

2025년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

신재생에너지핵심기술개발

- 풍력 -

목 차

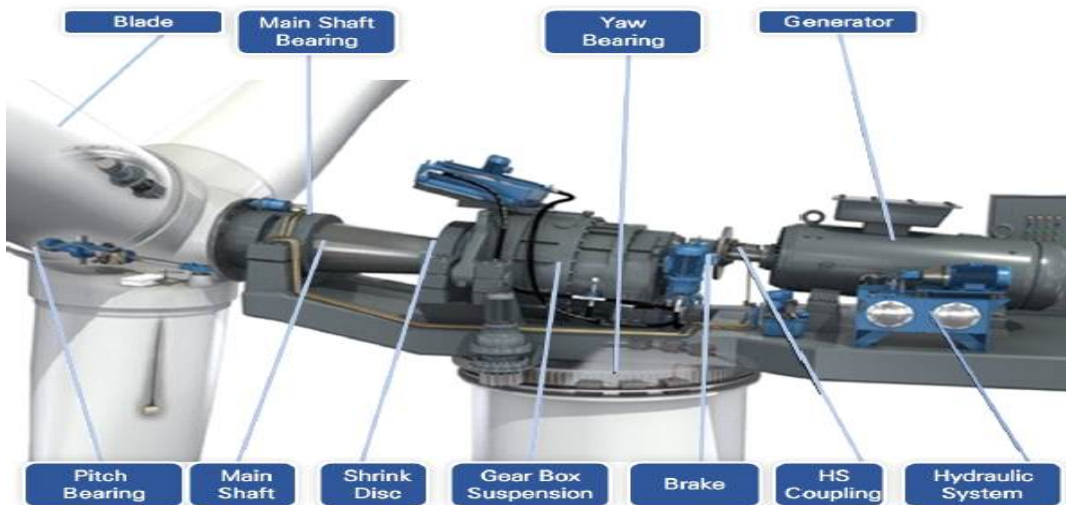
I . 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II . 기획대상연구개발과제 도출	35
1. 연구개발과제기획 방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 RFP/기술개요서(연구개발과제기획이력서)	

1. 개요

□ 개념

○ (정의) 풍력발전시스템은 바람의 운동에너지를 기계적 운동을 거쳐 전기 에너지로 변환하는 장치로, 블레이드, 축구동계, 전력변환계로 구성

* (블레이드) 바람의 운동에너지를 회전운동으로 변환, (축 구동계) 블레이드의 회전 운동을 전력변환계로 전달, (전력변환계) 회전운동을 전기에너지로 변환



○ (범위) 풍력산업은 시스템 뿐 아니라 바람자원의 조사·분석을 통한 자원평가, 단지설계, 시스템 운송·설치·시공, 단지 운영 및 유지 보수, 계통연계, 시스템 및 프로젝트 인증 기술 등을 포함하는 종합 엔지니어링 산업임

< 풍력 Supply-Chain >

자원평가/단지설계	핵심 부품	시스템	운송/설치/시공, 계통연계	운영·유지보수
				
풍황 자원을 평가하고 이를 활용하여 풍력단지 설계 등을 수행	블레이드, 발전기, 전력변환기, 및 피치/요 시스템 등 시스템 구성 부품	바람으로 전력을 생산하는 시스템의 설계 및 제작 기술	육상 및 해상에 풍력발전기를 운송/설치/시공하여 계통연계 수행	상업운전 중인 풍력발전단지를 운영하고 유지·보수하는 기술

□ 주요이슈

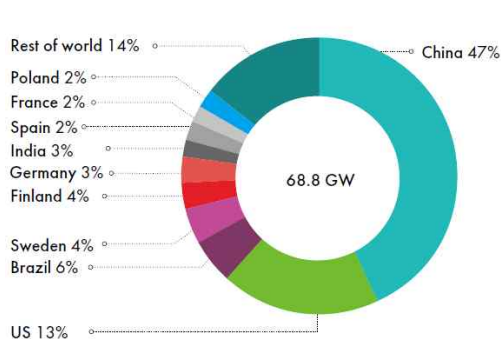
- (산업 현황) 국내 풍력산업은 입지 규제, 주민수용성 이슈 등으로 단지 구축이 지연*되고, 좁은 국내 시장에 외산 터빈이 진출함에 따라 어려움을 겪고 있음
 - * 탐라해상풍력 : 11년 소요('06년 발전사업허가 → '17.11 종합준공)
 - * 서남해해상풍력 : 계획대비 1단계 용량 축소(100MW→60MW), 5년 지연
- 협소한 내수 시장으로 규모의 경제에 의해 가격 경쟁력이 외산에 밀려 수주 물량이 적어지는 악순환이 반복되어 국내 산업 생태계가 취약해짐
 - (시스템사) 시스템 개발 시 가격, 신뢰성 문제로 국산 부품 사용을 주저하고 있어 해외 제품 채택
 - (부품사) 시스템사의 소량 발주로 높은 단가를 형성하게 되고, 외산 부품과의 경쟁 입찰로 단가 인하 압박을 받아 풍력 사업 포기
- (차세대 기술) 미래 시장 선점하기 위해 해외 대비 낮은 기술·가격 경쟁력을 극복할 수 있는 차세대 기술 확보 및 사업화 전략이 필요함
 - 유럽은 부품의 수직 계열화 및 대량 생산 체계를 갖춰 단가 절감 중이나, 국산 터빈은 프로젝트 수주 기반 물량 발주* 중으로 가격 경쟁력 취약
 - * 연간 계획생산·양산생산 체제가 아닌 수주 후 제작하는 방식
 - 미래에 확산될 것으로 예상되는 부유식 해상풍력 시장과 초대형, 초장수명 등 차세대 기술의 선제적 확보를 통한 기술 도약과 새로운 사업화 전략이 필요함
- (부품기업 육성) 국산 제품의 가격 경쟁력을 강화하고, 국내 산업의 기술 자립을 위해 고부가가치 핵심부품의 국산화 추진 필요
 - 핵심 부품(발전기, 기어박스, 블레이드, 베어링 등)을 해외에서 수입하여 조립하는 형태로 국산이 가격 경쟁력 열위에 있으므로 육성 필요
- (단지 확대) 주민 수용성, 인허가 등의 문제로 내수시장 확대에 어려움을 겪고 있어 대규모 풍력 단지 개발을 위한 기반 기술 마련 필요
 - 단지개발 시 민원해결은 사업주체(발전사업자)가 해결하는 구조이며, 육상풍력은 산림훼손, 해상은 어업권 축소 등 환경 관련 다양한 갈등 요인이 존재하고 있어 주민 수용성 개선을 위한 기술적 솔루션 필요

- 해상풍력단지의 경우 해저케이블 설치 시 투입되는 비용은 단지 전체 시공비용의 8~10% 정도에 불과하나, 운영 중 사고의 80% 이상이 해저케이블로 인해 발생되며, 수리비용도 다른 경우보다 상당히 큰 편에 속함
- (LCOE 저감) 해상풍력을 중심으로 풍력단지 개발이 확대되고 있으나 국내 LCOE가 줄어들고 있지 않아 산업공급망 구축과 함께 비용저감 기술개발이 필요함
 - 부품 국산화, 엔지니어링 기술 혁신, 신개념 부유체 개발 등 필요

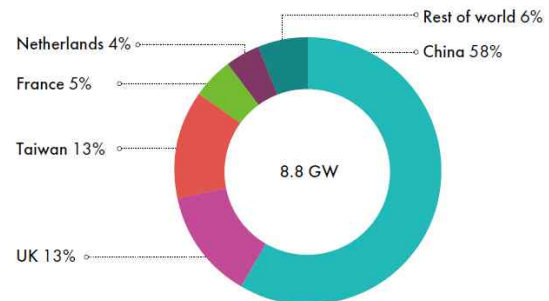
2. 산업·기술 동향

□ 해외 동향

- (세계 시장 동향) 세계풍력 누적설치량은 22년말 906GW에 달함. 이 중 해상풍력은 64GW로 7% 수준임. 22년 신규 설치량은 68.8GW(육상), 8.8GW(해상)임.
 - 최근 10년간 연평균 성장률은 11%에 달함. 앞으로 5년간 연평균 성장률은 15%로 예상됨. 해상풍력 신규 설치 비중은 27년도에 23%로 확대됨.
 - 세계 풍력 수요는 육상풍력이 압도적 비중을 차지하고 있으나, '13년 이후 해상풍력 보급이 꾸준히 확대 중
 - (시장점유율) 현재 풍력시장은 중국과 중국의 시장으로 구분됨. 중국 시장은 전체 22년 신규 시장의 47%(육상), 58%(해상)을 차지함.



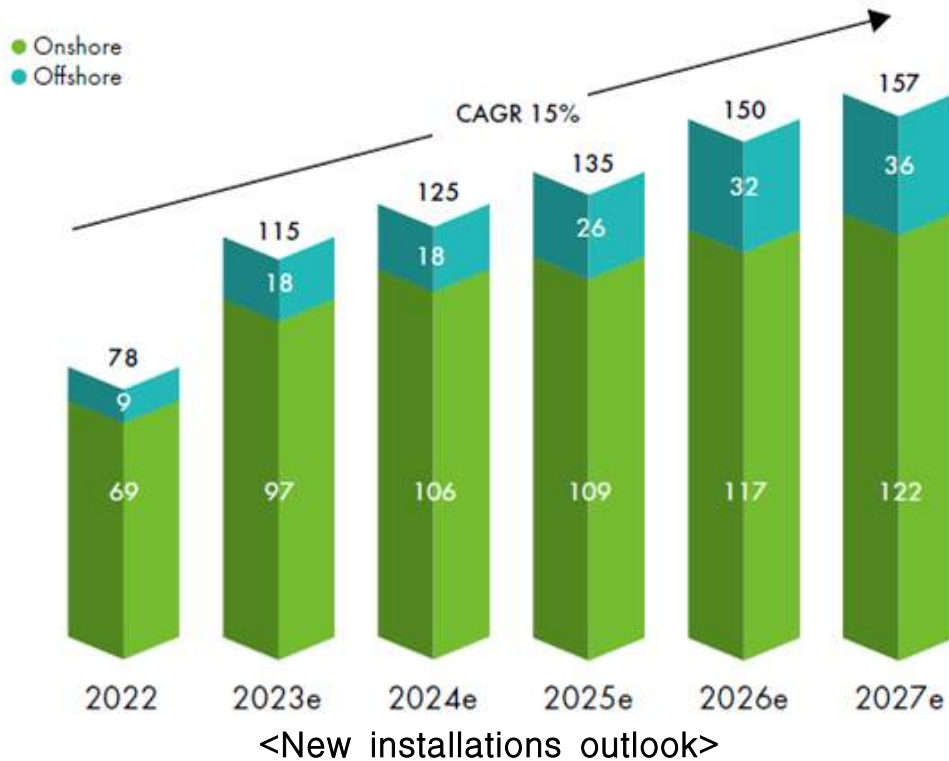
◁22년 육상풍력 신규설치▷



◁22년 해상풍력 신규설치▷

* Global Wind Report 2023, GWEC

- (시장전망) 세계 풍력시장은 지난 10년간 평균 약 11%의 성장 중이며, 향후 5년간('23~'27) 평균 15% 성장, 매년 대략 100GW 이상의 신규설치가 진행될 것으로 예상



* Global Wind Report 2023, GWEC

- (발전단가) '18년 기준, 육상풍력 LCOE*(에너지균등화비용)는 47.38USD/MWh(중국), 59.23USD/MWh(미국), 71.07USD/MWh(유럽)이며, 해상풍력은 106.63USD/MWh(중국), 100.7USD/MWh(미국), 99.52USD/MWh(영국)임

* 발전에 들어간 총 비용을 발전량으로 나눈 것으로 발전원가 의미

** Final Report Cost of Energy(LCOE), Trinomics, 2020

- (기술개발 현황) GE Renewable Energy는 12MW급 초대형 터빈을 상용화하였고 이를 13MW에 이어 14MW로 업그레이드함. Siemens Gamesa는 2024년 풍력발전 시장을 겨냥하여, 2022년까지 직접구동형 방식의 로터 직경 222m의 14MW급 초대형 터빈을 개발함. Vestas는 세계 최대 용량인 로터 직경 236m의 15MW 터빈을 2024년 상용화 목표로 개발 중에 있음.

<글로벌 주요 연구그룹>

그룹명	국가/기관명	연구내용
Wind & Water Power Research Group	영국/CREST	풍황자원평가 모델링기술, 후류효과 영향성 모델링상태 감시 기법
Offshore Renewable Energy	영국/Catapult	해상풍력 기술 연구, 블레이드, 드라이브트레인, 나셀, 고압전기시스템 테스트
National Wind Technology Center	미국/NREL	정책 및 투자 결정 지원, 육해상풍력 설계 틀 및 규격, 신뢰성 테스트 수행
Fraunhofer IWES	독일/Fraunhofer IWES	풍력 테스트(Drivetrain, 부품&소재, 나셀, 기초구조물), 해상풍력 운전환경평가, 풍력 기술지원 (협력연구 형태)
Wind Energy	네덜란드/ECN	기술이전, 테스트/측정 및 분석, offshore wind 비용 40% 감소 연구
DTU Wind energy	덴마크/Risø DTU	공력설계, 복합재연구, 하중 및 제어 시스템, 원격 기상 데이터 측정 풍황자원, 구조 설계 테스트 및 측정

- 유럽과 중국은 신규 풍력발전기 설치 및 유지관리 경제성 제고를 위해 자력으로 승강이 가능하도록 한 풍력전용 크레인 장비를 개발하여 상용화하는 단계에 도달함
 - * 강제 풍력타워의 최대 허브(Hub) 높이는 166m까지 도달(덴마크, Vestas)
- 해상풍력 선진국에서는 공기단축, 경제성 향상을 위해 기초구조물의 제작 완료 후 즉시 설치가 가능한 프리파일링(pre-piling) 공법을 적용하고 있음
- 스페인은 신재생에너지 관제센터를 구축하여 신재생에너지 발전출력을 실시간으로 감시·제어하여 풍력발전설비 중 98.6%의 출력 값을 원격으로 수신하고 그중 96%를 15분 이내에 제어할 수 있음
- 풍력발전기 제어시스템 및 단지제어 시스템은 VESTAS社, SIEMENS社에서 세계 최고기술을 보유하고 있음
 - * VESTAS(덴마크) : Power and Load Optimized Mode, High Wind Operation 등 다양한 고성능의 제어알고리즘을 제공
 - * SIEMENS(독일) : Storm control, Multilevel SCADA Center 운영

□ 국내 동향

- (보급) '23년 말 풍력 전체 누적 설비용량 1,970.4MW*, 23년도 신규 설비용량 169.3MW**임
 - * 육상풍력 1,824.1MW / 해상풍력 146.3MW
 - ** 23년도 신규설치량은 모두 육상풍력임

- (시장) 입지 규제 및 주민수용성 이슈 등 개발 지연과 외산 터빈 내수 시장 진출로 인해 시장 상황 열악
 - 국내 풍력발전시스템의 트랙레코드 부족*으로 국제 경쟁 입찰 참여 제한
 - * 트랙레코드 : 풍력설비 공급 실적으로 해외 입찰의 경우 최소 100MW 공급·1년 운전 또는 50MW 공급·2년 운전 등 풍력발전단지 공급 실적을 입찰 시 요구

- (정책) 제10차 전력수급기본계획에 신재생에너지 비중을 30년 21.6%, 36년 30.6%로 정함. 태양광과 풍력의 비중은 21년도 92:8에서 36년 66:34로 조정하여 풍력의 비중을 높일 계획임.
 - (해상풍력 확대) 정부주도 입지발굴 및 인허가 간소화, 주민수용성 및 환경성 강화 등을 담은 해상풍력 발전방안 발표('20.7.)
 - * 주민과 함께하고, 수산업과 상생하는 해상풍력 발전방안('20.7.)
 - (공급망 강화 전략) 해상풍력 생태계 전반의 경쟁력 강화를 위해 “안정적인 해상풍력 단지 운영을 위한 기반 조성”, “보급 확대에 대비한 항만·선박 등 설치 인프라 구축 지원”, “해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화” 계획을 담은 재생에너지 보급확대 및 공급망 강화 전략 발표('24.05).
 - 제11차 전력수급기본계획 실무안('24.5.31)에서 2030년 18.3GW, 2038년 40.7GW로 풍력발전 보급을 전망함
 - 해상풍력 경쟁입찰 로드맵('24.8.8)에서는 `26년 상반기까지 약 7~8GW 수준의 해상풍력 입찰 공고 추진하고, 이 중 2.5~3GW는 부유식풍력 별도 입찰물량을 배정함

<정부 에너지 정책 풍력 분야 요약>

정책	관련 내용
해상풍력 발전방안 ('20.07)	·정부주도 입지발굴 및 인허가 간소화 ·주민수용성 및 환경성 강화 ·대규모 프로젝트 연계 산업경쟁력 강화
에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방안 ('22.11)	·2030년 태양광:풍력 비중 60:40로 조정 ·2030년까지 풍력 신규 보급량 1.9GW/년 ·재생에너지 분야의 국내 밸류체인 고도화
제10차 전력수급기본계획 ('23.01)	·2030년 재생에너지 발전량 비중 21.6% ·2036년 재생에너지 발전량 비중 30.6% ·2036년 태양광:풍력 비중 66:34로 조정
재생에너지 보급확대 및 공급망 강화전략 ('24.05)	·건강한 해상풍력 산업생태계 조성 - 해상풍력 생태계 전반의 경쟁력 강화 - 안정적인 해상풍력 단지 운영을 위한 기반 조성 - 보급 확대에 대비한 항만·선박 등 설치 인프라 구축 지원 - 해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화

<국내 주요 연구그룹>

그룹명	기관	연구내용
풍력연구팀	한국에너지기술연구원	시스템 통합 설계 기술, 단지 운영제어 시스템, 해상 풍력 단지 설계 기술, 성능 시험
풍력핵심기술 연구센터	한국재료연구원	블레이드 설계 프로그램 개발(터빈/블레이드), 감시/제어 성능평가 기반구축(블레이드, 핵심부품), 인력양성
차세대전력망 연구본부	한국전기연구원	제어시스템(풍력발전단지), 전장품 기술개발 지원
동남지역본부/정밀 가공제어그룹	한국생산기술연구원	피치/요 베어링 시스템 성능 및 특성 평가
시스템융합본부 기계안전기술센터	한국산업기술시험원	테스트 및 측정(풍력부품 내환경, 볼트 신뢰성등)
해양에너지연구본부	한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	부유식 해상풍력 설계 및 해석
심해공학연구센터	한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	부유식 해상풍력 수조 시험
다목적실증플랫폼 사업단	한국조선해양기자재연구원	부유식 해상풍력 시험 및 실증

- (기술) 정부의 지속적인 지원을 바탕으로 현재 두산중, 유니슨, 한진 등이 2~3MW급에서 4.2~5.5MW급 주력터빈의 규모를 키우며 국내 육상 풍력 시장에서 외산과 경쟁 중
- 개발된 국산제품의 트랙레코드 확보를 위해 육·해상 풍력단지 적용을 통한 기술개발 추진 중
 - * 국산풍력단지(육상): 영흥('13년, 46MW), 제주 가시리('13년, 15MW), 제주 동북('15년 30MW)
 - * 국산풍력단지(해상): 제주 탐라('16년, 30MW), 서남해 실증단지('19년, 60MW)
- (육상풍력) 최근 외산은 용량 큰 터빈으로 저풍속 입지 위주의 국내 시장을 공략하고 있으며, 국산 육상 터빈은 4MW급 개발 완료 및 개발중*
 - * 외산 : 3.45MW급(베스타스), 3.6MW급(지멘스), 4.2MW급(에너콘) 국내 진출 중
 - 국산 : '19년 4.2MW급(유니슨) 개발 완료, '23년 4.2MW급(한진) 개발·인증 완료 예정
- (해상풍력) 국산 해상풍력 터빈은 외산과의 경쟁이 본격화되고 있음.

