및 동향

II. 해상풍력 발전의 특징 및 동향

2016년 발효된 파리협정 이후 전세계 140여개국에서 탄소중립을 선언하였으며, 미국·EU 등 주요 선진국들은 탄소중립 계획을 수립하고 재정 투입 및 탄소국경세를 도입하는 등 본격적인 이행단계에 돌입하였다.

우리 정부 또한 2020년 10월 '2050 탄소중립 선언'과 함께 그해 12월 「2050 탄소중립 추진전략」을 발표하며 풍력, 태양광을 위주로 한 신재생에너지 중심의 전력 공급 계획으로 경제구조의 저탄소화를 도모하는 등 신재생에너지의 중요성은 점점 커지고 있다.

풍력 발전은 설치 장소에 따라 육상풍력 발전과 해상풍력 발전으로 구분되며, 2020년까지는 육상풍력 발전을 중심으로 성장해왔으나 향후에는 풍력발전기의 수명 증대, 우수한 풍황 등의 장점을 지닌 해상풍력 발전에 대한 세계 각국의 지속적인 투자 확대에 급속한 성장세가 예상된다.

해상풍력 발전이 2030년까지 2020년 대비 약 7.7배 이상 성장할 것으로 전망되는 가운데 현재는 실증 또는 예비 상업운전 단계지만 향후 시장이 급속히 확대될 것으로 예상되는 부유식 해상풍력에 대한 기술 개발이 필요한 상황이다.

부유식 해상풍력 발전은 우리나라가 글로벌 경쟁력을 보유하고 있는 조선 해양 및 해저케이블 산업과의 시너지 창출이 가능한 분야로 관련 기술 및 산업을 조속히 육성하여 이를 2050 탄소중립 목표를 위한 주요 도구로 삼아야 할 것이다.

* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

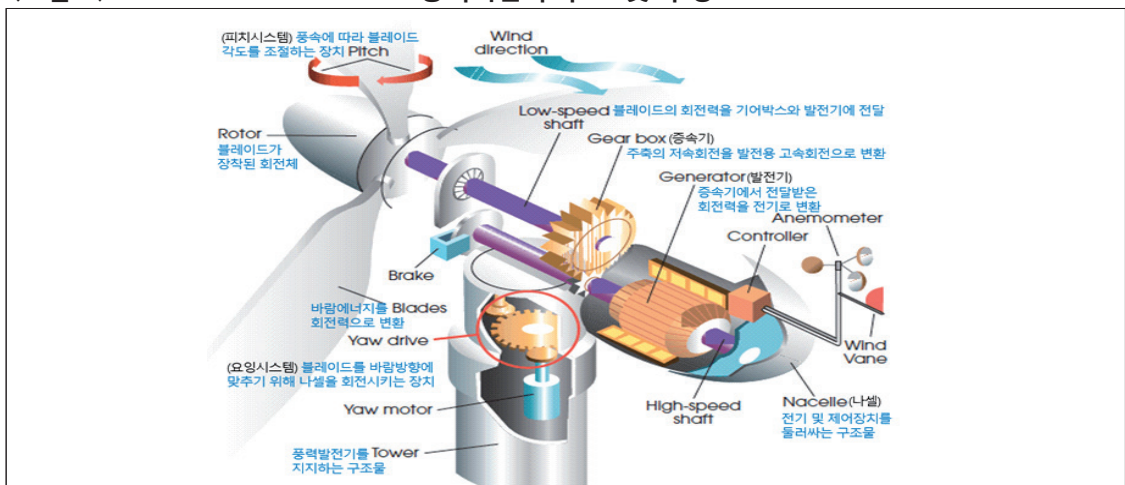
I. 풍력발전 현황

1. 분야 정의 및 분류

- 풍력에너지 이용 기술은 풍력터빈을 통해 에너지가 변환되는 기술적 정의 뿐만 아닌 에너지 운송/설치/시공, 운영 및 보수, 계통 연계 등을 포괄
- (풍력의 기술적 정의) 풍력터빈을 통해 바람의 운동에너지를 기계적 운동을 거쳐 전기에너지로 변환하는 장치로, 블레이드, 증속기, 발전기, 나셀, 타워 등의 부품으로 구성

<그림 1>

풍력터빈의 구조 및 구성

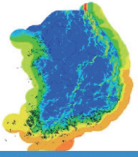


자료 : 한국풍력산업협회

- 풍력에너지 이용 기술은 육·해상 풍력발전 시스템(터빈) 및 핵심부품의 개발 뿐만 아니라 단지설계, 운송·설치·시공, 단지 운영 및 유지보수, 계통 연계 기술, 시스템 및 프로젝트 인증 기술 등을 포함
- 해상풍력의 경우 사업비용은 터빈 33%, 구조물 24%, 운영비 23%, 전력망 계통 연계비 15% 수준임¹⁾

