

해상풍력발전 동향

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
정준환 전임연구원(helpme@kdb.co.kr)

I. 해상풍력발전 개요

II. 해상풍력발전 산업 동향

III. 해상풍력발전 정책 동향

IV. 향후 전망 및 시사점

해상풍력발전은 풍력터빈과 터빈을 지지하는 하부구조물, 생산된 전기를 수송하는 전력 계통으로 구성된다. 또한, 사업을 설계하고 운영하는 개발사업자를 중심으로 지자체·어민, 정부 부처 등의 다양한 이해관계가 존재해 입지 개발, 전력 계통, 보조금 정책 등 정책 인프라의 역할이 중요한 산업이다.

글로벌 해상풍력 시장은 유럽과 중국을 중심으로 가파르게 성장 중이며, 현재 국내는 124.5MW의 해상풍력이 상업 운전 중으로 '30년까지 12GW 준공을 목표 중이다. 해상풍력발전의 비용감소를 위해 발전단지와 터빈 용량의 대형화 추세가 뚜렷하며, 대단지 구성을 위해 발전단지와 해안간 거리도 증가하고 있어 넓은 해역확보가 가능한 부유식 해상풍력이 주목받고 있다.

유럽은 정부 주도의 입지 개발, 효율적인 전력 계통 구축, 시장 성숙도에 따른 보조금 지원 등 선진제도를 구축해 해상풍력의 사업성을 확보한 상황이며, 중국은 강력한 보조금 정책을 통해 해상풍력발전 확대에 성공 후, 지속 가능한 산업생태계 형성을 위해 제도 정비를 추진 중이다. 우리나라는 해상풍력발전의 보급 지체 요인 해소를 위해 정부 주도의 제도 개선, 법안 및 정책 발의가 진행 중이다.

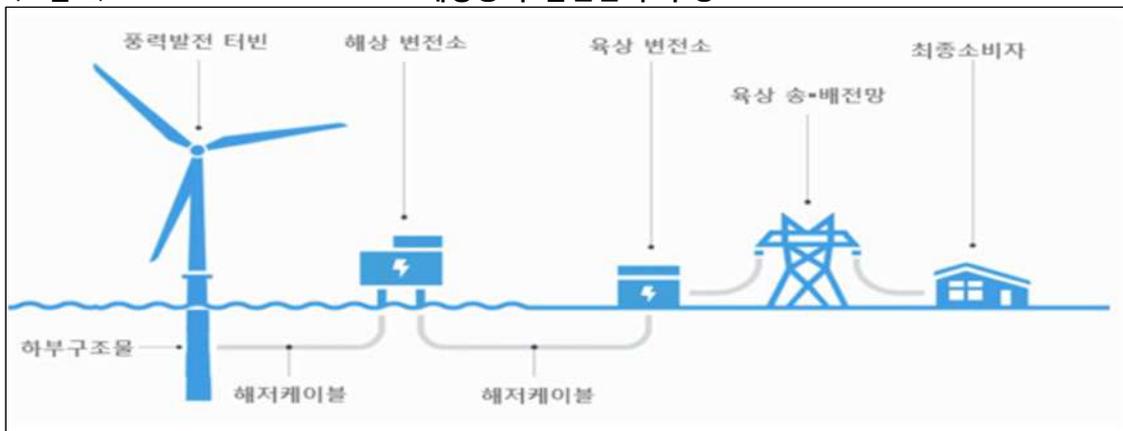
전 세계적인 탄소중립 질서 대응을 위해 해상풍력발전의 중요성은 점점 커질 것으로 전망된다. 높은 잠재력을 보유한 국내 해상풍력발전은 전력 계통 용량 및 배후 항만 확보를 통해 추후 산업의 확대에 대응해야 하며, 차질 없는 보급을 위한 선도국의 성공 사례 연구도 병행되어야 할 것이다.

* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

I. 해상풍력발전 개요

- 해상풍력발전은 전기를 생산하는 풍력터빈, 터빈을 지지하는 하부구조물, 생산된 전기를 수송하는 전력 계통(케이블, 변전소)으로 구성

<그림 1> 해상풍력 발전단지 구성



자료 : www.orsted.com, 산업은행 재구성

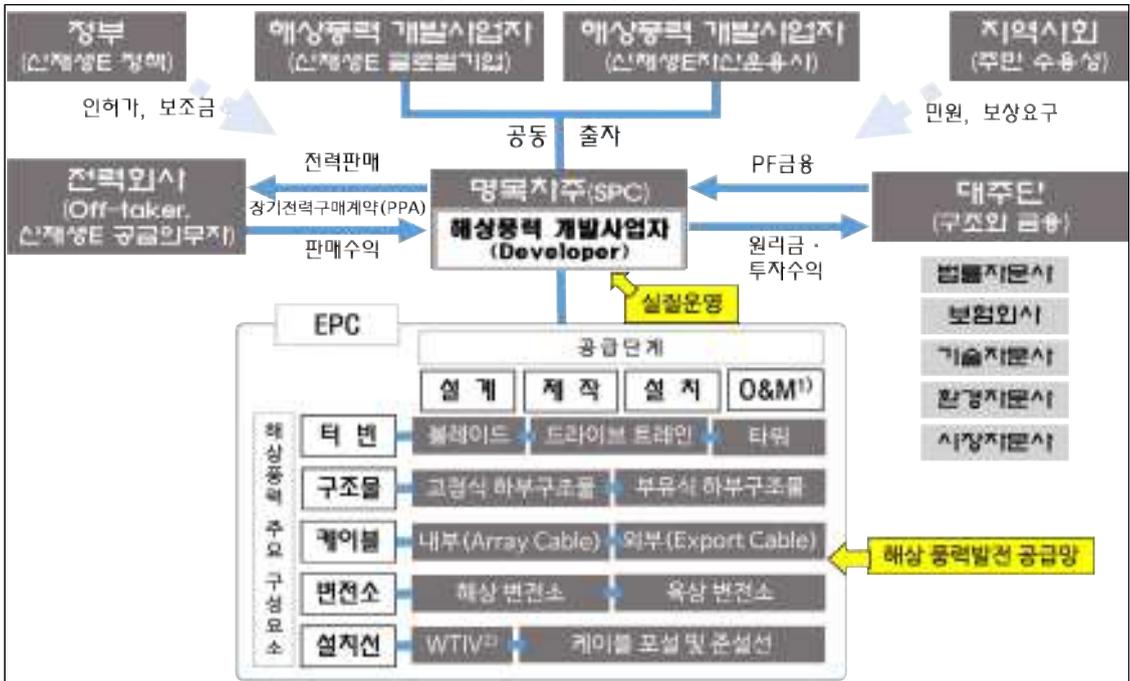
- 육상풍력과 같은 풍력터빈에 하부구조물, 해상에서 육지까지 송·배전을 위한 전력 계통이 추가되므로 육상풍력 대비 BOP¹⁾ 비용의 비중이 높음
 - 하부구조물은 해상에서 터빈 시스템을 지지하며 해저에 고정되는 고정식, 해상에 띄워지는 부유식으로 구분
 - 대용량 터빈으로 대단지를 구성하여 BOP 비용을 낮추는 것이 유리하며 이를 위해 터빈과 단지 규모가 대용량화되는 추세
- 해상에 설치되는 특성으로 인해 구성 요소들의 운송 비용과 설치 난도가 높아 현지 공급망 확보가 중요
 - 터빈, 하부구조물 등 구송 요소들의 부피가 크고 무거우며 설치를 위해 풍력 터빈 설치선, 케이블 준설선 등 특수선박이 필요
 - 대부분 터빈, 하부구조물 등은 현지 거점항만에서 조립되기 때문에 거점항만 확보는 안정적인 공급망 확보를 위한 필수요소

1) BOP(Balance Of Plant), 터빈을 제외한 하부구조물, 전력 계통 등의 부대설비

□ 해상풍력 발전단지 개발사업은 개발사업자를 중심으로 다양한 이해관계자들이 얽혀있어 개발 난도가 매우 높음

- 해상풍력 발전단지 개발사업은 통상 PF2)방식으로 개발되어 사업의 기획과 운영이 수익 창출의 핵심이기에 개발사업자의 역량이 중요
 - 개발사업자는 사업구조 설계와 입지 개발, 각종 인허가 획득, 시공, 운영 및 유지보수까지 해상풍력발전 사업 전체 과정에 관여

〈그림 2〉 해상풍력발전 사업 구조도



주 : 1) Operation & Maintenance

2) Wind Turbine Installation Vessel, 풍력터빈 설치선

자료 : 최근 국내외 해상풍력 PF 구조도를 참조하여 당행 재작성

- 해상풍력 발전단지 개발사업은 지자체·어민들과의 주민 수용성, 정부 부처의 인허가 등 다양한 이해관계로 인해 개발 절차가 복잡하고 사업의 불확실성이 높음
 - 일반적으로 계획부터 준공까지 6년 이상 소요되며 긴 개발기간으로 인해 인허가, 보조금 등 정책의 변화에 취약