<풍력 시스템업체 기술개발 연구개발성과 및 사업화 현황>

구분	용량	시스템 개발		사업화여부
		육상	해상	
두산 에너빌리티	8MW	-	○	진행중
	5.56MW	-	○	○
	3MW	○	○	○
	2MW	○	-	○
효성	5.5MW	-	○	-
	2MW, 750kW	○	-	-
유니슨	10MW	-	개발중	-
	4.2MW	○	○	○
	2.3MW, 2MW, 750kW	○	-	○
한진산업	4.2MW	○	-	-
	2MW	○	-	○
	1.5MW	○	-	-
선택	100kW	○	-	○

○ 베어링, 타워, 하부구조물 등 부가가치가 적은 일부 단조 제품만 해외수출 중

<풍력터빈 규모별 핵심부품 국산화 현황>

핵심부품	2~3MW급	5MW급	8MW급
블레이드	◎ (휴먼컴퍼지트)	○ (휴먼컴퍼지트)	△ (휴먼컴퍼지트)
증속기	○ (우림기계, 효성)	x	x
발전기	○ (효성)	◎ (현대중공업, 효성)	△ (유니슨)
전력변환기	◎ (현대플라스포)	x	△ (현대플라스포)
시스템	◎ (두산에너지빌리티, 효성, 유니슨, 한진산업)	○ (두산에너지빌리티)	○ (두산에너지빌리티)

◎: 상용화, ○: 개발완료, △: 개발 중, x: 개발예정, ()안은 국산화 업체명

< 풍력 부품업체 주요기업 현황 >

구분	대표기업	주요내용
타워	CS Wind	○ 전세계 풍력타워 시장점유율 상위권 유지 ('16년 6.5%, 약 3,000억원) - 캐나다, 중국, 베트남, 영국 등에 공장 건설 및 현지화 추진
베어링	신라정밀	○ 인도 Kenersys, 중국 Goldwind, 미국 GE 등에 공급 중 - 브라질시장 진출을 위해 상파울루에 제조공장 건설
단조부품	태웅	○ 전세계 풍력 타워플렌지 시장점유율 확대 중 - 세계 풍력터빈업체 Top10 등 400여 고객사 확보
블레이드	휴먼컴퍼지트	○ 국내 유일의 블레이드 제조업체 - 750kW, 2MW, 3MW, 5.5MW용 블레이드 제작, 8MW개발중
인버터	현대플라스포	○ 국내 유일의 중대형풍력발전용 전력변환장치 생산기업 - 750kW, 2MW급 인버터는 국내업체에서 적용했으나 현재는 생산 중단

3. 특허 동향

□ 국가별 특허 현황

- 풍력 분야는 중국 특허청에 출원된 특허가 총 50,326건으로 전체 특허의 57.7%를 차지해 가장 큰 비중을 보이고 있으며, 이어서 미국 10.1%(8,853건), 유럽 9.5%(8,255건), PCT 9.1%(7,961건), 한국 6.5%(5,685건), 일본 4.3%(3,727건) 순으로 나타났음
- 2003년 836건이었던 전체 특허 출원은 2018년 5,437건까지 꾸준한 증가세를 보였으며, 특히 2008-2011년 사이에 급격한 성장을 보여 2008년 2,699건에서 2011년 5,057건으로 증가했고 이후 2012-2017년 기간 동안 연간 4,000-6,000건 수준에서 안정세를 유지하고 있음
- 최근에는 2021년 6,784건, 2022년 6,512건으로 다시 증가세를 보이고 있는데, 이는 탄소중립 정책 강화와 해상풍력 등 신규 기술 분야의 확대에 기인한 것으로 파악됨
- 2003년까지는 미국, 유럽, 일본의 특허 출원이 주도적이었으나, 2008년을 기점으로 중국의 특허 출원이 급격히 증가하기 시작하였으며, 특히 2015년 이후 더욱 가파른 증가세를 보였음
- 이는 2015년 파리기후협약 참여와 13차 5개년 계획(2016-2020)에 따른 재생에너지 정책 강화, Made in China 2025 전략에 따른 자국 기술력 확보 노력이 복합적으로 작용한 결과로 판단됨

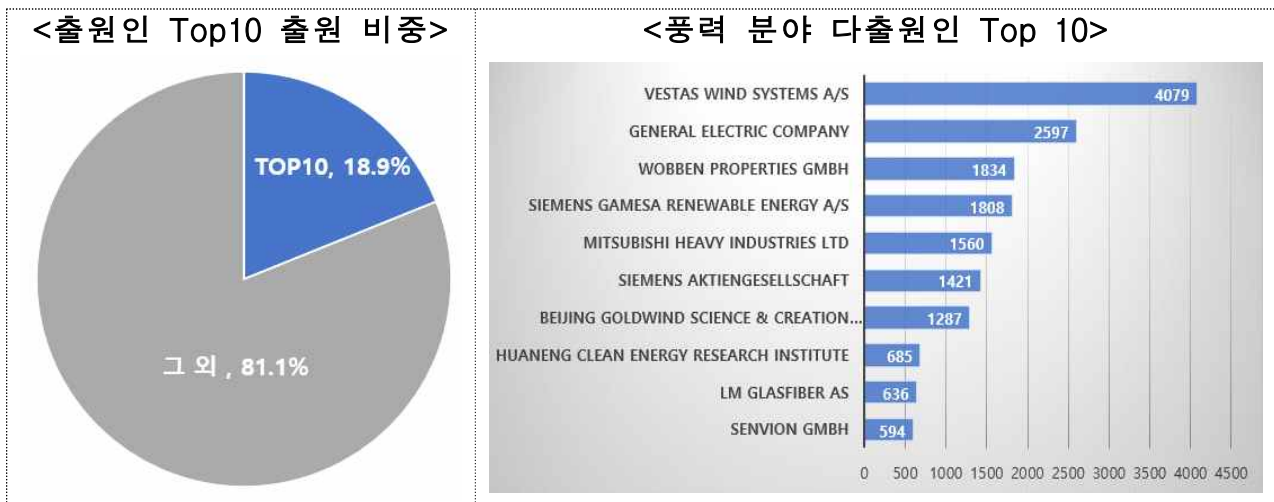


- 풍력 분야 전체에 대한 제1출원인 국적 현황을 보면 중국이 46,243건으로 전체의 53.0%를 차지하며 가장 높은 비중을 보였고, 이어서 덴마크 7,838건(9.0%), 독일 7,021건(8.0%), 미국 6,371건(7.3%), 한국 5,351건(6.1%), 일본 5,135건(5.9%) 순으로 나타남
 - 특히 주요 국가별 자국 시장에서의 특허 활동을 살펴보면, 한국 기업들은 자국 특허청 출원의 80.2%(4,561건)를 차지하며 가장 높은 자국 시장 집중도를 보였고, 일본 기업들도 자국 출원의 69.2%(2,580건)를 차지하며 높은 자국 시장 편중 현상을 보임
 - 반면 미국 기업들의 자국 시장 점유율은 34.0%(3,007건)로 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 미국 기업들이 글로벌 시장을 대상으로 활발한 특허 활동을 펼치고 있음을 시사함
 - 유럽의 경우, 덴마크와 독일 기업들이 유럽특허청 출원의 53.6%(덴마크 28.1%, 독일 25.5%)를 차지하며 유럽 시장에서 주도적인 위치를 보이고 있으며, 중국은 자국 시장 출원의 88.9%(44,764건)를 자국 기업이 차지하고 있어, 내수 시장 중심의 특허 활동이 이루어지고 있음
 - PCT 국제출원의 경우, 덴마크(23.6%), 독일(15.1%), 미국(10.6%) 순으로 높은 비중을 차지하고 있어 유럽 기업들이 글로벌 시장 진출을 위한 특허 전략을 적극적으로 추진하고 있음을 보여주며, 특히 덴마크와 독일 기업들의 PCT 출원 비중이 전체의 38.7%에 달하는 것은 이들 국가의 기업들이 풍력 발전 분야의 글로벌 기술 경쟁력을 확보하고 있음을 시사함
- 풍력 분야의 다출원인 Top 10을 살펴보면, 덴마크의 VESTAS WIND SYSTEMS A/S가 4,079건으로 가장 많은 특허를 출원했으며, 이어서 GENERAL ELECTRIC COMPANY(2,597건), WOBLEN PROPERTIES GMBH(1,834건), SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S(1,808건), MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD(1,560건) 순으로 나타났음
 - 상위 10개 출원인이 전체 특허에서 차지하는 비중은 18.9%로, 이는 풍력 발전 분야가 소수 대기업 중심의 과점적 시장 구조를 가지고 있음을 시사함

<풍력 분야 국가별 TOP 10 제1출원인 국가*>

전체			중국			유럽			일본		
국가명	건수	비중	국가명	건수	비중	국가명	건수	비중	국가명	건수	비중
중국	46,243	53.0%	중국	44,764	88.9%	덴마크	2,319	28.1%	일본	2,580	69.2%
독일	7,838	9.0%	덴마크	1,433	2.8%	독일	2,101	25.5%	독일	391	10.5%
덴마크	7,021	8.0%	독일	1,079	2.1%	미국	1,013	12.3%	미국	157	4.2%
미국	6,371	7.3%	미국	855	1.7%	스페인	625	7.6%	덴마크	129	3.5%
한국	5,351	6.1%	일본	405	0.8%	일본	568	6.9%	스페인	71	1.9%
일본	5,135	5.9%	스페인	340	0.7%	중국	242	2.9%	한국	62	1.7%
스페인	1,915	2.2%	한국	103	0.2%	노르웨이	164	2.0%	중국	44	1.2%
영국	1,081	1.2%	영국	103	0.2%	영국	153	1.9%	영국	42	1.1%
프랑스	599	0.7%	네덜란드	54	0.1%	프랑스	153	1.9%	대만	29	0.8%
캐나다	546	0.6%	노르웨이	40	0.1%	이탈리아	118	1.4%	노르웨이	29	0.8%
한국			미국			PCT			캐나다		
국가명	건수	비중	국가명	건수	비중	국가명	건수	비중	국가명	건수	비중
한국	4,561	80.2%	미국	3,007	34.0%	덴마크	1,879	23.6%	독일	556	29.6%
독일	307	5.4%	덴마크	1,749	19.8%	독일	1,201	15.1%	미국	358	19.1%
일본	253	4.5%	독일	1,376	15.5%	미국	842	10.6%	캐나다	225	12.0%
미국	123	2.2%	일본	508	5.7%	중국	751	9.4%	덴마크	172	9.2%
중국	83	1.5%	스페인	418	4.7%	일본	676	8.5%	일본	138	7.3%
덴마크	71	1.2%	중국	289	3.3%	한국	388	4.9%	중국	60	3.2%
스페인	55	1.0%	대만	166	1.9%	스페인	357	4.5%	스페인	47	2.5%
노르웨이	32	0.6%	캐나다	149	1.7%	영국	216	2.7%	영국	46	2.4%
영국	28	0.5%	한국	143	1.6%	네덜란드	145	1.8%	네덜란드	28	1.5%
프랑스	25	0.4%	영국	143	1.6%	프랑스	135	1.7%	노르웨이	27	1.4%
영국											
국가명	건수	비중									
영국	350	57.8%									
덴마크	86	14.2%									
네덜란드	43	7.1%									
미국	16	2.6%									
대만	16	2.6%									
아일랜드	12	2.0%									
독일	10	1.7%									
중국	10	1.7%									
일본	7	1.2%									
프랑스	7	1.2%									

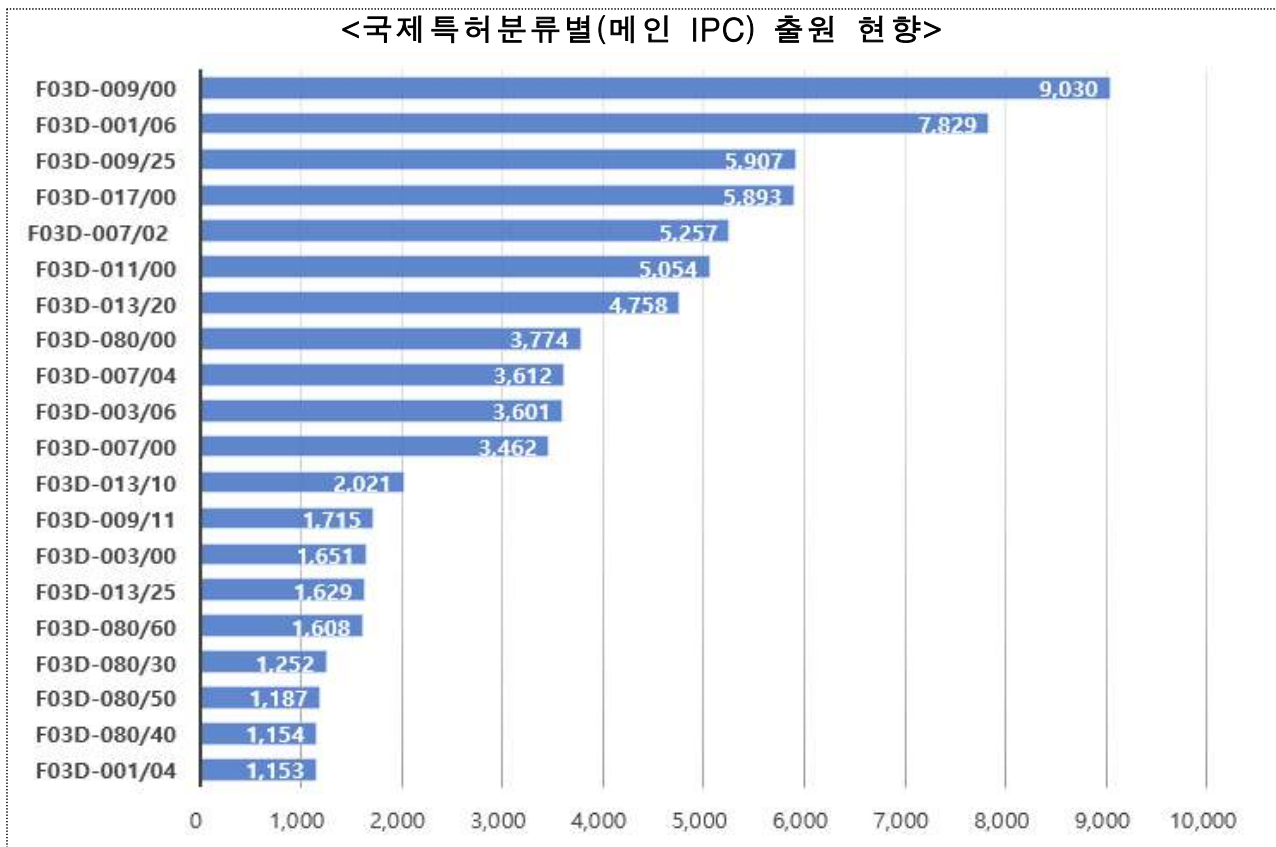
- 상위 10개 출원인 중 유럽 기업이 6개(VESTAS, SIEMENS GAMESA, WOBHEN, SENVION, LM GLASFIBER, SIEMENS)를 차지하고 있어, 유럽이 풍력 발전 기술을 주도하고 있음을 보여주며, 특히 1위 VESTAS와 3위 WOBHEN, 4위 SIEMENS GAMESA는 모두 유럽 기업으로, 이들 3사의 출원 건수 합계가 7,721건에 달해 전체 특허의 8.8%를 차지하고 있음
- 한편, 중국의 특허 출원이 전체의 57.7%를 차지하는 것에 비해, 중국 기업은 BEIJING GOLDWIND(1,287건)와 HUANENG CLEAN ENERGY RESEARCH INSTITUTE(685건) 2개사만이 TOP 10에 포함되어 있어, 중국의 특허 출원이 소수 대기업보다는 다수의 중소기업과 연구기관에 의해 분산되어 이루어지고 있음을 시사함
- 또한 중국 기업들의 특허 출원이 주로 자국 시장에 집중되어 있는 반면, 유럽과 미국 기업들은 글로벌 시장을 대상으로 특허 출원을 진행하고 있는 것으로 분석됨