1) 한국과학기술기획평가원, 부유식해상풍력기술 실증프로젝트, 2019

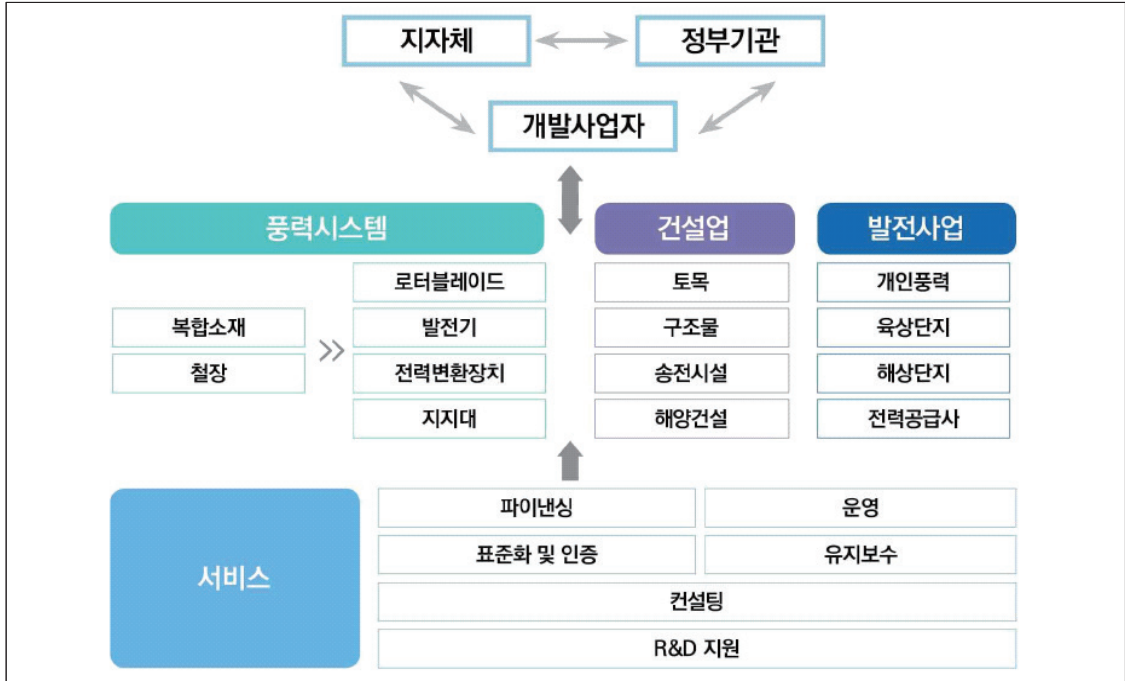
〈그림 2〉 풍력에너지 이용 기술의 정의

				
자원평가·단지설계	핵심부품	시스템(터빈)	운송·설치·시공, 계통연계	운영·유지 보수
풍향 자원을 평가하고 이를 활용하여 풍력 발전단지 설계 등을 실행	블레이드, 증속기, 발전기 및 피치/요시스템 등의 풍력 발전기 구성 부품	바람을 이용하여 전기를 생산하는 시스템 설계 및 제작 기술	육상 및 해상에 풍력발전기를 운송/설치/시공하여 계통연계(시운전)수행	상업운전 중인 풍력 발전단지를 운영하고 유지 및 보수하는 기술

자료 : KETEP(2020), “제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵 풍력”

- (풍력의 산업적 정의) 소재, 부품 및 시스템에 이르는 풍력 터빈 시스템 뿐만 아니라 발전사업, 건설업, 금융업, 운영·유지보수, 표준화 및 인증 그리고 연구 개발 자문 등의 종합적인 산업 생태계를 가짐

〈그림 3〉 풍력산업의 가치사슬 및 생태계 구조



자료 : KOTRA

- 풍력 발전은 설치 장소에 따라 육상풍력과 해상풍력으로 구분되며, 해상풍력은 풍력발전기를 해저면에 고정하는 고정식과 깊은 해역에 띄우는 부유식으로 구분
- 해상 풍력발전기는 육상에 설치되는 풍력발전기와 동일하게 타워 위에 발전기와 회전체가 설치되지만, 타워를 고정시키는 수중기초(Substructure)가 추가됨
- 그 외, 풍향과 주축에 의한 분류(수직축/수평축), 운전방식에 의한 분류(기어형/기어리스형)으로 분류하기도 함

〈그림 4〉 풍력산업의 가치사슬 및 생태계 구조



자료 : 울산시

〈표 1〉 풍력발전 분류 및 장단점

구 분	육상풍력	해상풍력	
		고정식	부유식
장 점	짧은 공사기간, 낮은 설치비 및 운영비, 관리 용이	설치용이, 낮은 운영 관리비, 대단지 조성 가능	먼바다 및 심해 설치, 낮은 환경/지질 조성비용, 대단지 조성가능
단 점	소음, 설비운반, 환경훼손, 입지제한으로 대단지 조성 곤란, 다양한 민원 발생	바다, 연안 생태계 훼손, 어업권 등 민원 발생, 높은 설치비용	심해에 설치 어려움, 높은 운영 관리비, 높은 그리드 비용, 경제성 확보 어려움

자료 : 한국석유공사(2021), “에너지계의 게임 체인저 부유식해상풍력”