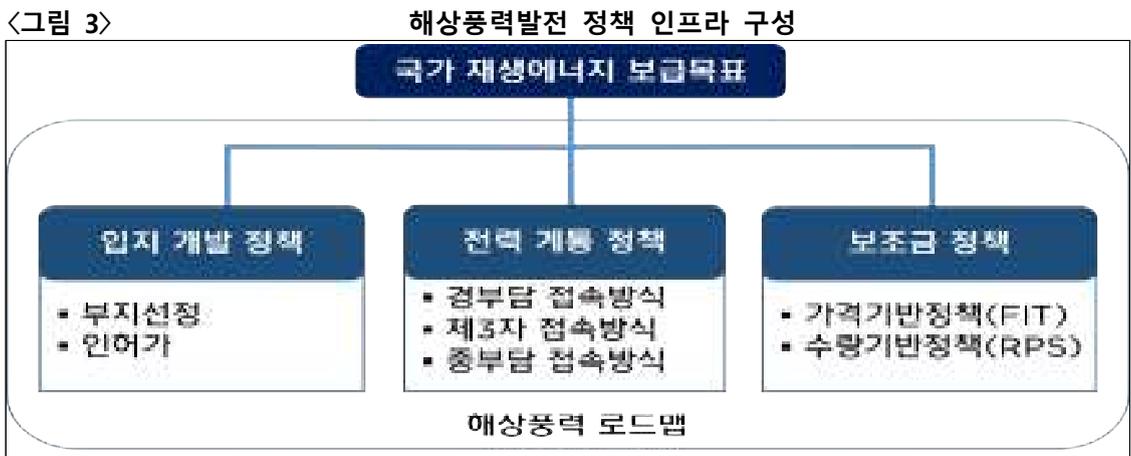
2) PF(Project Financing), 프로젝트의 사업 계획, 수익성 등을 보고 자금을 조달하는 금융기법

□ **산업의 특성으로 인해 정책의 역할이 중요하며, 해상풍력발전 주요 선도국들은 정책 인프라를 확보**

- 정책지원을 통해 해상풍력발전 사업의 거래비용 절감, 불확실성 해소 가능
 - 정부 정책을 통해 다양한 이해관계 조정을 제도화하여 인허가 등에 필요한 소요 기간 단축 가능
 - 일관성 있는 정책 추진으로 소요 기간이 긴 해상풍력 발전단지 개발사업의 안정성을 보장

- 해상풍력 정책 인프라는 거시적인 방향을 제시하는 로드맵에 입지 개발, 전력 계통, 보조금 정책 등 세부 정책이 포함되어 구성

<그림 3>



자료 : 박재희·김범석(2019), "유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교연구", 산업은행 재작성

- 중국, 유럽 등 주요 선도국들은 정부 주도의 입지 개발, 원스톱샵³⁾ 도입 등의 정책 인프라를 확보하여 해상풍력발전의 보급을 촉진
 - 정부가 사전에 이해관계가 조정된 입지를 발굴하고 개발사업자에게 입찰을 통해 사업권을 판매
 - 각종 인허가를 전담 원스톱샵에서 처리하여 인허가 일관성을 확보하고, 인허가 소요 기간을 단축

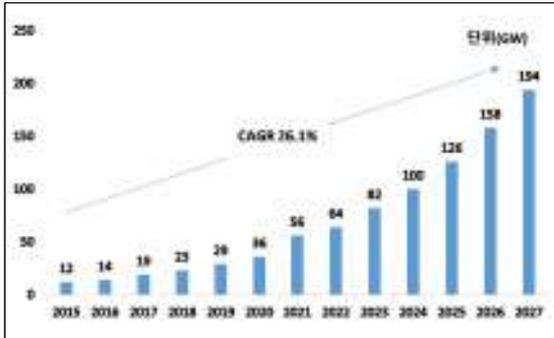
3) One-Stop Shop, 인허가 권한이 일원화된 부처 통합형 기구로 각종 인허가를 하나의 기구가 통합관리