- o 풍력 분야의 국제특허분류(메인 IPC 기준) 분석 결과, F03D-009/00(풍력발전기의 특수한 적응 관련) 코드가 9,030건으로 가장 많은 출원량을 보였으며, F03D-001/06(블레이드 구조/형상) 7,829건, F03D-009/25(풍력발전기의 전력 변환/제어) 5,907건, F03D-017/00(풍력발전기의 모니터링/테스팅) 5,893건, F03D-007/02(풍력발전기의 제어) 5,257건 순으로 나타남
- 상위 20개 IPC 분류를 기술 영역별로 분석해보면, 크게 풍력발전기의 기본 구조 및 설계 관련 기술(F03D-001/06, F03D-003/06 등), 제어 및

모니터링 기술(F03D-007/02, F03D-017/00 등), 전력 변환 및 계통 연계 기술(F03D-009/25, F03D-009/00 등)에 특허가 집중되어 있음

- 특히 F03D-080 시리즈(풍력발전기의 유지보수 및 부품 관련)와 F03D-013 시리즈(풍력발전기의 조립/설치/운송)의 비중이 높게 나타나 풍력발전 산업이 단순 발전 시스템 개발을 넘어 설치, 운영, 유지보수 등 전주기적 기술 개발로 확장되고 있음을 시사함
- 또한 제어 관련 기술(F03D-007 시리즈)의 출원이 다수를 차지하는 것은 풍력발전의 효율성과 안정성 향상을 위한 기술 개발이 활발히 이루어지고 있음을 보여주며, 모니터링/테스팅 관련 기술(F03D-017/00)의 높은 출원 비중은 스마트화, 디지털화되는 풍력발전 기술의 발전 방향을 반영하는 것으로 파악됨

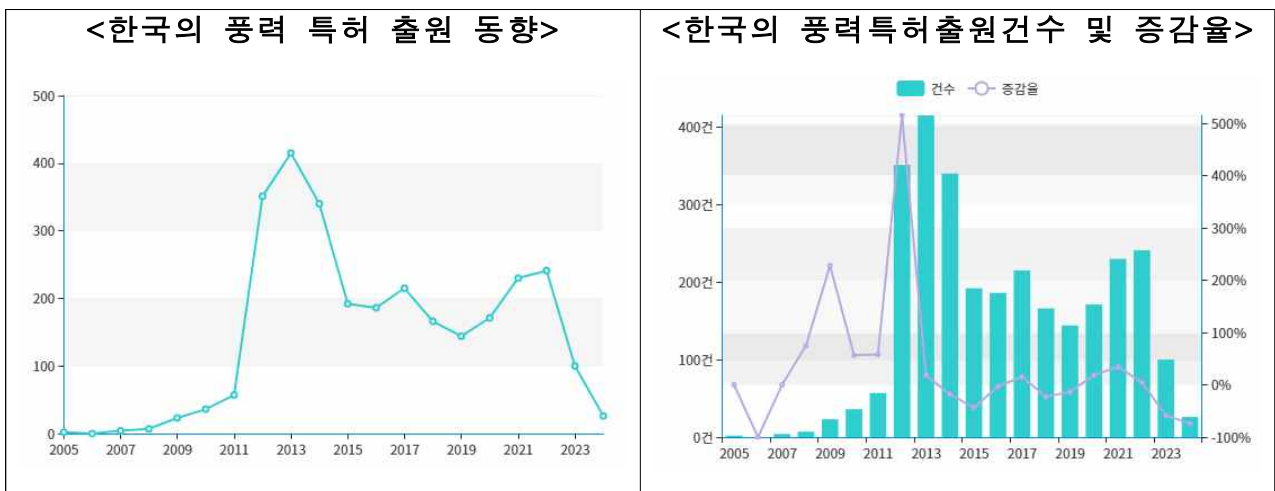


□ 한국 특허 현황

- o 한국의 최근 10년('14년 ~'24년) 특허 출원 동향을 살펴보면 2012년에 전년 대비 515.8% 증가한 351건을 기록하며 가장 큰 성장세를 보였고, 이어서 2013년에는 415건으로 최다 출원을 달성했다. 이는 2005년부터

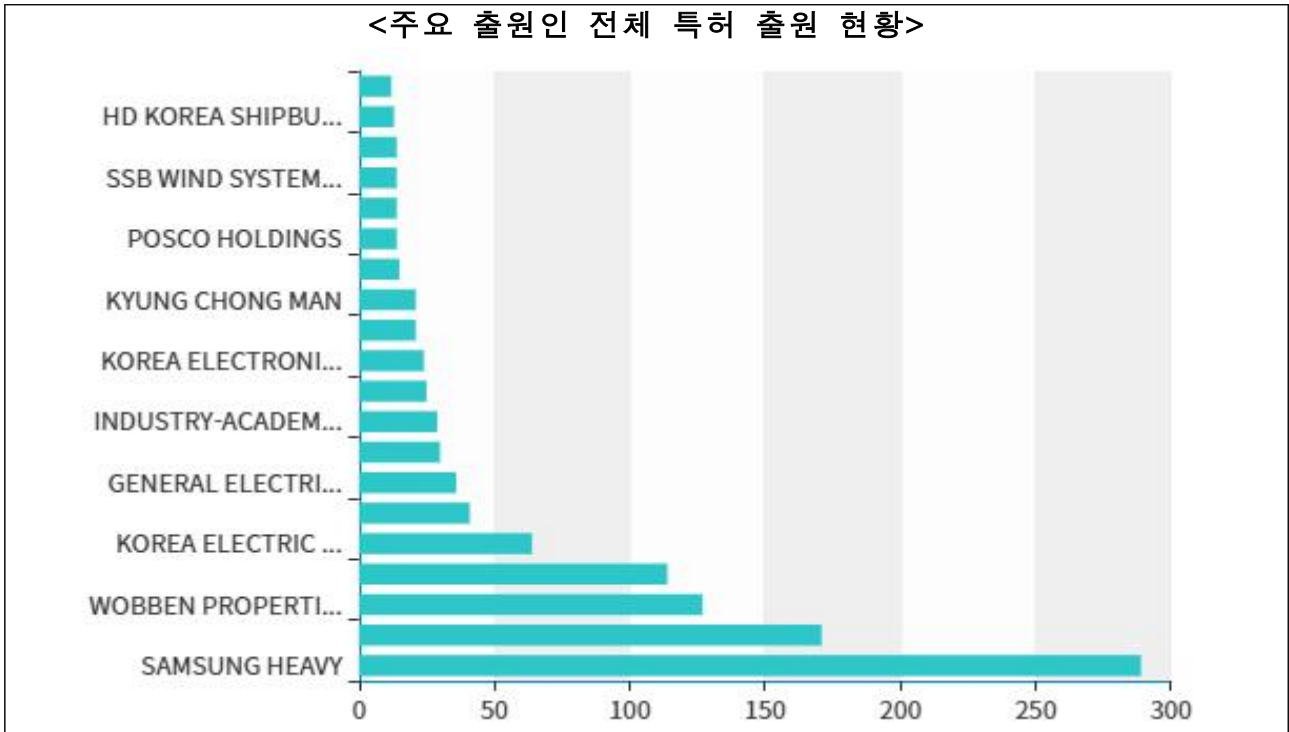
2011년까지 연간 60건 미만이었던 출원 규모가 급격히 성장한 것으로, 2008년 저탄소 녹색성장을 국가 비전으로 제시하고 2012년 RPS(신재생 에너지 공급의무화) 제도가 도입된 정책적 영향이 크게 작용한 것으로 분석됨

- 2014년부터 2015년까지는 전년 대비 각각 -18.1%, -43.5%의 감소세를 보이며 조정기에 진입했으며, 이후 2015년부터 2020년까지는 연간 150-200건 수준의 안정적인 출원량을 유지하였고, '14~'15년의 출원 감소는 육상풍력 적지 부족과 주민 수용성 문제로 인한 사업 추진의 어려움이 영향을 미친 것으로 파악됨
- 2020년 이후에는 다시 성장세로 전환되어 2021년 230건(34.5% 증가), 2022년 241건(4.8% 증가)을 기록했는데, 이는 그린뉴딜 정책 발표와 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향에 따른 해상풍력 중심의 대규모 프로젝트 추진이 영향을 미친 것으로 파악됨



- o 한국의 풍력 분야 주요 기업의 특허 출원 동향을 살펴보면, 삼성중공업이 289건으로 전체의 26.6%를 차지하며 가장 높은 출원 비중을 보였고, 두산에너빌리티 171건(15.7%), 워벤티프로퍼티스 127건(11.7%), 한화오션 114건(10.5%), 한국전력 64건(5.9%) 순으로 나타났음
- 상위 4개 기업의 출원이 전체의 64.5%를 차지하고 있어 출원이 소수 대기업에 집중되어 있는 특징을 보임
- 출원인 유형별로 살펴보면, 조선해양 분야 기업(삼성중공업, 두산에너빌리티, 한화오션)이 574건으로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 이는 국내 풍력 특허가 해상풍력 관련 기술을 중심으로 발전하고 있음을 시사함

- 또한 공공연구기관(한국에너지기술연구원, 한국해양과학기술원, 한국전자기술연구원 등)의 출원이 90건으로 집계되어, 기초 원천기술 확보를 위한 공공부문의 연구개발도 활발히 이루어지고 있음
- 해외 기업들의 경우, 워벤프로퍼티스(127건), GE리뉴어블스(36건), 베스트아스(30건) 등 글로벌 풍력발전 전문기업들의 국내 시장 진출이 두드러짐

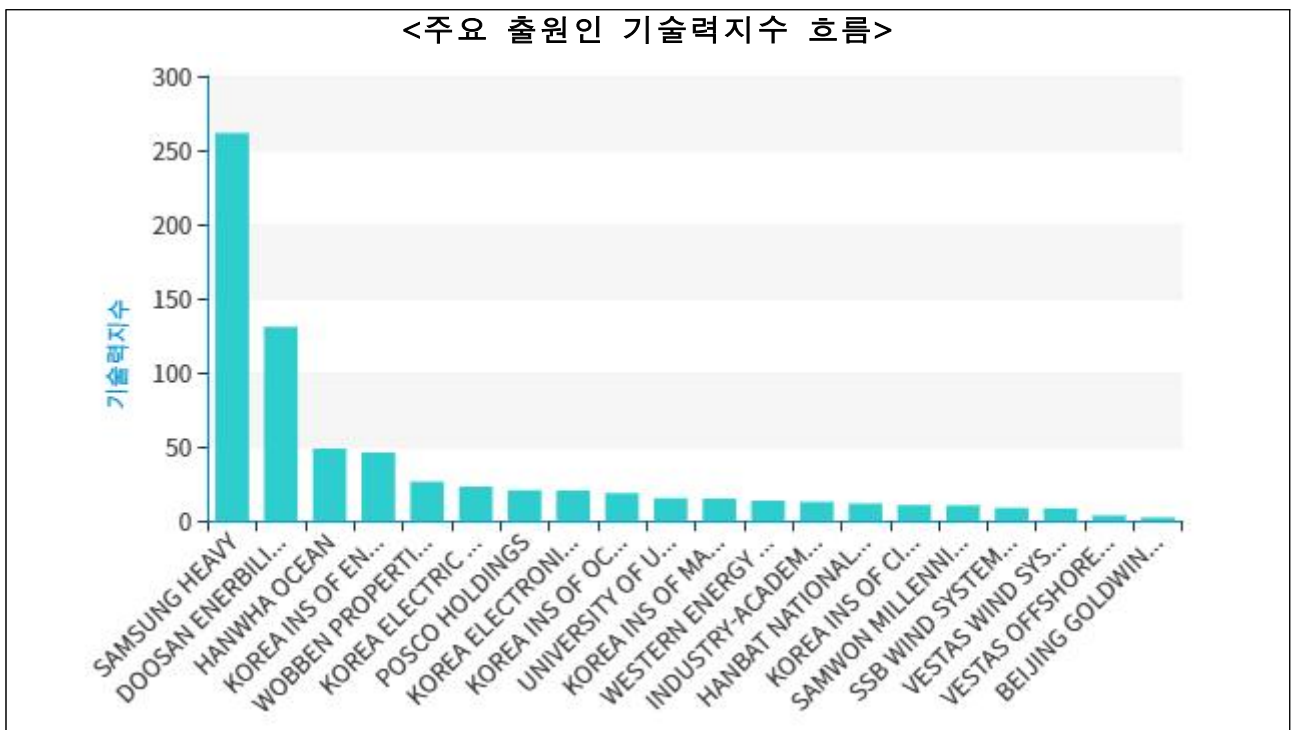


- o 기술력지수¹⁾분석 결과, 삼성중공업이 261.6점으로 압도적인 기술력을 보유하고 있으며, 두산에너지빌리티 131점, 한화오션 49점, 한국에너지기술연구원 46.5점, 워벤프로퍼티스 26.8점 순으로 나타남
 - 상위 2개 기업의 기술력지수가 전체의 53.7%를 차지하고 있어, 기술력 측면에서도 대기업 중심의 양극화 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음
 - 기관 유형별로 살펴보면, 기업 부문에서는 조선해양 분야 대기업들이 상위권을 차지하고 있는 반면, 공공연구기관에서는 한국에너지기술연구원(46.5점), 한국전자기술연구원(20.8점), 한국해양과학기술원(19점) 등이 중상위권에 포진해 있음
 - 출원 건수 기준 3위인 워벤프로퍼티스는 기술력지수에서는 5위로 순위가 하락한 반면, 포스코홀딩스는 출원 건수 대비 높은 기술력지수(21

1) 기술력지수(TS)는 보유 특허의 질적 수준과 양적 수준을 모두 고려하여 경쟁 주체와의 기술력을 비교할 수 있는 지표로, 기술력지수가 클수록 기술력이 높음을 의미함

점)를 기록하여 효율적인 연구개발 성과를 보여줌

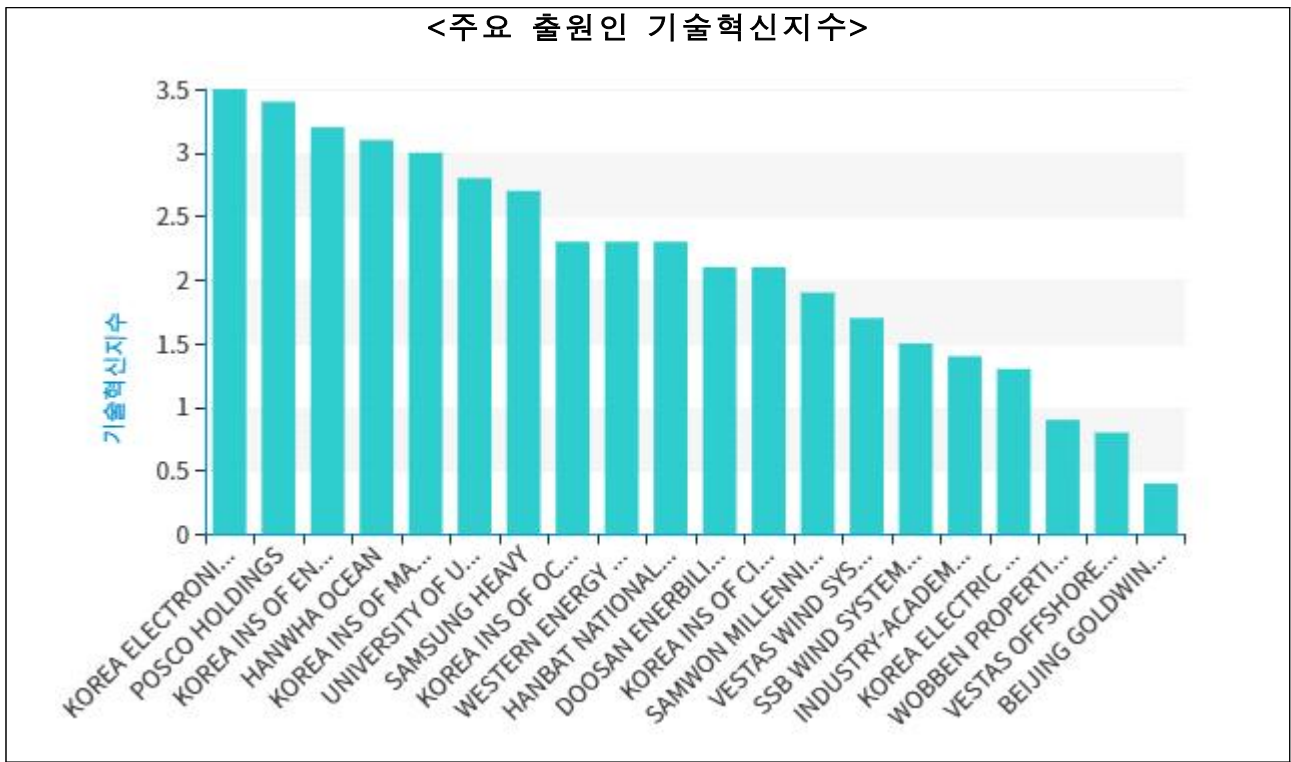
- 대학의 산학협력단들(울산대, 군산대, 한밭대 등)이 기술력지수 상위 20위권에 다수 포함되어 있으며, 풍력발전 분야에서 산학협력을 통한 기술개발이 활발히 이루어지고 있고 특히 지역 거점 대학들을 중심으로 관련 연구역량이 강화되고 있음을 시사함
- 해외 선도기업들과 비교할 때 국내 기관들의 전반적인 기술력지수가 아직 격차를 보이고 있어, 지속적인 R&D 투자와 함께 질적 수준 제고를 위한 노력이 필요한 것으로 파악됨



- o 기술혁신지수²⁾ 분석 결과, 한국전자기술연구원이 3.5점으로 가장 높은 혁신성을 보였으며, 포스코홀딩스 3.4점, 한국에너지기술연구원 3.2점, 한화오션 3.1점, 한국기계연구원 3.0점 순으로 나타남
- 출원 건수나 기술력지수에서 상위를 차지했던 삼성중공업(2.7점)과 두산에너빌리티(2.1점)가 상대적으로 낮은 순위를 기록함
- 기관 유형별로 살펴보면, 공공연구기관들이 평균 3.0점 이상의 높은 혁신지수를 보이며 상위권을 차지하고 있으며, 이는 기초 원천기술 개발에 주력하는 공공연구기관의 특성이 반영된 것으로 파악됨