2. 국·내외 풍력 발전 현황

□ (국외) '20년까지 글로벌 풍력 발전은 육상풍력 중심으로 성장해 왔으며 향후 세계 각국의 투자 확대에 따라 급속한 성장세가 지속될 전망

- '20년 글로벌 누적 풍력 발전 용량은 778GW로 이 중 육상풍력 비중은 95.5%(743GW), 해상풍력은 4.5%(35GW)를 차지
- '25년까지 글로벌 누적 풍력 발전 설비용량은 1,247GW로서 '20년 대비 60.3% 증가할 것으로 예상됨(연평균 8.4% 증가)

〈그림 5〉 글로벌 누적 풍력 발전 설비용량 현황 및 전망

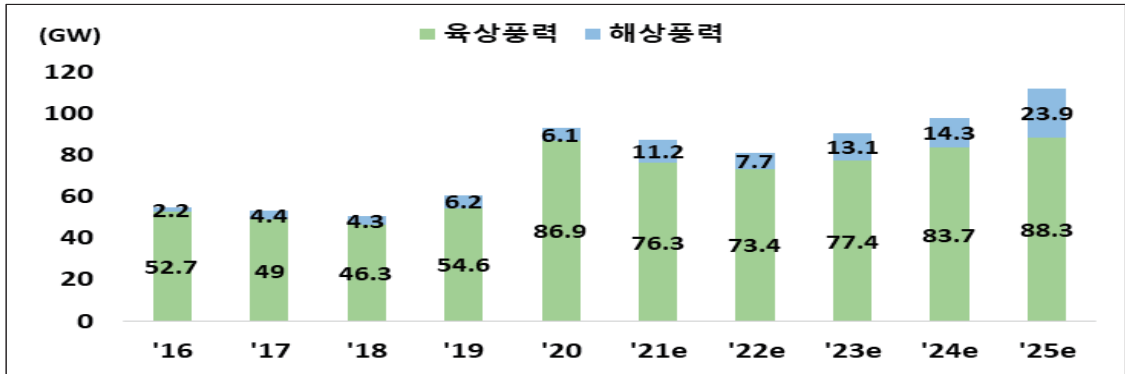


자료 : GWEC, "Global Wind Report 2021"

□ 향후 풍력 발전에 대한 투자는 규모 면에서는 여전히 육상풍력이 우위를 보일 것이나 신규 투자 증가율은 해상풍력이 앞설 것으로 예상

- '21~'25년 육상풍력 신규 발전용량 규모는 매년 73~88GW수준이나 해상풍력의 신규 발전용량은 8~24GW로 육상풍력 대비 10.5%~27.1% 수준 전망
- '21~'25년 육상풍력 신규 발전용량 증가율은 15.7%임에 비해 해상풍력의 증가율은 113.4%에 달할 것으로 전망

〈그림 6〉 글로벌 신규 풍력 발전 설비용량 추이 및 전망

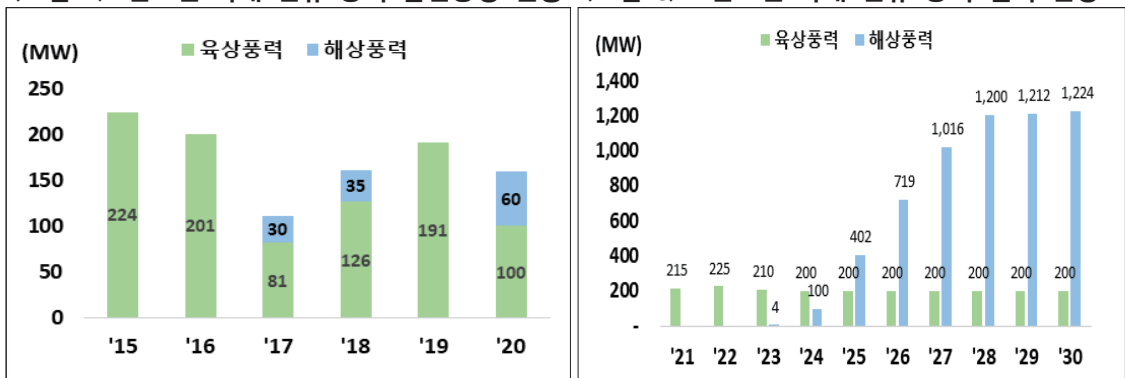


자료 : GWEC, "Global Wind Report 2021"

□ (국내) '20년까지 국내 누적 풍력 발전용량은 1,642MW 규모로 '15년 834MW 대비 2배 수준으로 성장

- '20년말 국내 총 106개의 풍력 발전 단지 중 육상풍력이 103개소(97%), 해상 풍력이 3개소(3%)이며 주로 강원·전남·경북·제주 지역에 밀집
- 육상풍력은 부지 부족 등의 문제로 신규 발전이 어려운 반면, 해상풍력은 터빈 대형화 등 기술 발전 등으로 신규 설비투자 급증할 것으로 전망
 - 해상풍력은 풍황이 우수하여 설비 이용률(Capacity Factor)이 높으며 터빈 대형화로 인한 규모의 경제가 유리한 장점을 보유