Ⅱ. 해상풍력발전 산업 동향

1. 시장 동향

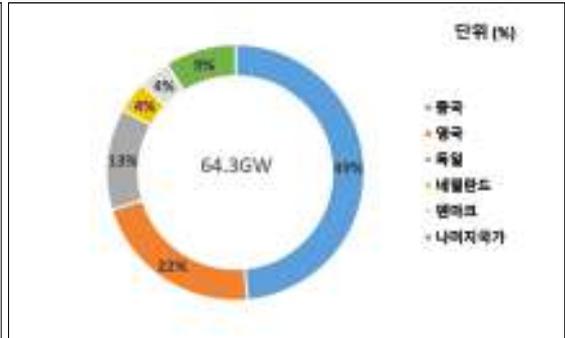
- 글로벌 해상풍력 시장은 중국과 유럽을 중심으로 성장 중이며 미국, 대만 등 후발국도 시장 점유율을 높여나갈 것으로 전망
 - 해상풍력은 '22년 8.8GW가 신규 설치되어 누적 설치 용량 64.3GW를 달성했으며, 중국과 유럽이 시장을 주도 중
 - '22년 기준 해상풍력의 글로벌 누적 설치 용량은 육상풍력의 7.6% 수준이나, 연평균 성장률은 육상풍력의 2.5배⁴⁾ 수준
 - '22년 해상풍력 신규 설치 용량 8.8GW 중 중국이 58%, 유럽이 22%를 차지하며 신규 및 누적 설치 용량 모두 중국과 유럽이 지배적

〈그림 4〉 글로벌 해상풍력 누적 설치 용량



주 : 각 연도의 말일 기준
 자료 : GWEC(2023), 산업은행 재작성

〈그림 5〉 국가별 해상풍력 누적 설치 용량 비율



주 : '22.12.31일 누적 설치 용량 기준
 자료 : GWEC(2023), 산업은행 재작성

- 미국, 대만 등 후발국들은 높은 잠재력을 기반으로 '25년부터 시장 점유율을 높여나갈 것으로 전망
 - (미국) 육상풍력 역량⁵⁾에 기반해 '30년까지 해상풍력 누적 설치 용량 30GW에 도달하여 세계에서 3번째로 큰 규모의 해상풍력 시장이 될 것으로 전망

4) 글로벌 누적 설치 용량 연평균 성장률은 해상풍력 26.1%, 육상풍력 10.4%

5) '22년 누적 설치 용량 144.2GW로 세계에서 2번째로 큰 규모

- (대만) '22년 해상풍력 누적 설치 용량 1.4GW로 중국을 제외한 아시아 1위이며, 풍부한 해상풍력 자원⁶⁾에 기반해 향후 5년간 6.6GW 해상풍력 설치 예정

□ **국내의 경우, '23년 기준 124.5MW의 해상풍력이 상업 운전 중이며 '30년 12GW 준공을 목표로 개발이 추진 중**

- '23년 기준 탐라, 영광, 서남해 단지가 운전 중

〈표 1〉 **국내 해상풍력 발전단지 현황**

구분	탐라 발전단지	영광 발전단지	서남해 발전단지(전북)
운전 개시	'18.1월	'19.4월	'19.7월
단지 운영	(주)탐라해상풍력발전 [한국남동발전]	(주)영광풍력발전 [한국동서발전]	(주)한국해상풍력 [한국전력공사, 발전 6사]
용량	30MW	34.5MW	60MW
터빈 종류	두산에너빌리티 3MW	유니슨 2.3MW	두산에너빌리티 3MW
터빈 개수	10개	15개	20개
하부구조물	고정식	고정식	고정식

자료 : 정지훈과 이종선(2022), "해상풍력발전", 한국과학기술평가원

- 전남 신안, 전북 서남권, 울산 및 동남권을 중심으로 3단계에 걸쳐 약 18.3GW 규모의 프로젝트가 추진 중

〈표 2〉 **국내 해상풍력 발전단지 추진 현황**

구분	내용
전북 서남권	한국 해상풍력 ¹⁾ 을 중심으로 Testbed(1단계) - Track Record(2단계) - 대규모 단지 건설(3단계) 3단계로 2.4GW를 목표
전남 신안	총 8.2GW를 목표로 1단계 4.1 GW('21년~), 2단계 및 3단계 4.1GW 추가 예정('26년~)
울산+동남권	동해 가스전 설비를 활용하여 부유식 해상풍력을 중심으로 울산 1.4GW, 동남부 지역 4.6GW를 목표
기타	제주 0.6GW, 인천 0.6GW, 기타 지역 ²⁾