2) 기술혁신지수(CPP)는 인용데이터를 기반으로 특정 주체의 기술혁신 성과의 중요도나 가치를 평가할 수 있는 지표임

- 해외 기업들의 경우 위벤프로퍼티스(0.9점), 베스타스(1.7점) 등 전반적으로 낮은 혁신지수를 기록했는데, 이는 국내 시장에서의 특허 활동이 혁신적 기술 개발보다는 권리 확보에 중점을 두고 있음을 시사함



- o 기술영향지수³⁾ 분석 결과, 한국전자기술연구원이 1.6점으로 가장 높은 기술영향력을 보였으며, 포스코홀딩스와 한국에너지기술연구원이 각각 1.5점으로 공동 2위를 기록, 이어서 한화오션과 한국기계연구원이 1.4점으로 나타남
- 기술혁신지수(CPP)의 상위권 순위와 유사한 양상을 보이는 것으로, 혁신적인 기술 개발이 높은 기술영향력으로 이어지고 있는 것으로 보임
- 삼성중공업(1.2점)과 두산에너빌리티(1.0점)의 기술영향력이 중위권인데, 이는 양적인 특허 출원 성과가 반드시 질적인 기술 영향력으로 연결되지 않는음을 시사함
- 해외 선도기업들의 경우 위벤프로퍼티스(0.4점), 베스타스(0.8점) 등 대체로 낮은 영향력 지수를 기록하여, 이들의 국내 시장에서의 특허활동이 핵심 원천기술 확보보다는 방어적 권리 확보에 초점이 맞춰져 있을 가능성 있음

3) 기술영향지수(PII)는 다른 경쟁주체의 기술수준과 비교하여 상대적 질적 우열을 확인하기 위한 지표임

- 전반적으로 국내 공공연구기관들이 풍력발전 분야에서 영향력 있는 원천기술 개발을 주도하고 있는 것으로 나타나며, 향후 이들 기관의 연구 성과가 산업계로 효과적으로 이전되어 산업 경쟁력 강화로 이어질 수 있도록 하는 정책적 지원이 필요함을 시사함

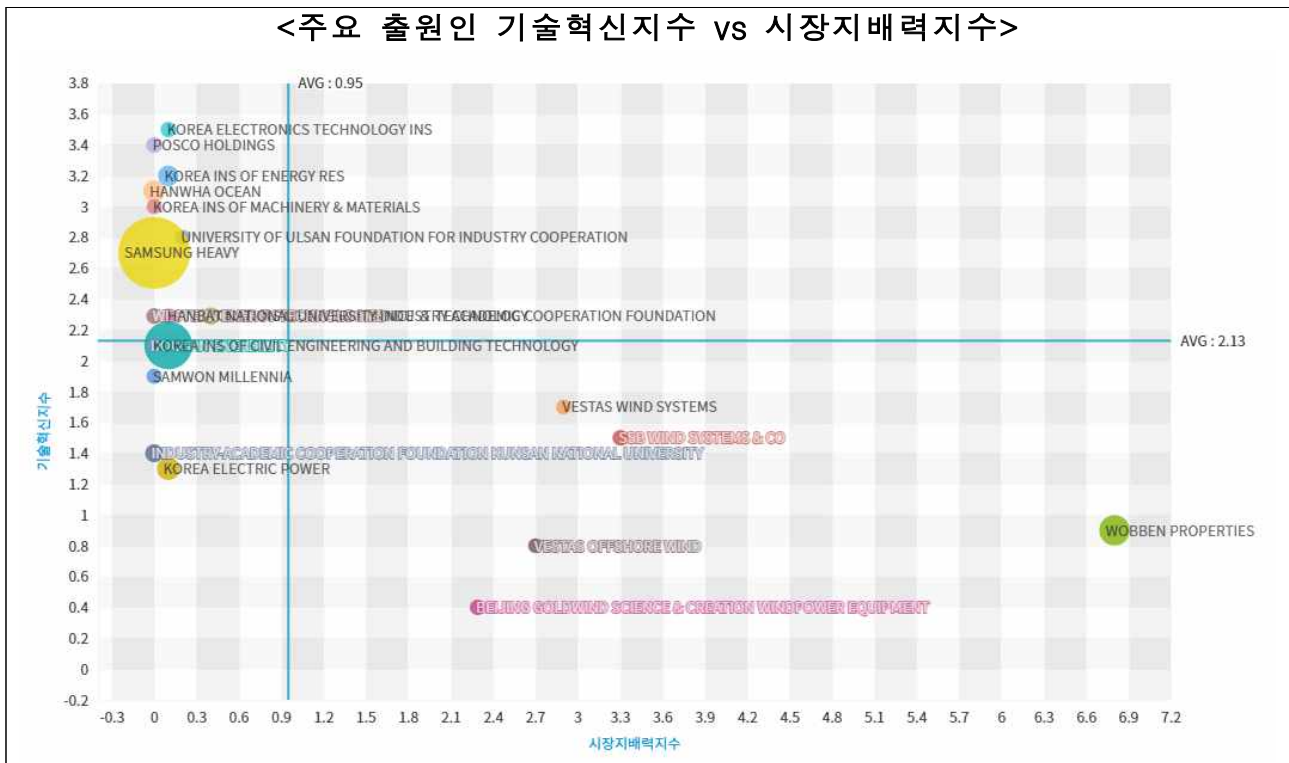


- o 기술혁신지수 vs 시장지배력지수⁴⁾를 살펴보면 1사분면(고혁신-고시장지배력)에는 베스타스 풍력시스템(CPP 1.7, PFS 2.9)이 유일하게 위치하여, 혁신성과 시장지배력을 동시에 보유한 기업으로 나타났음
- 2사분면(고혁신-저시장지배력)에는 한국전자기술연구원(CPP 3.5, PFS 0.1), 포스코홀딩스(CPP 3.4, PFS 0), 한국에너지기술연구원(CPP 3.2, PFS 0.1), 한화오션(CPP 3.1, PFS 0) 등 국내 주요 연구기관과 기업들이 포진해 있으며, 높은 기술혁신 성과를 보이고 있으나 이를 시장 지배력으로 연결시키지는 못하고 있는 것으로 파악됨
- 3사분면(저혁신-저시장지배력)에는 삼성중공업(CPP 2.7, PFS 0), 두산에너지빌리티(CPP 2.1, PFS 0.1) 등 국내 대기업들이 위치하고 있으며, 이들은 높은 출원 건수에도 불구하고 혁신성과 시장지배력 모두 상대적

4) 기술혁신지수(CPP)와 시장지배력지수(PFS)의 교차분석을 통해 주제별 IP의 질적수준과 시장확보력을 비교해볼 수 있음(1사분면-기술적 파급력과 상업적 가치가 상대적으로 큼)

으로 낮은 수준을 보이고 있음

- 4사분면(저혁신-고시장지배력)에는 워벤프로퍼티스(CPP 0.9, PFS 6.8), SSB 풍력시스템(CPP 1.5, PFS 3.3) 등 해외 전문기업들이 자리잡고 있으며, 상대적으로 낮은 혁신지수에도 불구하고 높은 시장지배력을 보유하고 있어, 핵심 원천기술을 기반으로 한 시장 장악력이 돋보임
- 결과적으로 국내 기업들이 기술혁신 역량은 보유하고 있으나 이를 시장 지배력으로 연결시키는 데는 한계가 있는바 국내 기업들의 경쟁력 강화를 위해서는 혁신적 기술개발과 함께 이를 시장 우위로 전환할 수 있는 전략적 접근이 필요할 것으로 판단됨



- o 주요 출원인의 IP확보력⁵⁾ 분석 결과, 국내 풍력발전 산업이 성숙기에 진입하면서 기존 주도 기업들의 특허 활동이 안정화되는 한편, 새로운 참여자들의 진입이 활발해지는 산업 구조 변화가 진행되고 있음을 시사
- 전반적으로 높은 점유율을 보이는 기업들의 증가율이 감소세를 보이는 특징적인 패턴을 보임

5) 현재 IP 확보 현황과 추후 주목할 분야를 미리 예상할 수 있음(1사분면-지속적 활동 출원인, 2사분면-주목받고 있는 출원인, 3사분면-기술개발 도입기 출원인, 4사분면-기술개발 쇠퇴기 출원인)

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

- “국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계”와 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 국외에서는 20MW 이상 로터 직경 300m 이상의 대용량 터빈이 중국 등에서 경쟁적으로 시제품 단계로 등장하고 있으나 대형 터빈을 위한 별도의 국제 표준 및 단체 표준은 아직 존재하지 않으며 주요 부품별 표준을 고도화하여 터빈의 대형화가 추진 중임
 - IEC TC88에서는 IEC61400-1(육상 하중)부터 IEC61400-50(풍황 측정 라이다)까지 약 57개 표준문서(Publications)를 발간하여 풍력발전기 개발 및 인증 등에 사용 중에 있음
 - IECRE에서는 풍력 발전 시스템 유형 및 주요 부품의 인증 절차 관련하여 OD-501 및 OD 501-1~7 운영문서(OD, Operational Document)에서 다루고 있음
 - 이와 병행하여 해양구조물 관련 선급 규칙의 적용(DNV, ABS 등)이 해상풍력을 중심으로 사용 중에 있으며 케이블의 경우 CIGRE(국제 케이블 협회)의 규칙이 해상케이블에 사용 중임
 - 해상풍력 지지구조와 풍력터빈 제너레이터 등에 대한 표준을 제정하기 위한 워킹그룹이 중국 등의 주도로 새롭게 구성 중에 있거나 구성을 완료하여 초기 문서 작성이 진행 중에 있음

- “초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구”와 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드는 최신 해상풍력시스템의 기술실증이 원활하게 이루어질 수 있도록 하는 시설로서 오스테드, 지멘스, 지멘스 가메사, ABB, 스미토모 등 유럽 및 일본기업이 강세를 보임
 - IEC TC88에서 풍력과 관련된 설치부터 운영, 검증, 시험에 대한 전반적인 표준 개발되고 있으며, 관련 TC 또는 타 기구간 Liaison 체결을 통해 표준개발 협력체계를 구축하여 표준개발 진행 중임
 - 이동식 및 고정식 해상구조물 관련 전기설비 표준이 IEC TC18에서 개

- 발되고 있으며 유럽 등에서 표준제안 및 제정을 주도적으로 하고 있으며 중국, 일본 등 아시아 국가에서도 적극적으로 참여 시작함
- 독일엔지니어링협회(VDI) 또한 VDI 4551-Structure monitoring and assessment of wind turbines and offshore stations 표준을 제정하여 기준을 수립 중임
 - IECRE에서는 IEC TC88에서 제정된 표준문서를 기반으로한 인증절차가 운영문서 OD(Operational Document)를 통해 정립되고 있음
 - 풍력 발전 시스템 유형 및 주요 부품의 인증 절차는 OD-501 및 OD 501-1~7 문서에서 다루고 있음
 - 재생에너지 시험소(RETL, Renewable Energy Testing Laboratory)에 대해서는 시험소 자체에 대한 평가 절차는 OD-005에서 다루고 있으며 전력성능 테스트 평가를 다루는 OD-551-24를 포함하여 OD-551-11~18, 22~26 문서들에서 테스트 분야 별 절차가 다루어지고 있어 이에 대한 대응이 과제에서 다루어질 필요가 있음
- “풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
- 풍력 설치량은 28년까지 매년 110~180GW 예상되며 2040년에는 블레이드 복합재료가 418,000톤/년의 양으로 매립될 예정으로 이는 미국에서 4백만명의 인구가 버리는 플라스틱 폐기물의 양과 동일함
 - 글로벌 풍력터빈 제조사, 발전단지 개발사들은 블레이드의 매립을 최소화하기 위해 블레이드 재활용 또는 재사용을 위해 노력 중이며 지멘스 가메사는 열가소성 수지를 적용한 세계 최초의 재활 가능 해상풍력터빈 블레이드를 상용화함
 - 인도 ADIYA BIRLA사, 대만 SWancor사, 프랑스 Elium(Arkema)사 등은 재활용 가능한 풍력 블레이드 수지를 개발 중임
 - 아크릴계 열가소성 수지의 시험방법은 ASTM 등 기 표준화된 규격(ISO 527, ASTM D2344, ASTM D792, ASTM D3171 등)을 적용하며 DNV는 열가소성 수지의 부품인증을 제공하고 있음
 - IEC TC88 PT 61400-28-2에서 풍력터빈 재활용 관련 표준을 제정 중

(Approved for Committee Draft, ACD 단계)이나 해체와 재활용 전의 준비 단계까지만 다루고 있으면 재활용 가능 블레이드 수지의 재활용 성이나 물성 등은 다루지 않고 있기에 본 분야의 새로운 국제표준이 필요한 상황임

- “부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토”와 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 유럽에서는 1차적으로 3GW 규모의 발틱에너지 아일랜드를 필두로 최대 83GW 발틱지역의 에너지아일랜드와 총 212GW 규모의 영국, 노르웨이, 덴마크, 독일, 프랑스 등 북해의 인접한 국가를 모두 연결하는 대규모 에너지 아일랜드 허브를 계획 중임
 - 에너지 아일랜드 허브는 5GW 규모의 링크가 고려되고 있으며 수소의 생산과 저장, 이송 기능도 포함하는 미래 시장 기반 복합에너지 시스템으로 개발하고자 함
 - IEC에서는 풍력 단지 인증과 관련 관련해서 프로젝트 팀 PT 61400-101에서 풍력터빈 단지 요구조건이 개발 중임
 - IECRE에서는 OD-502 (Operational Document, 운영문서)를 통해 프로젝트 인증 절차를 다루고 있음
 - DNV에서는 SE-0190 부유식 풍력발전단지 인증, DNV-RU-OU0571 부유식 인프라 유닛과 설치, SE-0422 부유식 풍력 터빈 프로젝트 인증 등이 개발됨

- “풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 유럽을 중심으로 한 풍력기술 선진국은 상태감시 기반의 유지보수를 넘어 비용이 고려된 수명 및 유지보수 주기를 예측하고 운영을 최적화하는 예지정비 기술로 진화하고 있음
 - 정격하중 및 수명(ISO/TC4/SC8) 관련 산업용 베어링 수명 및 성능이 규정되고 있으며, ISO 281은 동적 수명(dynamic life), ISO76은 정적 안전계수(static safety factor) 계산을 위한 규격임

- 기계의 비회전 부분의 진동에 관한 국제표준인 ISO 10816-21은 VDI 3834-1에 대응하여 수평축 풍력발전기의 드라이브트레인 진동 평가에 관한 내용을 규정함
 - IEC 61400-4는 풍력발전기 기어박스 설계 요구 사항, IEC 61400-25시리즈(IEC 61400-25-1~6, 71)는 풍력 발전소의 감시 및 제어용 통신 관련하여 정보모델, 적합성 시험, 통신 프로파일 등을 규정함
 - 요와 피치 베어링 관련해서는 NREL의 Wind Turbine Design Guideline (DG03): Yaw and Pitch Rolling Bearing이 개정 중에 있으며 IEC TC88로 이관되는 문제가 논의되고 있음
 - IEC 61400-6은 타워 지지구조 플랜지 연결부의 볼트에 대한 안전 설계를 제시하고 있음
 - 풍력발전기 메인 베어링 및 볼트 현장 검사시스템 관련 표준은 ISO/TC4/SC8(베어링 수명 및 성능)과 ISO/TC108/SC2(기계적 진동 평가) 및 IEC/TC88(풍력발전시스템, 기어박스, 감시 및 제어통신)의 표준에서 대부분 제정되어 기술개발 간에 활용이 가능함
- “풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
- 국외에서는 고해상도 카메라와 센서를 장착한 드론 기반의 검사시스템이 AI와 머신러닝 기술과 접목해서 개발 중에 있으며, 라이다 기술을 활용하여 정밀도를 높이고 있지만 정지된 상태의 블레이드 검사에 국한되어 있음
 - 블레이드 성능 평가 표준은 IEC 61400-23 Wind turbines -Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades에서 개정 작업이 MT23에서 진행 중이며, 피로 시험에 대한 규정이 집중 논의되고 있고 손상 모니터링 관련 내용을 제공함
 - DNV-RP-0501: Managing risk for inspection and maintenance of wind turbines에서는 운전 중인 풍력 발전기에서 블레이드 결함 관리와 유지보수 프로세스를 최적화하기 위한 권장 실무 지침을 제공함

- “가상 풍력발전기 기반 지능형 운영 지원 솔루션 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 유럽은 독일을 중심으로 풍력발전소의 전력생산과 수요를 정확하게 예측하기 위한 디지털 트윈 플랫폼 개발 연구가 진행 중임
 - SCADA 시스템은 풍력 발전 설비의 상태를 감시하고 환경 정보를 중앙에서 처리하며, Vestas, Siemens 등 외국계 기업이 시장을 주도하고 있으며 고성능 제어 알고리즘과 표준 프로토콜을 통해 대규모 풍력단지 운영 및 제어가 효율화되고 있으며, 대용량 데이터를 활용한 통계 및 예측 서비스가 제공되고 있음
 - 스페인은 신재생에너지 관제센터를 통해 98.6%의 풍력 발전 출력을 원격 감시·제어하고, 북해 지역에서는 대규모 풍력 단지의 계통 연계 기술이 연구되고 있음
 - 미국에서는 풍력이 전력 계통 서비스에 기여하는 실증 연구와 동서부 전력망 통합 연구를 진행 중이며, 해석 툴(PSS/E, PowerFactory)을 활용해 해상풍력 단지와 전력 계통의 안정성을 평가함
 - 디지털 협력을 위한 표준 고도화 프로그램이 추진 중이며, 부하 및 전력 성능 검증, 전기적 특성 평가, 통신 시스템, 주파수 도메인 모델, 자산 수명 관리 및 연장, 그리드 코드 준수 평가와 같은 다양한 세부 표준이 개발 중이며 이를 통해 풍력발전기의 효율성과 안정성을 향상하고 다른 에너지원과의 통합성을 높이는 데 기여하고 있음
 - 관련 표준도 인공지능 통합관리, 빅데이터 기반 환경영향 평가 등을 포함해 발전 중이며 IEC TC88은 풍력 에너지 시스템 전주기를 다루며, 설계, 생산, 운영, 유지보수 등 모든 단계의 기술 표준을 개발하고 있으며 관련된 표준은 IEC TS 61400-21-4 ED1 “Wind energy generation system - part 21-4: Measurement and assessment of electrical characteristics - Wind turbine components and subsystem,” IEC TS 61400-25-2 ED3: Wind energy generation system - part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models 등이 있음