〈그림 7〉 연도별 국내 신규 풍력 발전용량 현황 〈그림 8〉 연도별 국내 신규 풍력 설비 전망



자료 : 한국풍력산업협회, 전력통계정보시스템, BloombergNEF 내용 재구성

II. 해상풍력 발전의 특징 및 동향

□ 해상풍력은 육상풍력 대비 풍향이 풍부하고 민원 소지가 적으며, 대형화에 따른 높은 이용률 확보가 가능한 장점 보유

○ 해상풍력의 장점은 높은 풍속 및 균일한 바람에 따른 풍력발전기의 수명 증대, 우수한 풍질(風質), 낮은 주민민원 소지 등이 있음

○ 이에 반해 해상풍력의 단점은 ❶높은 설계·설치 및 운전비용, ❷높은 건설 및 전력망 연결 비용, ❸높은 수준의 기초건설 난이도 및 시스템 운용 등이 있음

- 육상풍력에서 터빈발전기 비용은 총 건설비용의 75%인데 반해 해상은 약 33% 수준
- EU의 경우 육상풍력 건설비용이 2M€/MW인데 반해 해상은 약 4M€/MW 수준²⁾

□ 해상풍력의 높은 사업 비용은 개발 경험 축적 등으로 지속적으로 하락하는 추세

○ (❶비용하락을 통한 사업성개선) '20년 글로벌 가중평균 균등화발전비용(LCOE)³⁾은 0.084달러/kWh를 기록하며, '07년 0.180달러/kWh로 정점을 찍은 이후 53% 감소하였으며, '24년 완공 예정인 프로젝트의 최근 PPA⁴⁾·입찰가격은 0.085달러/kWh로 향후에도 지속적인 하락세 유지할 것으로 전망

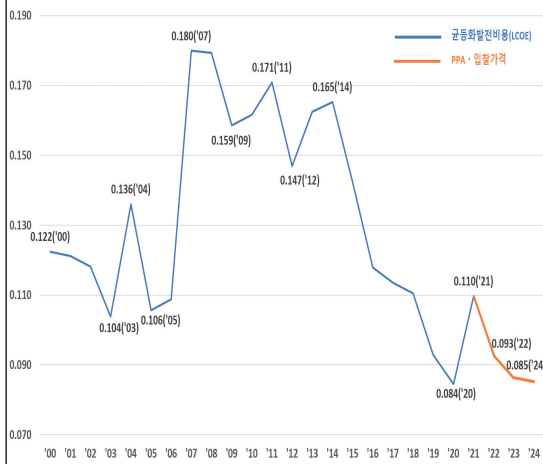
- '10년에서 '20년간간 동안 육상·해상풍력 LCOE는 각각 56%와 48% 하락
- 비용하락의 주요 원인 : 개발 경험의 축적, 터빈기술의 발달, 최적화된 입지 조건 선정, 정부의 강한 정책적 지원 등

2) 한국과학기술정보연구원, 왜 해상풍력 에너지를 선호하는가, 2010

3) Level Cost of Equivalent : 전력을 생산하는 준비단계부터 생산 이후 단계까지 모든 비용을 감안해 책정한 단위 전력량당 발전 비용

4) Power Purchase Agreement : 전력판매계약

〈그림 9〉 해상풍력 LCOE 및 PPA·입찰가격



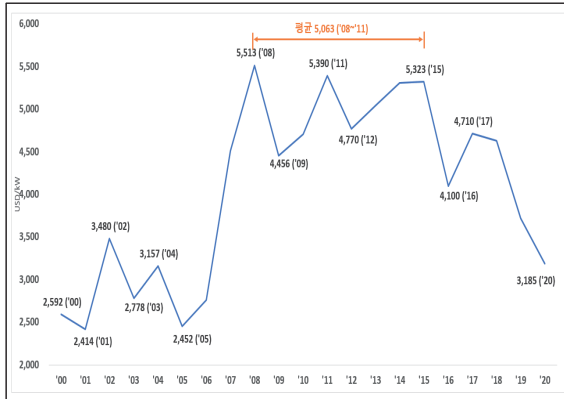
〈표 2〉 발전원별 LCOE 추이

(단위 : USD/kW)			
	2010	2020	변화율
바이오	0.076	0.076	-
지열	0.049	0.071	+45%
수력	0.038	0.044	+18%
태양광	0.381	0.057	△85%
육상풍력	0.089	0.039	△56%
해상풍력	0.162	0.084	△48%

자료 : IRENA(2021), "Renewable Power Generation Costs 2020"

- (②건설비용의 감소) '20년 글로벌 해상풍력의 건설비용은 \$3,185/kW로 해상풍력 프로젝트가 해안으로부터 점점 멀어지고 깊은 수심에서 진행되면서 건설비용이 급격히 증가했던 '11년부터 '14년 사이의 평균 건설비용인 \$5,127/kW에 비해 37.9% 감소하는 등 비용의 감소세가 이어지는 중
 - 비용하락의 주요 원인 : 제품 설계의 표준화 및 규모의 경제, 향상된 터빈의 설계, 안정적인 정부의 정책적 지원 등

〈그림 10〉 해상풍력 건설비용 추이



〈표 3〉 주요국의 건설비용(가중평균) 변화율

(단위 : USD/kW)			
	2010	2020	변화율
중국	4,476	3,001	△33.7%
일본	4,935	4,959	+0.5%
벨기에	6,113	3,422	△44.0%
독일	6,504	4,143	△36.3%
덴마크	3,303	2,963	△10.3%
영국	4,588	4,552	△0.8%