- “해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 국외에서는 해양 지반조사 전용 플랫폼, 정밀 분석 장비 및 대심도 조사 장비를 활용하고 있으며, 이러한 기술은 보유한 전문업체에 의존하고 있음
 - 부유식 풍력의 경우, 대심도 조사가 적용되며 DP를 적용한 플랫폼을 통한 샘플링 및 분석 기술이 개발되고 있음
 - 유럽의 NGI와 North Wind에서는 다양한 해양 지반 조사 결과를 통합하여 여러 지역의 해저지반의 토양 그레인 사이즈 및 형태 등의 데이터베이스와 토질시험 데이터 베이스 기반의 VR 토질 시험을 통해 물리시험을 최소화하는 방안이 구축 중임
 - 지반조사 관련 표준은 ISO 19901-4: Geotechnical and foundation design considerations, ISO 19902 (고정식 해양 구조물): Fixed steel offshore structures 등이 있으며 IEC 61400-3 및 61400-6에서 지반 관련 설계 요구조건이 제정되고 있음

- “해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발”과 관련한 해외 동향은 다음과 같음
 - 선적, 운송, 설치 단계에서 안전성을 보증하는 해상보증조사(MWS) 기술 관련 선진국에서는 이미 보험사 및 규제기관의 요구사항에 부합하는 체계적 MWS 지침을 운영하고 있음
 - 운송 및 설치 기술은 고정식 및 부유식 풍력 모두에서 중요한 요소이며, 해상풍력 시장은 2030년까지 약 14.3GW의 발전량을 목표로 하며, 운송 및 설치 비용이 약 10조 원의 시장으로 추정됨
 - 관련 표준으로는 ISO 29400 Ships and marine technology - Offshore wind energy - Port and marine operations, IECRE OD-502 Project Certification Scheme, DNV OS-D201 Electrical installations, DNV ST-0054 Transport and Installation of Offshore Wind Turbines, DNV RP-N103 Modelling and analysis of marine operations, RU-OU-0512 Floating offshore wind turbine installations, RU-OU-0571 Floating infrastructure units and installations, SE-0073 Project certification of wind farms according to IEC 61400-22 등이 있음

□ 국내 동향

- “국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계”와 관련한 국내 동향은 다음과 같음
 - 국내 터빈사 개발 최대용량 해상풍력터빈이 10MW인 상황에서 20MW+ 개발을 앞당기기 위한 우리나라 풍력 산업의 경쟁력을 강화하기 위하여 국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계 기술 개발은 필수적인 연구과제임
 - IEC 국제 표준 부합화 표준을 중심으로 선급규칙(DNV 등)이 활용중임
 - 국제표준의 경우 IEC 61400 시리즈로 표현되는 풍력관련 다양한 국제 표준이 활용중에 있으며, 국내는 이를 부합화한 KS C IEC61400 시리즈가 KS인증을 비롯하여 다양한 분야에서 활용 중임
 - IEC에서 다루지 못하는 분야(케이블, 해상 변전소 등)의 경우 DNV에서 발간된 선급 규칙이 사용 중에 있으나, 국내 독자적인 표준 및 단체 표준의 제정 움직임은 없음
 - IEC TC88에 매칭되는 국내 커미티(Mirror committee)의 구성은 되어 있는 상황이나 실질적으로 국제 표준화 활동이 미흡한 관계로 효용성이 낮은 상황임
 - 따라서 국내 표준의 경우 대부분 IEC 부합화 표준(KS C IEC)을 차용해서 사용 중이며, 연구과제의 많은 부분이 기술개발에 집중되어 있어 풍력관련 기술지침서, 가이드 라인 등의 제작이 부족하여 이에 대한 대책이 요구되기에 본 과제에서 국내 표준 개발이 필요함
 - 국외에서도 20MW+급에 대한 개발이 초기 단계이기에 국내에서 초격차형 개발을 통한 시스템 및 주요 부품 중 특히 국내 기술 담당가능한 분야로 국내표준의 제정을 통해 국내 시장 보호와 산업경쟁력을 도모하고 국제표준화의 적극적인 참여를 통해 국제표준의 주도과 신속한 실증과 인증을 통한 산업경쟁력 강화와 대규모 수출이 가능함
- “초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음
 - 국내에서는 750kW급 부유식 해상풍력 실증이 시도되었고 메가와트급

부유식 해상풍력 실증이 시도되고 있으나 실증지 확보 문제로 진행에 어려움을 겪어 왔음

- 풍력 분야는 IEC 부합화 위주의 한국산업표준 개발되었으며, 일부 소수의 고유표준 제정됨
- 해상풍력 분야는 한국에너지공단(KEA)에서 표준개발협력기관을 운영하며 관리 중이며, 주로 IEC 등 국제표준을 한국산업표준(KS)으로 부합화하여 국내에 도입 중임
- 국내에서의 초대형 해상풍력 시스템 기술실증 테스트베드를 개발하면서 국내 표준 제정을 통하여 IEC 61400 표준 및 시스템 및 부품 인증과 관련된 OD 501 및 시험소의 인증 절차를 다루는 OD 551 등의 국제표준의 부합화와 이와 병행한 국제표준의 참여를 통하여 국제표준의 주도 및 기여와 이를 통한 풍력 시장 확보가 가능할 것으로 사료 됨

○ “풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음

- 현재 국내에서는 풍력 터빈 블레이드의 철거 후 폐기 방식으로 매립 또는 소각이 시행되고 있지만 매립시에는 블레이드의 유기물질은 온실가스 및 기타 휘발성 유기화합물을 환경으로 방출하고 매립지 인근 지하수 오염 위험을 내포하고 있으며 소각 시에는 대기 오염 야기와 오염 물질 방출, 온실가스 배출을 촉진할 수 있음
- 풍력 블레이드 소재 중 열경화성 에폭시 수지의 분해 난해성이 블레이드 전체의 재활용에 걸림돌이며 열가소성 수지는 열적 분해가 가능해 블레이드 재활용을 상대적으로 용이하게 할 수 있으나 전통적인 블레이드 제조 방식의 적용에 어려움이 있음
- 수지의 분해를 통한 블레이드 재활용을 목표로 국내에서는 재활용성과 생산성이 향상된 수지 제조 초기 개발 단계로서 한양대학교 등 대학에서 열가소성 소재 물성을 개선하여 풍력 블레이드에 적용하기 위한 연구개발 과제를 수행 중에 있음
- 열가소성 수지의 풍력 블레이드 적용은 기술개발 단계이지만 본 과제를 통한 국내표준 제정과 국제표준화 활동을 통한 산업 주도가 가능함.

- “부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토”와 관련한 국내 동향은 다음과 같음
 - 국내에서는 울산과 남해 지역 등에서 수 GW의 대단위 부유식 해상풍력 단지 개발이 추진되고 있으며 대단위 부유식 해상풍력 단지의 설치와 유지보수 운영의 효율성 제고를 위한 부유식 해상풍력 허브의 필요성이 대두되고 있음
 - 국내에서는 고정식 해상풍력단지 해상변전소가 기 개발되었으며 대용량의 전력과 수소를 이송하기 위한 초전도체와 액화질소, 액화수소를 조합한 대용량의 에너지 이송이 가능한 솔루션이 개발 중에 있음
 - 국내에서는 한국에너지공단에서 표준을 제정관리하고 있으며 부유식과 관련 IEC 부합화 위주로 추진되어 KS C IEC TS 61400-3-2, KS C8573, KS C IEC 61400-22가 제정되었음
 - 부유식 해상풍력 허브에서 구현하고자 하는 허브 중심의 전력망 구축과 유지보수 항만 기능 구현은 아직 국제표준에서 다루지 않고 있기 때문에 본 연구개발과제 기반의 국내 표준 제정과 적극적인 국제표준화 활동을 통한 국제표준 주도가 가능함

- “풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음
 - 국내에서는 (주)에스엠인스트루먼트, (주)렉터슨, (주)LS산전에서 CMS의 국산화를 추진 중임
 - 국내에서는 현재 서브시스템 제어 및 모니터링을 위한 광섬유센서, 압전 센서, 오일 모니터링 센서의 특성에 대한 조사, 분석과 함께 기본적인 성능 평가 시험이 수행되고 있음
 - 풍력발전시스템 적합성은 국제전기기술위원회(IEC)에 의한 인증체계에 서 ‘15년 IECRE 인증체제로 전환되었으며, 이에 따라서 국내 형식시험기관의 IECRE 인정 시험기관[RETLs(RE Testing Laboratories)] 인정서 획득이 요구되고 있음
 - 한국에너지공단 신재생에너지센터는 국내 표준개발협력기관(COSD)로서 IEC/TC88분야의 국제표준에 대응하여 이 분야의 표준을 KS표준으

로 검토하고, 국제표준을 기반으로 국제표준 부합화 표준 개발 활동 (제·개정)을 진행 중임

- 한국전기안전공사에서는 발전용 풍력설비에서 정한 안전 성능에 대해서 규정한 단체표준 1종을 제정하였음
- 본 과제를 국내표준 제정과 국제표준화 활동을 통한 국제표준과 산업 경쟁력 확보를 통한 산업주도가 가능함

○ “풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음

- 국내에서는 정지된 상태의 블레이드 외부를 고해상도카메라로 내부를 X-Ray 등의 비파괴 검사로 파손을 검출하는 기술이 개발 중에 있지만 정적인 상태에서의 검사에 국한되어 왔음
- 국내에서는 군집드론 제어 기술이 상용되어 있어 국방 등 다양한 분야에서 활용되고 있음
- 국내에서는 IEC 61400-23에 대한 부합화를 통해 국내 표준인 KS C IEC 61400-23이 개발되었음
- 운용 중의 블레이드 손상 검출 기술은 신규성이 높기에 국내의 새로운 표준 개발과 이를 기반으로한 국제표준화 활동을 통해 시장을 선점할 수 있는 기회를 가질 수 있음

○ “가상 풍력발전기 기반 지능형 운영 지원 솔루션 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음

- 디지털 트윈 관련 정부 주도의 연구 및 개발을 통해 가상화 기술에 대한 개념 정립 및 요소기술 개발 추진 중이며 각 분야를 통합하는 연합 디지털 트윈 기술의 필요성이 제기되고 있음
- 단순 3D 모델링 기능을 벗어나 전주기 데이터를 모니터링 하여, 모든 데이터를 알고리즘, 머신러닝, 인공지능과 접목하려는 시도 중임
- 연합 디지털 트윈 기술 (Digital Twin Federation Technology)은 디지털 트윈 간 상호연합 및 협업을 위한 기술을 의미하며 스마트 팩토리와 같이 소규모 섹터(공장)에서 벗어나 풍력발전소, 세종시와 같이 가상현

실의 규모가 대형화되고 있음

- IEC에 부합하는 풍력 발전소 모니터링 및 통신보안 체계 관련 국내 표준이 개발되고 있음
- 풍력과 관련하여 한국에너지공단에서 표준을 제정관리하고 있으며, 주로 IEC 등의 국제표준을 부합 화하여 국내에 도입 중임
- 본 과제를 통한 국내 표준 제정과 국제표준화 활동을 통하여 국제표준과 산업의 주도가 가능함

○ “해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음

- 해상풍력 분야는 한국에너지공단(KEA)에서 표준개발협력기관을 운영하며 관리 중이며, 주로 IEC 등 국제표준을 한국산업표준(KS)으로 부합화하여 국내에 도입 중임
- 지반조사 성능기준 관련 국내에서는 ISO 기준을 부합화한 KS B ISO 19901-4 해양구조물의 특별 요구사항-제4부: 지반공학 및 기초설계 고려사항이 제정되어 있음
- 상기 기준을 고정식/부유식 해상풍력 지지구조물 설계를 위한 지반조사로 지침으로 특화하여 산업계 표준으로 활용할 필요가 있음

○ “해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발”과 관련한 국내 동향은 다음과 같음

- 국내 대단위 고정식 및 부유식 해상풍력 단지 개발 과 실증 프로젝트가 추진 중임
- 2만톤 이상의 해양플랜트 이송 및 외해 설치 기술이 개발되어 왔으며 해상풍력발전기 이송 및 설치 기술 또한 개발 중에 있음
- 풍력과 관련하여 한국에너지공단에서 표준을 제정관리하고 있으며, 주로 IEC 등의 국제표준을 부합화하여 국내에 도입 중임
- 본 과제를 통한 국내 표준 제정을 기반으로 관련 사업의 경쟁력을 확보하고 이를 기반으로 한 적극적인 국제표준화 활동과 국제표준화 주도를 통한 전반적인 산업 경쟁력의 확보가 가능함

5. 정부R&D 지원현황

□ 투자 동향

- 정부는 2030년까지 재생에너지 전력량 비중을 전체의 20%까지 높이겠다는 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 발표함
 - 특히, 산업유발효과가 큰 태양광과 풍력을 집중 육성할 계획임
- (튼튼한 자원·에너지안보) 정부는 `24년 5월 “재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략”을 발표하였음
 - 해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화: 프로젝트 인증 제도 도입·시행, 표준·인증에 안보 요소 포함 사이버·시스템 보안관리 강화
 - 해상풍력 단지인증 및 안보적 대응 핵심기술 개발 필요
- (성장 동력화) 국내 제품의 보급 증대 및 가격 경쟁력 확보 환경 조성 노력 필요
 - 초격차 기술 개발 : 극한환경 적응형 초대형해상풍력 터빈 개발
- 전주기 실증 R&D를 포함한 산학연의 역량을 모으는 선단형 R&D 추진
 - 고정식/부유식 기술실증 테스트베드, O&M 유지보수 플랫폼 개발

□ 기술개발 현황

- 제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵(‘20.02.)과 해상풍력 발전 방안(‘20.07.)에 근거한 단계별 기술개발 추진
- 2050 탄소중립 로드맵(‘21.12.)에 대형 해상풍력 시스템 개발, 핵심부품 국산화, 부유식 해상풍력 시스템 개발, 친환경 단지 개발 추진
- 제5차 에너지기술개발계획, 탄소중립 혁신기술 로드맵, 초격차 기술로드맵을 수립하여 초대형 해상풍력 터빈 및 핵심부품 개발, 부유식 해상풍력 확대, 단지개발 및 운영 기술, 해양에너지니어링 및 설치기술 혁신 등 전주기 기술개발 추진 중

6. 시사점

- 중장기적으로 국산터빈의 보급률 향상 및 글로벌 기술격차 축소를 위한 전략적 기술개발 필요

① **(현안)** 해상풍력 터빈의 대형화 추세가 진행되고 있으나, 국산 터빈의 경우 10MW급으로 글로벌 15MW급에 미치지 못하고 있음

(전략) 국내 터빈사 별 독자개발에서 설계 공동플랫폼을 구축하고 국내 산학연 역량을 집중하여 미래 시장인 20MW+급 개발로 글로벌사 추격

② **(현안)** 풍력시스템 전체의 기술 추격과 함께 풍력터빈 핵심부품의 공급망 규모 확대를 위해 단위 부품별 기술개발 필요

(전략) 풍력블레이드 소재로서 친환경 재활용 가능 수지를 선도적으로 개발하여 글로벌 공급망 선도

③ **(현안)** 초대형 해상풍력터빈과 풍력 신기술 실증을 위한 테스트베드 부재로 기술개발의 현장 적용, 기술 사업화의 장애로 작용하고 있음

(전략) 기술개발 및 실증 인큐베이터 역할을 할 초대형 해상풍력터빈 기술실증 테스트베드 구축

□ 해상풍력 미래 주력기술로서 부유식 해상풍력의 국내 자체기술 확보와 단가저감을 통한 시장 수용성 증대 필요

① **(현안)** 부유식 해상풍력이 수 GW급으로 대규모 단지화되고 있고, 원거리 외해에 위치하여 계통연계 및 유지보수 솔루션이 필요함

(전략) 전력계통 공동접속설비 기능과 유지보수 거점 역할을 하는 부유식 해상풍력 허브 기술개발 필요

□ 풍력단지의 안정적 운영 기술과 해상풍력 설치혁신 및 엔지니어링 기술 확보로 국내 풍력산업 생태계 확대 및 안정적 성장 기반 구축 필요

① **(현안)** 해상풍력설비 설치의 신뢰성·안전성 향상 기술개발을 통해 시장 확대에 대응하고 국내 해양엔지니어링 기술을 글로벌 수준으로 향상 도모 필요

(전략) 글로벌 스탠다드에 맞고 국내 실정에 적합한 지반조사 성능기준과 해상보증조사 기준 국내 지침 개발이 필요함

② **(현안)** 풍력단지의 출력 증대, 고장 감소를 위한 유지보수 기술 고도화 필요

(전략) 풍력설비 중 고장 및 손상시 중대한 영향을 미치는 구조볼트, 베어링, 블레이드의 고장예지, 유지보수를 위한 검사시스템 개발

II.