자료 : IRENA(2021), "Renewable Power Generation Costs 2020"

□ 국내 해상풍력 산업은 해외와의 기술격차, 실증경험의 부족, 국내 시장의 협소 등으로 국제적으로 경쟁력이 열위인 상황

- 국내 풍력터빈 제조사는 4~5MW급 수준의 상용 풍력터빈을 개발 완료하였고, 현재 두산중공업·유니슨이 8MW급을 개발 중이나 해외 대비 기술격차가 존재

〈표 4〉 주요 국가별 풍력 발전 기술수준 비교

구분	상대수준(최고수준 : 100%)					기술격차(최고수준 : 0년)				
	유럽	미국	일본	한국	중국	유럽	미국	일본	한국	중국
풍력발전시스템(터빈) (8MW기준)	100%	95.3	95.6	83.8	80.1	0	0.39	0.37	1.36	1.67
풍력단지	100%	88.3	83.5	72.5	73.5	0	0.98	1.38	2.31	2.22
운영·계통연계	100%	96.7	95.9	88.0	88.0	0	0.28	0.34	1.01	1.01

자료 : 한국풍력에너지학회(2018), “국내외 풍력발전산업 및 기술개발 현황”

- 타워 및 단조 부품의 경우 세계시장 점유율 상위권을 차지하고 있으나, 블레이드, 증속기, 대용량 발전기 등의 경우 핵심부품의 설계 및 엔지니어링 원천 기술 경쟁력이 취약하며 수출실적이 거의 없음

〈표 5〉 풍력터빈 제조사 현황

대표기업	주요 내용
두산중공업	- 정격출력 3MW 및 5.56MW 풍력터빈 개발 - 대형 해상풍력용 8.00MW 터빈 상용화 준비 중('22.6월) - 탐라 해상풍력단지(국내 최초 상업 풍력단지, 30MW) - 서남해 해상풍력 실증단지('19년, 60MW)
유니슨	- 정격출력 750kW, 2.3MW, 4.2MW 풍력터빈 개발 8.0MW급 풍력터빈 발전기 개발 중 - 영광(79.6MW), 정암(32.2MW) 등에 풍력 발전단지 건설 중
효성중공업	정격출력 750kW, 2MW, 5.5MW 풍력터빈 개발
한진산업	- 정격출력 750kW, 2MW 풍력터빈 개발 - 저풍속형 4MW급 다중등급 풍력터빈 개발

자료 : 선박해양플랜트연구소(2020), “에너지전환을 위한 해양재생에너지 기술개발 동향” 내용 재구성

〈참고 1〉

국·내외 풍력 발전 기술수준 비교

국·내외 풍력발전시스템 기술수준			
터빈용량	국내기관	해외기관	기술수준 비교
8MW급	- 기업 : 두산중공업, 효성, 유니슨 - 연구소 : 한국기계연구원, 한국에너지기술연구원 - 대학교 : -	- 기업 : VESTAS(덴), SIEMENS(독), ALSTOM(프), XEMC Darwind(독) - 연구소 : Fraunhofer(독), ECN(네), Capapult(영) - 대학교 : DTU(덴)	- 기술격차 : 1.4년 - 기술수준 : 84%
12MW급	- 기업 : - - 연구소 : 한국전기연구원 - 대학교 : 울산대학교, 창원대학교	- 기업 : GE(미) - 연구소 : - - 대학교 : DTU(덴), Strathclyde(스), TUDelft(네)	- 기술격차 : 5년 - 기술수준 : 60%

자료 : KETEP(2020), “제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵 풍력”

국·내외 풍력 핵심부품 기술수준			
부품	국내기관	해외기관	기술수준 비교
초대형 블레이드	- 기업 : 휴먼컴퍼지트 - 연구소 : KIMS, KIER, KARI, KRISS, KCTECH - 대학교 : 서울대, KAIST, 강원대, 제주대, 경상대	- 기업 : VESTAS(덴), SIEMENS(독), LM, TPI, SINOMA, AEOLON - 연구소 : Fraunhofer(독), NREL - 대학교 : DTU(덴), TUDelft(네)	- 기술격차 : 3년 - 기술수준 : 85%
동력 전달계	- 기업 : CS Bearing, 효성, 신라정밀, 중앙카프링, 상신브레이크, 두산모트롤 - 연구소 : KIMM, KAITECH, KIMS - 대학교 : 연세대, KAIST, 경상대, 중원대, 부산대	- 기업 : Rolix(프), Kaydon(미), Timken Center(미), KTR(독), Svendborg(덴) 등 - 연구소 : NREL(미) - 대학교 : CHALMERS(스), MIT(미)	- 기술격차 : 5년 - 기술수준 : 70%
전기부품	- 기업 : 현대중공업, 유니슨, 보국전기, 플라스포 - 연구소 : 한국전기연구원 - 대학교 : 연세대, 광운대, 부산대, 세종대	- 기업 : ABB(독), Siemens(독), GE(미) - 연구소 : - - 대학교 : TUDelft(네), Strathclyde(영), Edinburg(영)	- 기술격차 : 4년 - 기술수준 : 40%

자료 : KETEP(2020), “제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵 풍력”

Ⅲ. 부유식 해상풍력 발전의 특징 및 동향

- 부유식 해상풍력은 기존 풍력발전기(로터, 나셀, 타워)외 부유식 구조물, 계류 시스템, Dynamic Cable이 추가 구성
 - 풍력발전기를 해저면에 고정하는 고정식 대비 수심 및 해저면 형태의 영향을 상대적으로 덜 받으며, 우수한 풍향으로 발전설비 이용률이 고정식 대비 약 15~25% 더 높음
 - 부유식 구조물의 형태에 따라 반잠수식(Semi-Submersible), TLP(Tension Leg Platform), Spar 등으로 분류됨

〈그림 12〉 부유식 구조물의 종류 및 장단점

종류	반잠수식(Semi-Submersible)	TLP(Tension Leg Platform)	Spar
용량	5~10MW	5~10MW	5~10MW
수심	40~50m	50~60m	80~100m
장점	· 얕은 수심에 설치 가능 · 육지에서 조립 가능 · 계류 설치비용이 낮음	· 낮은 질량으로 생산비용 低 · 육지에서 조립 가능 · 높은 안정성	· 직렬구조의 간단한 구조 · 낮은 설치계류 비용 · 안정된 구조로 파동을 덜 유발
단점	· 복잡한 구조로 생산비용 高 · 가공이 어려움 · 파동에 의한 움직임이 큼	· 실증 경험이 적음 · 앵커링 설치 및 유지보수가 복잡 · 앵커링 및 계류시스템의 높은 하중	· 해안내 조립·유지보수가 제한적 · 깊은 수심이 필요 · 설치시 대형 리프트 크레인 필요
개념도			

자료 : 한국석유공사(2021), “에너지계의 게임 체인저 부유식해상풍력” 내용 재구성

□ 고정식 해상풍력 대비 부유식 해상풍력은 풍황이 우수한 지역내 개발 가능, 낮은 설계비용과 해체비용 등의 장점 보유

- (동일한 설계) 부유식 해상풍력은 단지 내 모든 부유식 플랫폼에 대하여 동일한 설계가 가능하여, 설계비용이 상대적으로 적게 들고 양산에 의한 제작비용 절감이 가능
- (우수한 풍황) 부유식은 수심이 깊고 풍황이 우수한 지역에 개발이 가능하여 연간 발전량이 고정식 대비 우수함
- (낮은 해체비용) 고정식은 해체시 임대비용이 높은 작업 바지가 필요한 반면 부유식 해상풍력은 계류선(Mooring Line)만 해체하면 예인선을 이용하여 해체가 가능

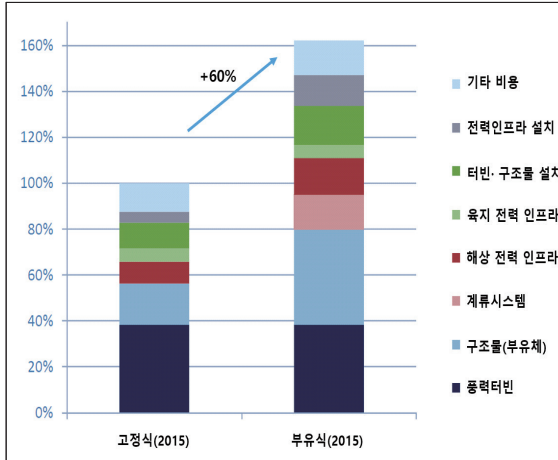
□ 부유식 해상풍력의 건설비는 고정식 대비 약 60% 높으며, 경쟁력 확보를 위해서는 계류시스템 및 부유시스템에 대한 기술력 확보가 중요

- 부유식 해상풍력은 고정식 해상풍력 대비 구조물 제작비와 설치비는 낮은 반면 계류시스템 설치 등이 필요하여 총 건설비는 약 60% 더 소요
 - 수심이 깊을수록 기초비용이 증가하는 고정식 대비 부유식 해상풍력의 구조물 (Foundation) 제작비용은 작아지나, 계류시스템 비용의 추가로 총 비용은 높음
 - 고정식 해상풍력은 고중량의 풍력터빈 및 하부구조물 설치를 위해 고가의 임대비용*이 드는 전문 설치선을 포함한 다수의 선단이 필요하지만, 부유식 해상풍력은 예인선의 이용이 가능하여 설치비용 경감 가능