기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

연구개발과제기획 기본방향

구분	중장기 목표	중점 기획 방향
I	초대형 해상풍력터빈 개발	① 국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계 ② 초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구
II	핵심부품 공급망 강화 및 수출산업화	① 풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발
III	부유식 해상풍력 실증 및 단가저감	① 부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토
IV	단지개발 확대 및 운영 효율화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (유지보수) ① 풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발 ② 풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발 ▪ (단지운영) ③ 가상 풍력발전기 기반 지능형 운영지원 솔루션 개발
V	해양엔지니어링 및 설치기술 혁신	① 해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발 ② 해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발

신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구분	원천기술	혁신제품형	계
지정공모	-	-	-
품목지정	40	105	145
자유공모		-	-
계	40	105	145

* 기획과제(안) 기준임

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계	국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○(한국형 탄소중립 100대 핵심기술, '23.5) 감격차-에너지 전환 부문에 2030년 이후 상용화를 목표하는 초대형 풍력터빈 개발이 포함 ○(재생에너지 정책개선방향, '22.11) ⑤국내산업 발전과 함께하는 재생에너지 분야의 국내 밸류체인 고도화 세부 방안으로 15MW+급 터빈 개발 및 메인베어링 등 수입의존 부품 국산화를 포함 ○(재생에너지 보급확대 및 공급망 강화전략, '24.5) 건강한 해상풍력 산업생태계 조성을 위한 제조 분야 공급망 경쟁력 강화를 지원 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○ 해당 없음
초대형 해상풍력시스 템 기술실증 테스트베드 설계 연구	초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○(에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방안) '국내산업 육성' 부문 '풍력산업 밸류체인 고도화'를 과제로 제시 - 핵심 기술개발 가속화 및 산업기여도 평가 강화 - O&M 서비스 등 관련산업 육성과 배후항만 등 인프라 조성 ○(재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략) '건강한 해상풍력 산업생태계 조성'을 위해 '해상풍력 생태계 전반의 경쟁력 강화' 및 '안정적인 해상풍력 단지 운영을 위한 기반 조성'을 세부 추진과제로 제시 - 보급 확대에 대비한 항만·선박 등 설치 인프라 구축 지원 - 해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화 ○(한국형 탄소중립 100대 핵심기술, '23.5) 감격차-에너지 전환 부문에 2030년 이후 상용화를 목표하는 초대형 풍력터빈 개발이 포함 - 초대형 해상풍력터빈 및 부유체 개발을 위한 기반 기술로서 기술실증 테스트베드 포함

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발	풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선 방안 ○24년 재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략 ○2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○열가소성 복합소재를 응용한 블레이드 고속성형 원천 기술 개발
부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토	부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○ (에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방 안 '22.11) '30년 재생에너지 비중을 21.6%로 확대, 태 양광:풍력 비중을 '21년 87:13 → '30년 60:40 으로 개 선, '30년까지 19.3GW의 풍력 보급 ○ (제10차 전력수급기본계획) '36년 신재생에너지 발전 량 비중을 30.6%로 확대 (출력제어 반영시) ○ (2050 탄소중립로드맵) 부유식 해상풍력 수출 및 주 력산업화 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○ 해양 부유식 복합 에너지발전 아일랜드
풍력발전기 메인 베어링 및 볼트 현장 검사 시스템	풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선 방안 ○24년 재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략 ○2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○풍력발전시스템 손상 검출을 위한 비파괴검사 시스템 개발 및 실증 ○풍력 타워 장수명/신뢰성 향상을 위한 타워 내구설계 고도화 및 타워볼트 건전성 감지 시스템 개발
풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스 템 개발	풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선 방안 ○24년 재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략 ○2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○풍력발전 블레이드 운전손상 검출용 AI 기반 Onsite 복 합검사시스템 개발

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
가상 풍력발전기 기반 지능형 운영지원 솔루션 개발	가상 풍력발전기 기반 지능형 운영지원 솔루션 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선 방안 ○24년 재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략 ○2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 ○데이터 기반 풍력단지 최적 효율 제어 기술 개발 및 실증 ○풍력발전단지 초장기 운영을 위한 사이버 물리 풍력 발전단지 시스템 모델 및 유지관리 방법 개발 ○국내 산악지형 특화 풍력터빈 등급 마련과 예지보 전 및 제어운영 최적화 기술 개발
해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반구축	해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○(에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방안) ‘국내산업 육성’ 부문 ‘풍력산업 밸류체인 고도화’를 과제로 제시 - 핵심 기술개발 가속화 및 산업기여도 평가 강화 - O&M 서비스 등 관련산업 육성과 배후항만 등 인프라 조성 ○(재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략) ‘건강한 해상풍력 산업생태계 조성’을 위해 ‘해상풍력 생태계 전반의 경쟁력 강화’ 및 ‘안정적인 해상풍력 단지 운영을 위한 기반 조성’을 세부 추진과제로 제시 - 보급 확대에 대비한 항만·선박 등 설치 인프라 구축 지원 - 해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화 <input type="checkbox"/> 사전기획 - '24년 2차 기획 : 해상풍력 하부구조물 설계를 위한 지반조사 시스템 개발 및 실증
해상풍력 운송 및 설치 안전성 기술지침서 국내 표준화 개발	해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 ○(에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방안) ‘국내 산업 육성’ 부문 ‘풍력산업 밸류체인 고도화’를 과제로 제시 - 핵심 기술개발 가속화 및 산업기여도 평가 강화 ○(재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략) ‘건강한 해상풍력 산업생태계 조성’을 위해 ‘해상풍력 생태계 전반의 경쟁력 강화’ 및 ‘안정적인 해상풍력 단지 운영을 위한 기반 조성’을 세부 추진과제로 제시 - 보급 확대에 대비한 항만·선박 등 설치 인프라 구축 지원 - 해상풍력 안보이슈, 신시장에 대비한 운영·관리체계 고도화

□ 사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명		지식재산권				표준 ²⁾	인증 ³⁾
		등록특허		소프트웨어	기타 ¹⁾		
기획대상 주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	해외	국내				
국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계	국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계	△	○	x	△	x	○
초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구	초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구	x	○	x	x	△	△
풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발	풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발	○	○	△	△	○	○
부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토	부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토	△	○	△	△	△	○
풍력발전기 메인 베어링 및 볼트 현장 검사 시스템	풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발	△	○	○	○	△	△
풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발	풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발	○	○	○	○	x	○
가상 풍력발전기 기반 지능형 운영지원 솔루션 개발	가상 풍력발전기 기반 지능형 운영지원 솔루션 개발	○	○	○	○	x	○
해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반구축	해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발	△	○	△	△	○	○

해상풍력 운송 및 설치 안전성 기술지침서 국내 표준화 개발	해상풍력 해상보증조사(M WS) 기술지침서 국내 표준화 개발	△	○	×	△	○	○
---	--	---	---	---	---	---	---

* 동 기획과제 수행을 통해 발생할 수 있는 사업화 연계성과(지재권, 표준·인증)를 예측하여 발생가능성을 ○(높음) / △(보통) / ×(낮음) 중 선택하여 제시

- 1) 실용신안, 디자인, 상표 등 기타 지식재산권
- 2) 국제표준, 국가표준, 단체표준의 제·개정(표준화연계형 과제는 보통 이상으로 제시 必)
- 3) 법적임의 인증(KS인증, 고효율에너지기자재인증, 신제품인증(NEP), 신기술인증(NET), 녹색인증, 제로에너지건축물인증, 소프트웨어품질(GS)인증 등)

2. 개발위험 관리방안

□ 기술개발 위험요인

- (초대형 터빈 기본설계) 기본설계는 단순 레퍼런스 터빈 수준의 설계가 아니라 후속개발에 직접활용이 가능한 상세설계에 준하는 결과물을 목표로 하고 있으나, 연구단계에 터빈사의 적극적 참여 유도 및 개발방향 및 결과물에 대한 지속적 합의가 필요함.
- (기술실증 테스트베드) 연구 초기단계에 기술실증 부지의 발굴, 지정, 구축 합의가 중요하여, 연구기관과 정부, 지자체 등 이해관계자 간 지속적인 협의 필요함
- (블레이드 열가소성 수지) 재활용율이 높은 블레이드 소재 개발로서 성공시 산업계 파급 효과가 크지만, 도전적인 연구로서 산업계의 기초연구 및 가능성 확인이 기반이 되지만 개발 중 기술적 한계를 돌파할 연구 및 산업계 역량 확보가 중요함
- (부유식 해상풍력 허브) 대규모 부유식 해상풍력단지의 계통연계 및 유지보수를 위한 신기술로서 기술적 완성도와 더불어 경제성을 확보한 사업모델이 창출되어 해상풍력 개발사의 수요를 확보하는 것이 중요함
- (터빈베어링 검사시스템) 산업계 수요가 큰 기술로서 필요성이 있지만 비파괴 초음파 검사시스템의 성능이 확보되어 상업적으로 이용 가능한 수준으로 개발하는지 여부가 중요함
- (블레이드 복합검사시스템) 운전 및 정지 중 블레이드 내외부 비파괴 검사시스템으로서 검사기법 조합과 분석기술의 완성도도 중요하지만 실제 풍력

단지 운전 중 이용 가능한 안전성 확보 및 입증 방안 제시로 운영사의 수요 확인이 중요함

- (지능형 운영지원 솔루션) 운영 중인 다수기, 이중 터빈에 대한 물리모델 구축과 계측데이터 확보와 AI 기반 분석시스템이 중요하므로, 터빈사, 운영사와 연구기관 간 상호협력 및 합의가 필요함

□ 사업화 애로사항

- (초대형 터빈 기본설계) 사업화 개발을 위한 터빈사 합의와 함께 개발품을 국내에 대규모로 보급이 가능하도록 적용 예정 단지의 조기 확보가 중요함. 또한, 시스템 초기설계 이후 블레이드 등 핵심부품 개발이 병행되어야 사업화를 앞당길 수 있음.
- (블레이드 열가소성 수지) 개발품을 국내 터빈사 뿐만 아니라 VESTAS, SIEMENS, GE 등 글로벌 제작사에 공급할 수 있도록 연구 초기 단계부터 협력체계 구축이 중요함.
- (터빈베어링 검사시스템) 베어링 비파괴검사 시스템의 경우 사업화를 위해서는 모형체 테스트 이후 운전 중 터빈을 대상으로 다수의 실적 확보가 중요함
- (블레이드 복합검사시스템) 기존의 블레이드 검사 방법, 주기와 비교하여 개발된 기술이 비교 우위의 경제성과 정확도를 확보하는 것이 중요함
- (지능형 운영지원 솔루션) 사업화를 위해서는 터빈사, 운영사와 연구기관 간에 기술정보 및 데이터의 교류가 핵심으로 보안문제를 극복할 대안이 필요함. 또한, 지능형 운영지원 플랫폼에서 새롭게 제시한 서비스가 운영사에게 수용성이 확보되는 것이 중요함

□ 기술영향 검토

- (초대형 터빈 기본설계, 블레이드 열가소성 수지, 부유식 허브) 과제성과물의 활용을 위해 인증 취득 요건 명시함
- (해양엔지니어링) 해상풍력단지 지반조사 및 해양보증조사의 국내 기술지침 및 표준화를 위해서는 실증데이터와 함께 프로젝트 인증에 포함 등 제도화와 산업계 공동 합의를 명시함

3. 기획연구개발과제 RFP / 기술개요서(연구개발과제기획이력서)

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : 국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계	43
품목명 : 초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구	45
품목명 : 풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발	47
품목명 : 부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토	49
품목명 : 풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발	51
품목명 : 풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발	53
품목명 : 가상 풍력발전기 기반 지능형 운영 지원 솔루션 개발	55
품목명 : 해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발	57
품목명 : 해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발	59

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-1		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input checked="" type="checkbox"/> 원천기술	<input type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
초격차 프로젝트	분야	에너지신산업			
	미션	초대형화를 통해 現 풍력발전시스템의 기술 초격차 실현 및 시장 확대			
	프로젝트	20MW급 극한풍속 적응형 초대형 풍력발전 기술 개발			
R&D 지출성트랙	<input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	국내 설치 환경을 고려한 초격차 형 20MW+급 해상풍력터빈 기본설계 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 2030년 이후 국내외 시장 수요 대응을 위한 초대형 해상풍력터빈 시스템 선행 기본 설계를 완료하고 국산 풍력터빈 상세-제작 설계를 지원하는 표준 설계로 활용 ○ 기본설계 결과물을 활용한 후행 설계 즉시 연계 및 구체적 활용 방안 제시 					
<p style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">* 핵심목표: 20 MW 이상급 해상풍력터빈 기본설계(후행설계 연계·활용 방안 제시), 평균 7~9 m/s의 중-저풍속 설치 환경 고려, IEC-T 등급 설계 적합성 확보</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 해상풍력 설치 환경(풍·해황) 조건, 해외 경쟁사 개발 제품 분석 및 국산 터빈 제작사 의견을 반영한 설계 개념과 기술 사양 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 중·저풍속 지역의 외부 환경 조건과 IEC-T 등급 설계 기준 등 고려 ○ 국산 터빈 제작사 등 수요기업 요구사항을 반영한 시스템 통합 기본설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 수요기업 의견 조사를 통한 시스템·부품 설계 요구사항 도출 - 비용, 유지보수 편의성, 신뢰성 등을 고려한 드라이브트레인 설계 개념 제시 - 블레이드 공력·구조, 허브, 피치 시스템, 주축, 베어링, 증속기(필요시), 베드 플레이트, 요 시스템, 발전기, 나셀, 타워 및 고정식 지지구조물, 제어 시스템 등 기본설계 및 설계 도서 작성(3D 모델 포함) <p>※ 단순 레퍼런스 터빈 수준의 설계가 아니라, 국내 터빈 제작사가 후속 개발에 직접 활용이 가능한 상세 설계에 준한 결과물 도출을 목표로 하되, 시스템·부품에 대한 기본설계 범위를 사업계획서에 구체적으로 제시하고 정량적 성과 지표화하여야 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 설계 적합성 평가 및 결과물 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 국제표준에 근거한 통합 하중 해석 및 구조건전성 평가 수행 - 목표 기술 사양 등 설계 적합성 판단을 위한 공인 검증 결과 제시(설계인증서 등) 					

- 비용 분석 및 후행 상세-제작 설계 연계·활용 계획 수립
 - 시나리오별 cost modelling을 통한 MW당 제작단가 분석 결과 제시
 - 기본설계 결과의 후행 설계 연계·활용 계획 제시

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수
 - 설비용량(MW), 목표 설계 등급(T등급 포함 필수), 비출력률(W/m²), 설계 수명(년)

□ 개발위험 극복방안

- 국내 풍력터빈 제작사가 공동 활용이 가능하도록 정부출연연구소 주관의 산·학·연 등 컨소시엄을 구성하되 1개 이상의 국산 풍력터빈 제작사 참여 필수
- 외부 전문가로 구성된 자문단 그룹을 두고, 회의 참석 등을 통해 과제 진행 상황 공유 등 전담 및 수요 기관과의 원활한 소통 체계 마련 필요
- 과제 선정평가 시 수요기업의 설계 결과물 활용 계획 및 확인서 제출 필수

□ 안전관리 사항

- 해당사항 없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) R&D 지원 및 자국 산업기여도 고려 등 노력에도 불구하고 10MW 이상급 국산 풍력터빈이 부재한 상태로, 국가 에너지 안보 및 공급망 강화를 위한 초대형 해상풍력터빈 국산화 개발이 시급함(해외 경쟁사→2030년, 20MW+ 해상풍력터빈 상용화 출시 예정)
- (기술적) 기존 R&D 결과물의 수요자 공동 활용이 불가능한 것과 해외 설계사 의존도가 높은 문제 해소를 위해, 역량을 갖춘 산·학·연 공동 컨소시엄을 지원하고 관련 엔지니어링 경험 확보를 통한 시스템 통합설계 경쟁력 강화 및 내재화 필요
- (시장적) 2030년 이후의 해상풍력 시장 주도형 제품은 20~25MW급이 될 것으로 전망됨에 따라 초대형 국산 기종 개발이 시급하며, 적기 출시가 불투명할 경우 비용 상승과 안보 이슈 가중, 터빈 공급망 등 연관 산업의 연쇄적 붕괴 우려
- (사회적) 해외 기업의 국내 시장 독과점을 견제하여 MW당 적정 가격을 유지하고, 국내 터빈·부품 공급망 육성을 통한 발전설비 위기 대응력 강화에 기여

□ 활용분야

- 해상풍력터빈 시스템 및 부품 상세 설계·제작

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 48개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 20억 원 내외(총 정부출연금 80억 원 이내)
- 주관연구개발기관 : 비영리기관(정부출연연구소)
- 기술료 징수여부 : 비징수
- 기타사항 : 국산 풍력터빈 제작사 참여 필수(1개 기업 이상)

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-2		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input checked="" type="checkbox"/> 원천기술	<input type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
초격차 프로젝트	분야	에너지신산업			
	미션	초대형화를 통해 現 풍력발전시스템의 기술 초격차 실현 및 시장 확대			
	프로젝트	20MW급 극한풍속 적응형 초대형 풍력발전 기술 개발			
R&D 자율성트랙	<input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	초대형 해상풍력시스템 기술실증 테스트베드 설계 연구 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내에 안정적인 고정식/부유식 해상풍력 개발을 위한 기술실증 테스트베드 설계 및 중장기 운영전략 개발 					
<p>* 핵심목표: 고정식/부유식 초대형 해상풍력터빈 및 연관기술 실증을 위한 테스트베드 입지 확보, 설계(안) 및 운영방안 제시(해상교통안전, 전력계통 연계 등 제약조건 고려 필수)</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 50-100MW 규모 고정식/부유식 해상풍력 기술 실증 테스트베드 입지 및 기능 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 고정식/부유식 기술실증 테스트베드 적합부지 발굴 (3개 이상) - 테스트 베드 인허가 설계, 계통연계, 인프라 구축 기능설계(완결성 확보) <ul style="list-style-type: none"> * 부유식의 경우, 수심 100M 이상 확보 및 계통연계를 위해서 해안에 근접 위치 선정(해안에서 부지 거리 최단 거리) ○ 테스트베드 설계, 기술실증 시나리오, 중장기 운영전략 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 Site 기상 및 해양 조건 분석(Basis-Of-Design) - 초대형 및 신개념 터빈 인증 사이트 (IEC Site 조건 규정 충족) - 단지개발 단계별 적용터빈의 유지보수 기술 개발 사이트 - 다양한 해상풍력 부유체 모델, 계류라인, 다이내믹 케이블 테스트 가능 설계 - 환경 및 유지보수 사전 수행 테스트 베드로 설계 - 실증 시 터빈상태 및 유지보수 등에 관한 계측데이터의 공공목적 제공 허브 역할 ○ 해상풍력 기술실증 테스트베드에 미래 기술 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 디지털 트윈 등 미래 기술 기반 최첨단 테스트베드 및 신뢰성 검증기능 설계 - 해상풍력발전기 및 부유체 검사 및 유지보수에 드론 등 다양한 기술 접목 가능한 테스트베드 시나리오 구축 					

□ 개발위험 극복방안

- 에너지공단, 지자체 등 기존의 테스트베드 구축 실패 사례를 참조하여 극복방안 도출 필요(해상교통, 전력계통 연계 문제가 주요한 장애요인)
- * 테스트베드 내 ESS 설치 필요성 및 방안 검토 필요
- 적합입지 도출을 위해 계획입지 방식으로 다부처 협력 사전 스크린 및 입지 관련 핵심기관 참여 필요
- 본 연구 단계와 실제 구축 단계의 연계를 위한 추진체계의 명확화 필요(향후 운영 가능기관 등)

□ 안전관리 사항

- 해당사항 없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 초대형 터빈 및 해상풍력 선진국은 고정식/부유식 기술실증 테스트베드를 보유하고 있으며 기술개발 및 사업화를 선도하고 있음. 국내의 경우도 기술 실증 테스트베드를 구축할 수 있도록 정부의 적극적인 지원이 시급함
- (기술적) LCOE 저감과 국내 환경에 적합한 실증 모델들의 개발을 위하여 테스트베드 구축이 반드시 필요함. 특히, 부유식 해상풍력은 유럽 기준 환경에 적합하게 실증된 것으로서, 또한, 초대형 대형 부유식 해상풍력을 준비하는 국내에서 국내 환경에 적합한 모델인지에 대한 안전성평가와 실증이 필요하고 동시에 다양한 국내 개발사들이 국내 환경에 적합한 부유체 개발 기술을 검증할 수 있고 기술을 발전 시켜나가야 함
- (시장적) 대부분 해외사들이 원천기술을 보유하고 있어 유럽 기준 환경에 적합하게 실증이 진행 중임. 국내 환경에 적합한 모델인지에 대한 안전성평가(해상교통, 군사 작전, 정보보호, 계통연계등)와 실증이 필요하고 동시에 다양한 국내 개발사들이 국내 환경에 적합한 기술을 검증할 수 있고 기술을 발전 시켜나갈 수 있는 테스트베드를 통해 시장의 주요 플레이어가 될 수 있도록 지원이 필요함

□ 활용분야

- 초대형 해상풍력시스템, 고정식/부유식 BOP 설비 개발 테스트베드
- 해상풍력 유지보수, 환경영향평가 테스트베드

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 24개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 10억 원 내외(총 정부출연금 30억 원 이내)
- 주관연구개발기관 : 비영리기관
- 기술료 징수여부 : 비징수
- 기타사항 : 활용성 극대화 위해 연구결과 지자체 협의과정 포함

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-3		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input checked="" type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
혁신도전형	<input type="checkbox"/> 세계최초 <input checked="" type="checkbox"/> 세계최고				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	풍력 블레이드 생산성 및 재활용성이 향상된 아크릴계 열가소성 수지 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 7단계)				

1. 개념 및 개발내용

개념

- 열가소성으로 재가공/재활용이 쉬우면서, 기존의 에폭시 기반 풍력 블레이드 제조 설비를 활용하여 상온 중합을 통한 블레이드 제작 생산성 또한 증대할 수 있는 아크릴계 수지 시스템을 개발하고, 소재/요소품/실물블레이드 단계의 제작성/성능 검증 및 국제인증 획득

*** 핵심목표 : 블레이드 생산성 개선 10% + 수지/섬유 재활용률 100% 달성(세계최고)**
 (현재 세계최고 재활용률 수준: 75%)

개발내용

- 블레이드 제조를 위한 종합적인 신규 수지 시스템 개발
 - 인퓨전용, 핸드레이업용, 풀투루전용 등 용도별 아크릴계 수지 개발 및 인증
 - 열가소성 수지에 호환 가능한 섬유 사이징제, 접착제 신규 개발
 - 유리섬유 및 탄소섬유 열가소성 수지 계면 물성 및 피로특성 평가
- 블레이드 시제품 제작 및 인증
 - 3MW급 이상, 길이 65m 이상 기존 블레이드 모델을 활용한 제작 및 성능 평가
 - * 블레이드 축소스케일, 부분품 단위 제작 및 성능 시험 포함
 - 블레이드 제조 공정 개발 및 신규 수지 복합재료 물성에 기초한 설계 평가
 - 열경화성 에폭시 복합재료 대비 블레이드 제작 생산성 및 경제성 비교
 - 실물 블레이드에 대한 국제공인 인증 시험 완료 및 인증 취득
- 블레이드 재활용에 대한 기술적 탐색
 - 최적 재활용 모델 수립 및 구조시험 완료된 폐블레이드 재활용 기술 시연

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수
 - 수지 액상 점도(cP), 인장/압축/전단 강도(MPa), 블레이드 생산성 개선(%), 수지/섬유 재활용률(%), 블레이드 부품인증 또는 공인 구조시험성적서 확보 방안

□ 개발위험 극복방안

- 본 기술개발은 신규 수지 시스템 전체가 확보되어야만 블레이드 시제품 제작 및 평가 진행이 가능하므로 개발 시작 단계부터 다수의 소재 업체/블레이드 업체/시스템 업체/인증시험기관이 참여하는 컨소시엄 구성이 필요함
- 개발한 열가소성 수지를 국내 터빈 및 블레이드 제작사 뿐만 아니라 글로벌 리딩 제작사에 공급 가능하도록 연구단계부터 성능요건 및 공급방안 협의 필요

□ 안전관리 사항

- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당 없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 초대형 풍력터빈 핵심 부품인 풍력 블레이드 생산성 향상 및 재활용 기술은 국가 탄소중립 정책 및 재생에너지 기술개발/보급 정책을 뒷받침하는 풍력에너지 기술의 지속 가능성을 가름하는 핵심 기술이며, 특히 블레이드 재활용 기술은 ‘탄소중립 기술혁신 전략 로드맵’에서 제시하고 있는 개발 대상 기술임
- (기술적) 열가소성 수지는 기본적으로 상온에서 고체이며 고온에서도 점도가 높아 그동안 풍력발전용 블레이드에 적용되지 않았음. 최근 유럽을 중심으로 상온 액상형 아크릴계 열가소성 수지의 개발과 함께 재활용 가능 블레이드 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 아크릴계 기반 열가소성 수지는 타 소재 대비 높은 재활용성을 제공하여 풍력산업의 자원 순환성을 높이고, 사용 후 처리비용 절감을 기대할 수 있을 뿐 아니라 상온 중합을 통한 생산성 향상 및 제조 원가 개선도 가능
- (시장적) 풍력 블레이드는 폐기 문제가 심각하여 향후 재활용을 의무화하는 무역 장벽으로 작용될 가능성이 있으며, 풍력산업은 소수 풍력터빈 업체가 세계시장을 과점 중으로 소재 개발을 통한 기술적 혁신이 필요하고, 기존 에폭시와 동등한 물성값 및 가격, 재활용까지 가능한 소재는 이 분야 게임 체인저로 시장 선도 예상됨
- (사회적) 재활용성이 높은 블레이드는 매립이나 소각에 따른 환경 오염을 줄일 수 있고, 풍력 블레이드 제조와 재활용 산업을 중심으로 한 신소재 기술 생태계 구축은 관련 분야의 연구개발, 제조업발전 촉진, 지역 경제 활성화에 이바지할 수 있음

□ 활용분야

- 풍력 블레이드, 자동차, 해상선박, 항공, 방산 등 복합재료 적용 분야

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 48개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 20억원 내외(총 정부출연금 150억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업 참여 필수, 세계 최고수준의 목표 증빙 제시

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-4		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input checked="" type="checkbox"/> 원천기술	<input type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
혁신도전형	<input checked="" type="checkbox"/> 세계최초 <input type="checkbox"/> 세계최고				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 5단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 부유식 해상풍력 발전단지들의 전력을 모아 육상으로 대규모로 송전하며 계통연계의 유연성을 제공할 수 있으며 외해에서 유지보수 거점 역할이 가능한 부유식 해상풍력 허브 개발 					
<p>* 핵심목표 : 수GW~수십GW급 부유식 해상풍력단지 연계가 가능한 부유식 해상풍력 허브(대형 부유식 구조물, 전력설비, 유지보수 항만 등) 개발(세계최초)</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 부유식 해상풍력 허브 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 부유식 해상풍력 허브 조사 및 설계조건 정립 - 수GW~수십GW급 전력허브용 부유식 구조물 및 위치유지장치 개발 - 부유식 허브 플랫폼 운동성능 모형시험 및 성능평가 - 전력설비(변환, 스위치, 제어 등) 배치 및 다이내믹케이블 연결 설계 - 부유체 거동에 대한 전력설비 안정성 해석 및 평가 - 부유식 허브 내 유지보수 항만 및 거점 설계 ○ 국내 해상풍력 허브 타당성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 고정식/부유식 해상풍력 허브 입지 및 수요, 연계용량 분석 - 국내 고정식/부유식 해상풍력 허브 중장기 개발 전략 개발 - 국내 부유식 해상풍력 허브 사업모델 도출 - 부유식 허브 기반 전력망 비용 및 유지보수 비용 도출 - 분산형 발전단지 및 부유식 허브 연계 발전단지 경제성 분석 및 비교 					
<p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수</p> <p>- 허브 연계 용량(GW), 부유식 허브 구조물 면적(m²) 및 중량(ton)</p>					

□ 개발위험 극복방안

- 연구 초기에 국내 고정식/부유식 해상풍력 허브 수요 및 중장기 전망을 분석하여 부유식 해상풍력 허브 설계 요구사항 정의
- 유럽 등 해외사례를 참고하고 해외 연구기관 및 개발사와 협력체계 수립 혹은 일부 분야 연구 참여 가능
- 국내외 기술 수요를 고려한 개념설계와 함께, 수심, 파고 등 외부환경, 터빈, 단지구모 등 실제 물리적 요소를 고려한 상세 설계검토를 위하여 국내 특정지점 (예: 울산 부유식)을 가정한 설계 가능

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 부유식 해상풍력 발전단지가 대형화되며 외해로 나아감에 따라 전력망 연계비용과 발전단지 유지보수 비용이 증가하여, 발전단지 개발의 저해요인이 되고 있음. 이에 따라 해상풍력의 확대를 위해 전력망 비용을 낮추고 원해의 유지보수 거점 역할이 가능한 부유식 해상풍력 전력 허브를 개발하는 것이 필요
- (기술적) 유럽을 중심으로 에너지섬이나 해저 전력허브 등의 개발이 추진되며 대규모 해상 풍력단지의 전력망 비용 저감과 안정성을 높이는 사업이 추진되고 있음. 국내 부유식 해상 풍력단지 확대에 따라 선제적으로 부유식 해상풍력 허브를 개발하여 관련 기술을 개발하여 장기적으로 부유식 해상풍력 발전단지 확대를 지원할 필요가 있음
- (시장적) 부유식 해상풍력 허브 개발은 전력망의 안정적 구축과 시공 기간 및 비용 감소를 통해 부유식 해상풍력 확대를 유도할 수 있으며 분산형 발전단지보다 계통비용을 20% 낮출 수 있다는 결과도 발표됨. 부유식 허브는 원해의 대규모 풍력단지 유지보수를 위한 거점으로서 육지로부터의 유지보수를 위한 인력 및 장비의 운송 비용을 저감하여 경제성에 유리하고 풍력발전단지의 확대에 기여
- (사회적) 집적화된 부유식 해상풍력 발전단지들의 전력망 연계의 유연성과 안전성 관리 측면에서 발전단지들의 발전전력을 육지계통까지 안전하게 송전하는 것이 중요하며, 부유식 해상풍력 허브의 경우 통합된 전력망에서 관리가 가능하여 안정적 전력 생산이 가능

□ 활용분야

- 원해형 대규모 부유식 해상풍력 발전단지 개발

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 10억원 이내(총 정부출연금 35억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 비영리기관
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 없음

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-5		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	풍력발전기 구조 연결 볼트 및 베어링 현장 검사 시스템 개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 6단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 해상풍력발전기 구조물 안전의 주요 부품인 구조 연결 볼트와 베어링의 분해 없이 내부 결함 및 이상을 검사할 수 있는 지능형 검사 시스템 개발 					
<p>* 핵심목표 : 해상풍력발전기 구조 연결 볼트* 및 베어링 내부 현장 비파괴 검사 시스템 개발</p> <p>* 구조 연결 볼트 : 타워 체결 볼트와 블레이드 인서트 볼트</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 해상풍력발전기 구조 연결 볼트 및 스플링된 베어링 내부 파손 및 변형 검사를 위한 비파괴 센싱 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 대상 맞춤형 초음파 (배열)센서 설계 및 제작 - 센서 연계 포터블 트랜시버(transceiver) 구축 ○ 다채널 센서 데이터 측정 및 내부 부품 진단 기술이 포함된 현장 검사 기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 볼트 이상 진단 알고리즘 개발 및 통합 시스템 구성 - 베어링 내부 진단을 위한 신호처리 원천기술 개발 및 검증용 시스템 구성 - 내부 결함/형상 변화 인자 도출 및 검출 능력 향상을 위한 인공지능 모델 개발 ○ 실규모 풍력발전기의 현장 시험을 통한 구조 연결 볼트 검사 기술 검증 ○ 풍력발전기 베어링의 모사 구조물에 대한 실험실 규모의 손상 검사 성능 검증 					
<p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 수준 제시 필수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 볼트 내부 결함 탐지 최소 크기(mm), 형상변화 판정 정확도(%) - 베어링 손상 탐지 센서 해상도(mm), 손상 탐지 정확도(%) 					
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안					
<ul style="list-style-type: none"> - 현장 유지보수 작업의 자동화를 위한 기초 단계로 외부 이물질 유입 방지를 위한 밀봉된 베어링 손상 및 볼트 내부 균열 탐지를 위한 비침습(non-intrusive) 검사 기술 개발 필요 - 대형 메인베어링 조립 형태 및 물성치 획득을 위한 실제 풍력발전기 제조사 또는 					

운영사의 협력 방법 제시 필요

- 실제 풍력발전기를 대상으로 한 적용 가능성 평가 및 검증 필요

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 풍력발전단지의 운영·관리 기술은 국내/외로 수요가 급진적으로 늘어나는 추세이며, 특히 외산 풍력발전기의 설치가 급격하게 증가하는 경향에 대응하기 위해서, “24년 재생에너지 보급 확대 및 공급망 강화 전략”에서 안정적 풍력단지 운영·관리를 꼽고 있으며, 이에 해당 기술의 경쟁력 강화 및 국산화 개발이 시급함.
- (기술적) 볼트 검사 기술은 기존에 다양한 분야에 적용되고 있으나, 풍력발전기 블레이드 및 타워와 같은 협소한 공간에서 작업자가 검사 가능한 맞춤형 센서 모듈 및 데이터 획득 장치 개발이 필요함, 또한, 풍력발전기 베어링은 케이싱, 씰커버, 윤활제 등 다양한 요소가 외부로 감싸고 있어서 기존의 기술로는 내부에 대한 검사가 불가능하여, 실험실 수준에서 개발 중인 첨단 검사 기술을 현장에 적용할 수 있는 원천 기술 개발이 필요함. 현재 풍력발전단지에서 이루어지고 있는 정기적 예방정비 시 볼트 및 베어링에서 대한 검사를 통해, 결함에 대한 조기 발견이 이루어진다면, 풍력발전기의 비계획적 정지(발전 손실) 없이 수리 및 교체에 대한 최적 일정 수립이 가능하고, 이에 따른 비용 절감이 기대됨.
- (시장적) 글로벌 풍력발전단지의 운영·관리(O&M) 시장 규모는 2021년 116억 달러에서 2028년까지 약 276억 달러에 달할 것으로 예측됨. 운영 자원의 관리 비용 증가가 예상되므로 비용 효과적인 관리 기술 및 전략 수립이 필요함. 유지보수 작업은 국내 업체를 통해 이루어질 것으로 예상되며, 이에 따른 시장의 점진적 확대가 예상됨.
- (사회적) 현재 베어링 검사는 케이싱 및 씰 커버의 분해 후 가능하여 많은 작업 인력 및 시간을 요구하고 있으며, 구조 연결 볼트의 손상은 타워 전도 및 블레이드 파손과 같은 대형 사고에 직접적인 원인이 되고 있음. 이를 개선하기 위한 유지보수 작업 자동화는 필수적인 기술이 되고 있으며, 향후 인력 대체를 위한 로봇 기술과의 융합을 통해 작업자 안전 및 작업 효율 극대화가 기대됨.