* 고정식 해상풍력 하부구조물 전문설치선박 임대비 : 150~500 천Euro/일⁵⁾

5) 한국건설기술연구원, 수심 100m 내의 부유식 해상풍력 플랫폼 기술개발 기획 연구, 2017

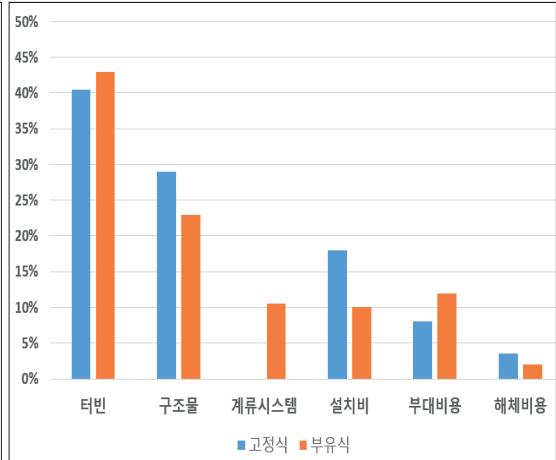
〈그림 13〉 고정식 및 부유식 풍력 건설비 비교



주 : 800MW용량급 비교

자료 : TKI Wind op Zee(2016) 자료 재구성

〈그림 14〉 고정식 및 부유식 풍력 CAPEX 비교



자료 : Carbon Trust(2015) 자료 재구성

- (계류시스템) 부유식 해상풍력은 부유체에 설치된 풍력터빈에서 발전을 하는 방식으로 부유체와 연계된 해저 계류시스템에 대한 기술력 확보가 필요함
 - 계류시스템은 부유체가 일정한 범위를 벗어나지 않도록 제어하는 역할을 하며, 계류선과 앵커링으로 크게 구성됨
 - 해저면 특징과 부유체 개념에 따라 신뢰성 있는 계류시스템이 필요하며, 계류시스템에 대한 실증 없이 대규모 해상단지 적용 계획시 많은 위험이 발생

〈표 7〉 국내외 계류시스템 기술 동향

국내기관	해외기관
• 부유체 설치 시공 및 운반 기술 개발 국책과제 진행 중 • 국내 조선사에서는 계류시스템 시공 경험은 있으나 풍력발전에 대한 경험 부재	• 주로 드래그앵커와 체인을 이용한 무어링라인을 통해 계류시스템 구성 • 반잠수식과 함께 TLP 등의 부유체 개념을 검토 중

자료 : KETEP(2021), "2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 풍력"

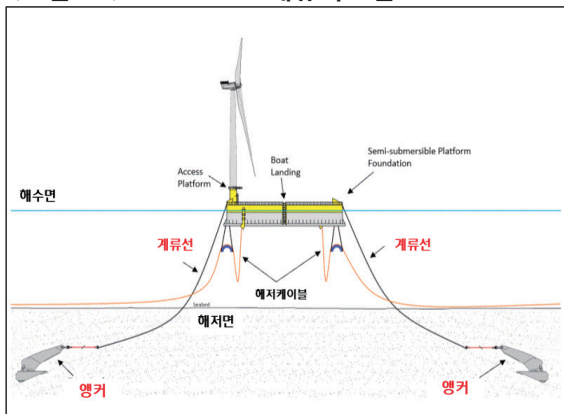
- (부유시스템) 부유체는 BOP(Balance of Plant)의 상당 부분을 차지하며, 부유체 경쟁력이 부유식 풍력발전시스템의 경쟁력을 좌우함
 - 파력 및 풍력에 의하여 최소의 동요 운동 응답과 높은 발전 효율을 보장할 수 있는 초대형 부유체가 필요

<표 8> 국·내외 부유체 기술 동향

국내기관	해외기관
750KW급 부유식 해상풍력 실증 프로젝트 개발 완료(마스텍중공업) 8MW급 부유식 해상풍력 실증 프로젝트 진행 중(두산중공업)	- Hywind : Equinor(노)사, '09년 2.3MW 실증, '17년 30.0MW 상업 단지 - WindFloat : PPI(프)사, '11년 2.0MW 실증, '20년 49.5MW 상업 단지

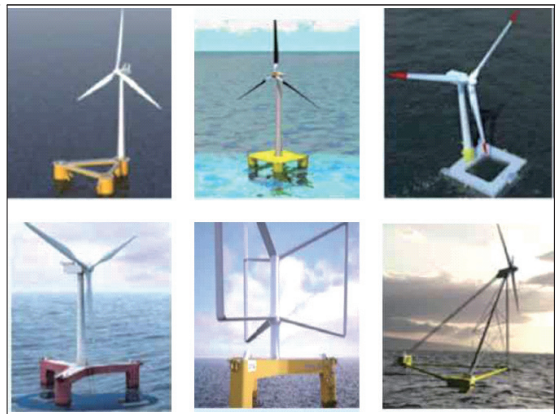
자료 : KETEP(2021), "2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 품력"

〈그림 15〉 계류시스템



자료 : Energyfacts 내용 재구성

〈그림 16〉 다양한 부유체 개념



자료 : KETEP(2021)

- 우리나라는 부유식 해상풍력 기술을 탄소중립 실현을 위한 주요 과제로 계획하고 있으며, 글로벌 경쟁력을 보유한 조선해양 및 해저케이블 분야와 시너지 창출 모색 중
- 정부는 '21.12월 발표한 「2050탄소중립 에너지기술 로드맵」을 통해 계류시스템 및 다이내믹 케이블 개발, 부유체 경쟁력 확보를 위한 기술 개발 노력 중
 - 계류시스템 : 기술개발(~'25년), 혁신형 기술 실증(~'50년)
 - 다이내믹 케이블 : 기술개발(~'25년), 신뢰성 확보(~'40년)
 - 부유체 : 신개념초대형 부유체 기술개발(~'30년), 실증(~'40년)
- 조선해양 분야에서 숙련된 고급인력이 많아 풍부한 노동력을 보유하고 있으며, 부유체, 계류시스템, 해저케이블 등 다수의 부품이 국산화돼 있어 경쟁력 확보가 용이함
 - 부유체(현대중공업 등), 계류시스템(국내 조선사), 해저케이블(LS산전)