□ 활용분야

- 해상풍력발전단지 운영 시스템 및 유지보수 의사 결정 지원 시스템

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 10억원 이내(총 정부출연금 50억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
 - * 중소기업 또는 중견기업 주관이 아닌 경우, 참여 유무 명기
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업(발전사 또는 유지보수 사업자) 협력 필수

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-6		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연전소사업 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	풍력발전 블레이드 손상 검출용 복합검사시스템 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				

1. 개념 및 개발내용

개념

- 풍력발전기 블레이드 표면 및 내부 손상을 비접촉, 비파괴적 방식으로, 운전 및 정지 중 대규모 풍력단지에서 다수의 블레이드에 대해 연속적으로 신속하게 검사 가능한 복합시스템 개발

*** 핵심목표 : 풍력발전기 가동 중 블레이드 표면검사 및 자동 분석 (풍속 10m/s까지 검사 가능, 내부 비파괴 검사 및 분석 기능 포함)**

개발내용

- 풍력발전기를 정지시키지 않고 운전 중에 블레이드 표면의 크랙이나 리딩에지의 마모 등을 검사하는 기술 개발
- AI 기반 이상 탐지 알고리즘 및 분석 S/W 개발
- 운전 중 블레이드 자동 스캔 및 검사 가능한 무인항공기 연동 검사시스템 개발
- 풍력발전용 블레이드 one-stop 검사 프로세스 개발
 - 유지보수 단계별 적용 기술 조합 선정
 - 검사 주기 및 항목 분석
 - 경제성, 안전성 분석
- 블레이드 표면 및 내부 손상 검사 기술 및 진단 가이드 개발
- 개발 요소기술 실증용 테스트벤치 구축 및 성능 검증
- 풍력단지 현장 검사를 통한 개발 시스템 유효성 검증(기술 대체 가능성 입증)

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수

- 풍력발전기 운전 중 블레이드 표면검사 방안, 표면이상 진단 및 내부 비파괴검사 방안
- 육해상 풍력단지 대상 블레이드 검사시간 단축 목표
- 표면검사 및 내부 손상 검사 정확도(%)
- 운영 안전성 입증 방안 (실제 풍력단지에서의 운영 및 검증 조건 제시)

□ 개발위험 극복방안

- 풍력발전기 운전 중 블레이드 표면을 검사하는 기술은 세계 최초의 기술로 장비 탑재를 위한 무인항공기의 페이로드 증가, 초고속 촬영 및 자동 분석 기술 등 해결해야 할 위험 요소가 있으나 각각의 분야에서는 어느 정도 완성된 기술이므로 이를 통합하여 운용하기 위한 관련 기술을 전문으로 하는 컨소시엄 구성을 통해 개발 위험 극복 필요함
- 무인이동체를 이용한 운전 중 검사의 안전성, 인허가 가능성, 운영사의 수용성 등 제약조건을 극복할 해결책 제시 필요
- 경제성, 효율성, 수용성 등을 고려한 운전 중 검사 및 내부 손상 검사를 위한 비파괴 검사의 기술조합 제시 필요

□ 안전관리 사항

- 해당 없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 재생에너지 확대를 위해 효율적이고 경제적인 유지보수 기술이 요구되며 풍력 발전 블레이드 손상 검출 기술은 풍력발전단지의 운영 효율성을 높일 수 있는 핵심적인 기반을 제공할 수 있음
- (기술적) 고정밀 무인항공기 기술을 이용한 접근성 향상, 고해상도 이미지 촬영 기술, AI 기반 이미지 분석 및 이상 탐지 등 첨단기술을 집약하여 신속하고 정밀한 진단이 가능한 복합검사시스템 필요
- (시장적) 블레이드 손상으로 인한 사고를 예방하여 풍력 설비 안전성을 향상시키고 가동율을 증대하여 운영수익 극대화 할 수 있으며, 개발 성공시 세계 최고의 기술로 세계시장 선점 가능
- (사회적) 풍력발전단지의 효율적 운영 및 유지보수 기술 발전은 탄소중립 실현과 재생에너지 확대를 위한 필수적 요소이며, 사고 예방 및 설비 가동율 향상을 통해 환경 오염을 최소화하고 안정적인 에너지 공급 기반 마련 가능

□ 활용분야

- 풍력발전용 블레이드 손상검사

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 20억원 이내(총 정부출연금 80억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 발전단지 운영사 수요기업 참여 필수

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2025 - 신재생 - 풍력 - 품목 - 7		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차프로젝트 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스연계형				
혁신도전형	<input type="checkbox"/> 세계최초 <input checked="" type="checkbox"/> 세계최고				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	가상 풍력발전기 기반 지능형 운영 지원 솔루션 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계 최초로 실시간 측정치를 통해 실물 풍력발전기와 양방향 정보 전달하는 가상 디지털 풍력발전기 구축 및 AI 기술을 응용하여 국내 공통 적용이 가능한 풍력발전기 운영 및 유지보수 의사결정 지원 솔루션을 개발 					
<p>* 핵심목표 : 실시간 측정과 디지털 모델의 예측 기능이 연계되고 수명예측 기능이 포함된 풍력발전기 지능형 운영 솔루션 개발 (세계최고) (가동 중 3기 이상 풍력터빈 대상 개발 필수)</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 풍력발전기 주요 요소의 물리 모델을 구축하여 운전 데이터를 모사하고, 실시간으로 측정 결과 피드백 및 모델 최신화를 수행하는 디지털 가상 풍력발전기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 풍속 및 풍향을 이용하여, 발전 출력을 예측하는 기술 개발 - 실시간 풍속 및 풍향을 이용하여, 주요 부품(블레이드, 타워, 드라이브트레인 등)의 하중을 예측하는 기술 개발 - 실시간 풍속 및 풍향을 이용하여, 각 구성 요소의 온도, 진동 등의 SCADA 및 상태감시시스템 주요 측정 항목에 대한 예측 기술 개발(세계 최고) - 예측과 측정의 차이를 최소화하는 모델 최신화를 통한 모사 정밀도 향상 기술 개발(세계 최고) ○ AI기술 기반 잔여 수명 예측을 통해 유지보수 의사결정 기술 개발(세계 최고) <ul style="list-style-type: none"> - 측정과 디지털 모델의 출력치에 기반하여, 풍력발전기의 이상 유/무 진단하는 기술 개발 - 현재 상태 기반하여, 주요 부품의 잔여 수명을 예측하고, 이에 대한 유지보수 작업을 제안하는 AI기술 개발 					
<p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 제시 필수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 디지털 모델 검증용 SCADA 및 상태감시시스템 데이터 터빈 개수(개) 및 기간(개월) - SCADA 및 상태감시시스템 측정 항목(출력, 하중, 진동, 온도 등 필수 포함하여 5개 이상)에 대한 디지털 모델의 모사 항목 변수 개수(개) 및 정밀도(%) - 디지털 모델 출력치에 기반한 잔여 수명 예측 항목 제시(개) 					

□ 개발위험 극복방안

- MW급 풍력발전기 가상 디지털 모델 구축을 위한 필수 정보(설계값, 도면 등) 획득 방법 제시 필요(풍력터빈 제작사 협력 혹은 참여)
- 실제 풍력발전기 SCADA 데이터 및 상태감시 데이터 획득 방법 제시 필요
- 국내 풍력단지 공통 적용을 위한 open source 기반 디지털 모델 개발 필요
- 개발시스템에 대한 제3자 검증 및 AI 학습과 Rule Base 유비보수 기법 비교 분석 필요

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 풍력발전단지의 운영·관리 기술은 국내/외로 수요가 급진적으로 늘어나는 추세이나, 국외산 터빈이 설치되는 해상풍력 발전단지의 증가로 인해, 운영·관리 기술 종속이 향후 풍력산업 경쟁력 약화로 이어질 수 있음. 국내 풍력발전단지의 독자적 기술에 의한 운영을 위한 시차 단계로, 국산 풍력발전기의 디지털화를 통해 국내 풍력단지에서 공통으로 사용할 수 있는 오픈소스 기반 디지털 모델 기술 개발이 시급함.
- (기술적) 기존의 국외 디지털 모델은 단방향 정보 전달(측정)에 의한 단순 출력과 하중을 예측하는 디지털 모사 모델(simulator) 수준으로 현재의 상태만 보여줄 뿐, 미래를 예측하는 기술엔 한계가 존재함. 이를 극복하기 위하여 실물 풍력발전기와 가상 풍력발전기 사이에 상호 정보 전달을 통한 모델 최신화(model update) 기술을 적용된 디지털 트윈 모델을 개발하여, 운전 중 경험하지 못한 상황에 대한 데이터 생성 및 시간 경과에 따른 진동, 온도 등의 변화를 예측하는 기술 개발이 필요함. 이를 통해, 세계 최고 수준의 주요 부품 잔여 수명 및 운전 조건 결정 등의 운영자 의사 결정을 지원하는 기술 개발이 가능하며, 디지털 모델과 AI 기술이 결합된 감시/진단/예측 기술을 기존 플랫폼에 연계하여, 발전기 운영사의 실질적인 비용 절감 기대됨.
- (시장적) 글로벌 풍력발전단지의 운영·관리 시장 규모는 2021년 116억 달러에서 2028년까지 약 276억 달러에 달할 것으로 예측되며, 기존 육상 풍력발전단지 및 최근 조성되는 해상풍력단지에 공통적으로 적용 가능한 효과적인 비용 절감 기술 개발을 통해, 국내 풍력발전 경쟁력 강화가 필요함.
- (사회적) 풍력발전단지 가동률 향상 및 비용 효율적 O&M 전략 수립을 통해 풍력발전 LCOE 하락을 유도하고, 지속 가능한 국내 O&M 분야 공급망 육성에 기여할 수 있음. 생산 인력 감소에 대비한 운영 및 유지보수 인력 절감을 위한 운영 자율화를 위한 기반 기술인 완전한 형태의 가상 풍력발전기 구축 기술 개발이 필요함.

□ 활용분야

- 육/해상풍력발전단지 운영 시스템 및 유지보수 의사 결정 지원 시스템

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 48개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 20억원 이내(총 정부출연금 80억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
 - * 국내 공통 적용을 위해 특정 풍력시스템사 주관 제외 및 연구기관, 시스템사, 운영사, O&M 서비스사 등 협업 필요
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업(풍력발전기 운영사) 참여 필수

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025 - 신재생 - 풍력 - 품목 - 8		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input checked="" type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	해상풍력단지 지반조사 성능기준 표준화 및 기반기술 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				

1. 개념 및 개발내용

개념

- 해상풍력 고정식/부유식 하부구조물 설계를 위한 지반조사의 시험 및 분석 방법에 대한 기준 및 절차서 개발 및 실증 (국내 기준 개정 및 산업계 합의 필수)

*** 핵심목표 : 해상풍력 기초 설계용 연속적 지반정보 획득, 현장 샘플링, 설계정수 평가 등 지반조사 성능기준 표준화 (국내 3개 지역 이상, 고정식 하부구조물 + 부유식 앵커구조물 설계 대상)**

개발내용

- 해상풍력단지에 적용되는 다양한 기초의 설계심도 이상 연속적 지반 조사가 가능한 전용 조사 장비 개발
- 해상풍력단지 유의파고 2 m 이하 환경에서 연속적인 해저 지반조사 기술 개발
- 경제성 및 안정성을 고려한 최적 관입위치 선정방안 및 교란을 최소화한 현장 샘플링 및 분석 기술 개발
- 신뢰성 높은 해저 지반 데이터를 확보하기 위한 현장시험과 실내시험 방법 및 분석시스템 개발/실증
- 현장시험, 실내시험, 해양물리탐사 등의 결과를 통합한 해상풍력 기초 구조물 지반 설계정수 평가기술 개발 (고정식*, 부유식** 기초구조물 형식별 제시)
 *고정식: 모노/자켓/석션 파일, 중력식 **부유식: Drag 앵커, 석션 파일
- 해상풍력 해저 지반조사 방법, 분석 결과 정리, 결과 보고서 등의 표준화 및 국내 인증 시스템을 수립하고, 이 시스템에 대한 국제적 수준의 제3자 인증을 획득 (지반조사기준 인증 절차 개발)
- 국가 중요 해양지반정보 유출방지 및 기술경쟁력 확보를 위한 해상풍력단지 지반 정보 통합 관리방안 수립

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수
 - 측정심도(m), 측정수심(m), 해상풍력단지 유의파고(m), 인증시스템 수립 및 국외 인증 획득(건)

□ 개발위험 극복방안

- 해저지반 물성정보 획득 기술은 육상 지반조사에 비해 고난이도이며, 해상 기상상황에 따라 다양한 변수가 발생 가능하므로, 해상에서 정위치가 유지되는 전용 선박 혹은 장치를 활용하여 정밀한 해저 지반 데이터 및 현장 불교란 시료 획득 가능
- 해상풍력단지 개발사 및 운영사 참여로 연구성과의 활용성을 강화하고, 현장 실증을 통한 기술적, 경제적 가능성 입증으로 단지 개발사의 수용성 확보
- 기존 국내 해저지반조사 관행을 뛰어넘는 세계적 수준의 해상풍력 지반조사 기술 확보 및 국내 기준 개정을 주도하고, 국가 중요 해양지반정보를 효율적으로 관리할 수 있는 공공기관 참여 필요(프로젝트 인증에 포함)

□ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」 로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (기술성) 국내 고정식의 경우, 수심 30~60m 연약지반에서 해양지반탐사 전용 플랫폼 및 지반 데이터 정밀 분석기술과 관련한 국산화된 인프라가 부재하고, 해상 풍력발전기 모노, 자켓 파일의 마찰지지 설계를 위한 정밀 해저 지반조사 및 데이터 분석 기반기술이 전무하여 해외기술에 의지하고 있음. 부유식 해상풍력을 위한 지반조사의 경우에도, 앵커구조물 설계를 위한 지반데이터 분석 및 설계정수 평가 기술이 부족함.
- (경제성) 해상풍력단지 조성 시 400MW 단지 15MW 터빈 기준 약 35공 해양지반탐사가 필요하여 향후 약 2,400공 지반조사가 필요하나 국내 관련 해양지반탐사 인프라가 없어 해외장비 투입에 의한 사업비 및 사업기간 증가 예상
- (정책성) 국내 기술 표준화 및 기술 자립화 지연 시 해외업체에 의한 국내시장 잠식 및 국가 중요 지반정보 유출 우려

□ 활용분야

- 해상풍력 고정식 하부구조물 설계 분야
- 해상풍력 부유식 앵커구조물 설계 분야

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 48개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 25억원 내외(총 정부출연금 120억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업 (국내기준 개정, 정보관리 고려 컨소시엄 주관 필요)
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업 참여 필수, 선박 설계·제조에 대한 과업은 포함되지 않음

'25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2025-신재생-풍력-품목-9		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		신재생에너지	풍력
해당여부	<input checked="" type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	해상풍력 해상보증조사(MWS) 기술지침서 국내 표준화 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 해상풍력단지의 건설단계에서 수행되는 발전기, 하부구조물 등의 선적, 운송 및 설치와 관련된 안전성 기술지침 국내 표준화로 보험사 요구의 MWS 대응 및 국내 자체 MWS 수행 기반 구축 					
<p style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center;">* 핵심목표 : 국내 여건에 적합한 해상풍력단지의 선적, 운송 및 설치단계 MWS 지침 개발 및 주요 공정 적용사례집 개발(산업계 합의 도출)</p>					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 해상풍력 운송설치 사례 및 장비 여건 조사 및 분석 ○ 국내 해양환경(파랑, 조류 등을 포함한 해황 및 태풍 등을 포함한 풍황) 및 운송 여건(운송시간, 운송장비 등) 조사 및 분석 ○ 해상풍력 구성요소에 대한 선적, 운송 및 설치와 관련된 국내외 표준(standard), 지침(guideline) 및 규정(code) 조사 및 분석 ○ 국내 여건을 반영한 해상풍력 조건별 선적, 운송, 설치 절차 및 관리지침서 개발 <ul style="list-style-type: none"> ※ 육상운송, 보관, 선적, 해상운송, 설치 등 공정 및 형식별 기록관리방안 등 보험사 요구사항 포함 ○ 가상 또는 실제 현장조건에 대한 주요공정(선적, 고박, 운송, 인양 등) 적용사례집 개발 ○ MWS(Marine Warranty Survey) 요건 부합도 평가, 이해관계자 합의 및 국내 공인 절차 시행(제3기관 검증) 					
<p style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수 - MWS(Marine Warranty Survey) 요구조건 부합 수준</p>					
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안					
- 선적, 운송 및 설치에 대한 안전확보를 위해서는 지침에서는 절차(procedure),					

문서(documentation) 및 관련된 공학적 해석에 대한 내용도 필요함

- 기준 및 관리지침 개발시 풍력발전기 시스템사, 운송 및 건설 관련회사, 보험사 등과 같은 이해관계자의 의견 조율 및 합의가 필요(이해관계자 공청회 등 조율 및 합의 방안 제출, 재보험사 검증)
- 본 연구결과를 활용한 MWS 국내 자체 수행을 위해 사업자, 설계사, 설치사, 보험사, 투자사 등 이해관계자 협력 및 국내 산업계 합의 도출 필요
- 국내외 인증기관 및 관련 기관(국제 해상 보증조사 협회) 참여 혹은 협력으로 산업계 수용성 확보

□ 안전관리 사항

- 해당사항 없음

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- (정책적) 본격적인 해상풍력 시장 확대에 대비하여 해상풍력 운송 및 설치에 있어서 건설 및 해양사고 예방 및 관련 산업 육성이 필요한 실정임.
- (기술적) 해상풍력 건설공사에 핵심인 선적, 운송 및 설치에 관련된 국내 기술 및 인프라 부재로 인해 현재 진행 중이거나 진행 예정인 해상풍력의 건설공사 지연되거나 공기연장이 예상되고 있으며 해상보증조사(MWS)가 주로 특정 해외사의 노하우에 의해 이루어짐에 따라, 국내 기술력 육성의 어려움이 예상됨.
- (시장적) 2030년까지 14.3GW 규모의 해상풍력발전을 개발하기 위해 약 100조원의 시장이 형성될 것으로 추정되고 있음. 이중 풍력발전기 및 하부구조 등의 운송 설치 비용은 전체비용의 약 10%(NREL, 2022 Cost of Wind Energy Review, '23.12)로, 운송 및 설치 분야의 약 10조원의 시장이 형성될 것으로 전망됨.
- (사회적) 기후변화에 대응하기 위하여, 친환경 해상풍력 시장은 지속적으로 성장할 것으로 기대되고 있으며, 국내 산업의 안전에 대한 관심 및 규제가 강화되고 있음에 따라 운송 설치 분야의 안전성 관리기술에 대한 필요성은 지속적으로 증대될 것으로 판단됨.

□ 활용분야

- 고정식 해상풍력의 발전기, 하부구조물 등의 선적, 운송 및 설치 MWS
- 부유식 해상풍력 시스템의 운송 및 설치 MWS

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 10억원 내외(총 정부출연금 30억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
- 기술료 징수여부 : 비징수(산업계 공공 활용 목적, 대외 공개 전제로 개발)
- 기타사항 : 수요기업 참여 필수