- 부유식 해상풍력 종주국인 영국 등 개발경험이 있는 국가가 전 세계에서 6개국에 불과하고, 아직 초기 개발단계이기 때문에 빠른 추격이 가능

〈표 9〉 국내 부유식 해상풍력 발전 프로젝트

프로젝트	용량(MW)	개발사	운전개시연도(전망)
문무바람	1,400	Shell, CoensHexicon	2025
울산 반딧불	804	Equinor	2026
울산 귀신고래	1,500	GIG, TotalEnergies	2026
Korea Floating Wind	1,200	Ocean Winds, Aker Offshore Winds	2026
해울이	1,500	CIP, SK E&S	2025
동해1	200	한국석유공사,Equinor	2026

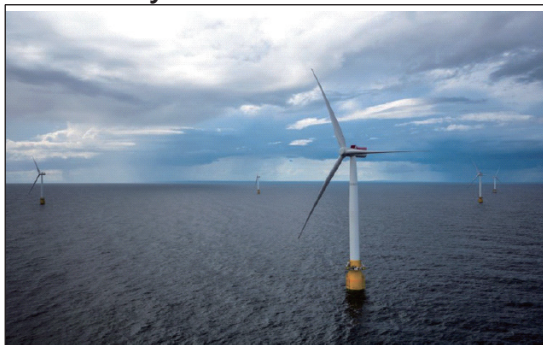
자료 : “부유식 해상풍력 국제포럼 2021” 내용 재작성

<참고 2>

해외 부유식 해상풍력 대표 프로젝트

- **[Hywind]** Equinor(노)사가 참여하여 가장 먼저 준상용화에 진입하였고, '17년부터 30MW규모 단지 운용 중
 - Hywind는 Spa식 모델로 '01년 개념을 제안하여 '05년 축소모형시험 수행, '09년 Hywind Demo(노) 프로젝트로 2.3MW급 부유식 해상풍력터빈 실증 수행
 - '17년 세계 최초의 준상용화 부유식 풍력 발전단지인 Hywind Scotland 프로젝트 구축하였고 '22년까지 88MW급의 Hywind Tampen 프로젝트를 노르웨이 북해에 구축 예정
- **[WindFloat]** Principle Power(프)사가 참여하여 '11년 2MW급 실증 운용 이후 '20년에 25MW급 준상용화 발전단지 구축
 - WindFloat는 반잠수식(Semi-Submersible) 모델로 '03년 개념을 제안하여 '08년 축소모형수행, '11년 WindFloat Demo 프로젝트로 2MW급 부유식 해상 풍력터빈 실증 수행
 - '20년에 준상용화 발전단지인 WindFloat Atlantic 프로젝트를 구축하였으며 향후 MHI Vestas사의 9.5MW~10MW급 풍력터빈을 적용하여 WindFloat KOWL 프로젝트(50MW)와 Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion(EFGL) 프로젝트(30MW) 구축 예정
- 이외에도 일본, 프랑스, 스페인 등에서 다수의 2~5MW급 부유식 해상풍력이 실증연구 완료되거나 진행 중임

Hywind Scotland 30MW



자료 : Power Technology

WindFloat Atlantic 25MW



자료 : MHI Vestas Offshore

참고문헌

[국문자료]

- 김경환(2020), “에너지전환을 위한 해양재생에너지 기술개발 동향”, 선박해양플랜트 연구소
- 나덕주(2010), “왜 해상풍력 에너지를 선호하는가”, 한국과학기술정보연구원
- 부유식 해상풍력 국제포럼(2021) 발표 자료
- 산업통상자원부(2021), “2050 탄소중립 에너지기술 로드맵”
- 장기윤(2019), “부유식 해상풍력발전, 재생에너지 정체 돌파구 될까?”, 포스코경영연구원
- 전자신문(2021), “[산업리포트] 그린뉴딜 핵심, 해상풍력”
- 한국건설기술연구원(2017), “수심 100m 내외 부유식 해상풍력 플랫폼 기술개발 기획 연구”
- 한국과학기술기획평가원(2019), “부유식 해상풍력기술 실증프로젝트”
- 한국무역진흥공사, <http://kotra.or.kr>
- 한국석유공사(2021), “에너지계의 게임 체인저 부유식해상풍력”
- 한국에너지기술평가원(2020), “제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵 풍력”
- _____ (2021), “2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 풍력”
- 한국풍력에너지학회(2018), “국내외 풍력발전산업 및 기술개발 현황”
- 한국풍력산업협회, <http://kweia.or.kr>

[영문자료]

- Carbon Trust(2015), “Floating Offshore Wind: Market and Technology Review”
- Energy Facts, <http://www.energyfacts.eu>
- GWEC(2021), “Global Offshore Wind Report 2021”
- _____ (2021), “Global Wind Report 2021”
- IRENA(2021), “Renewable Power Generation Costs 2020”
- MHI Vestas Offshore, <http://www.mhivestasoffshore.com>
- Power Technology, <http://www.power-technology.com>
- TKI Wind op zee(2016), “Market study floating wind in the Netherlands”