주 : 1) 서남해 해상풍력 실증을 위해 한국전력공사와 발전자회사 6사가 공동 출자하여 설립한 기업
2) 태안 0.5GW 등

자료 : 산업통상자원부 참조하여 산업은행 제작성

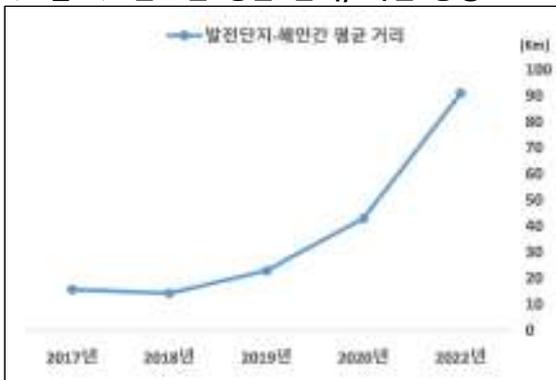
6) 세계 20대 해상풍력발전 적합 해역 중 16곳이 대만해협에 존재, 4C Offshore

2. 기술 동향

□ 비용감소를 위한 해상풍력 발전단지와 터빈 용량의 대형화 추세가 뚜렷하며, 발전단지-해안간 거리도 증가하고 있음

- 단위 용량에 대한 전력 계통 비용감소를 위해 발전단지 용량이 증가 중
 - 발전단지 용량 증가 시, 하나의 전력 계통을 통해 송·배전 가능한 전력량이 증가하여 동일 전력 생산량 대비 비용이 감소
- BOP 비용감소를 위해 터빈 용량 또한 증가하는 추세
 - 터빈의 크기 증가 시, 터빈 1기당 전력 생산량이 증가하여 동일 용량 대비 터빈의 수가 감소해 BOP 및 유지보수 비용이 감소
- 단지 대형화를 위한 넓은 해역확보, 안정적인 풍력자원 수급을 위해 발전단지-해안간 거리도 증가 중
 - 해안에서 멀수록 선박 경로, 어업 등 기타 경제활동의 영향이 감소해 더 넓은 해역확보와 안정적인 풍력자원 수급 가능
 - 발전단지-해안간 거리가 증가하면 송·배전 및 건설·운영비가 증가하나, 단지 대형화 및 우수한 풍력자원 수급을 통한 순편익 증가 효과가 더 지배적

〈그림 6〉 연도별 평균 단지, 터빈 용량



주 : 선도국 중 하나인 영국의 단지 통계 사용
 자료 : The Crown Estate 참조하여 산업은행 재작성

〈그림 7〉 연도별 발전단지-해안간 평균 거리



주 : 선도국 중 하나인 영국의 단지 통계 사용
 자료 : The Crown Estate 참조하여 산업은행 재작성

7) 터빈 용량이 10MW→14MW로 증가 시, 1GW 단지 기준 1억달러 절감, Rystad Energy

□ 넓은 해역 확보와 우수한 풍력자원 활용을 위해 부유식 해상풍력이 주목받는 중

- 부유식 해상풍력은 수심과 무관하게 원해(遠海) 설치가 가능하여 넓은 해역, 우수한 풍력자원 활용 가능
 - 고정식 해상풍력은 하부구조물을 해저면에 고정하여 설치하기에 수심이 깊어지면 설치비용이 급격하게 증가
 - 부유식 해상풍력은 계류 시스템을 통해 하부구조물이 해상에서 부유 상태로 설치되어 깊은 수심에도 설치 가능

<그림 8> 수심에 따른 풍력발전 특성



자료 : 산업은행 작성

- LCOE⁸⁾가 높은 부유식 해상풍력의 단점 극복을 위해 기존의 석유·가스산업 인프라를 활용한 기술 및 단지개발이 진행 중
 - 부유식은 원해 설치로 인해 하부구조물과 전력 계통 비용이 증가하여 타 풍력 발전 대비 LCOE가 높은 단점 보유
 - 부유식의 핵심인 하부구조물은 기존 석유·가스산업 해상플랜트와 유사하며, 이를 개선하여 해상풍력에 특화된 구조 개발이 추진 중
 - 노르웨이는 기존 석유·가스전의 설비를 활용하여 부유식 해상풍력 발전단지 Hywind Tampen(88MW) 개발에 성공

8) Levelized Cost Of Electricity, 단위전력(1kWh)을 생산하기 위한 전주기의 비용을 균일하게 등가화한 값으로, LCOE 값이 낮을수록 경제적인 발전원

3. 주요 해상풍력 발전단지 비교

1) Dogger Bank 단지(영국)

□ Dogger Bank 단지는 영국 북해에 건설 중인 완공 규모 기준 세계 최대의 해상 풍력 발전단지

○ 영국 북동부 해안 모래톱 지역에 건설 중인 총 3.6GW 규모 단지로 Dogger Bank A, B, C 단지로 구분

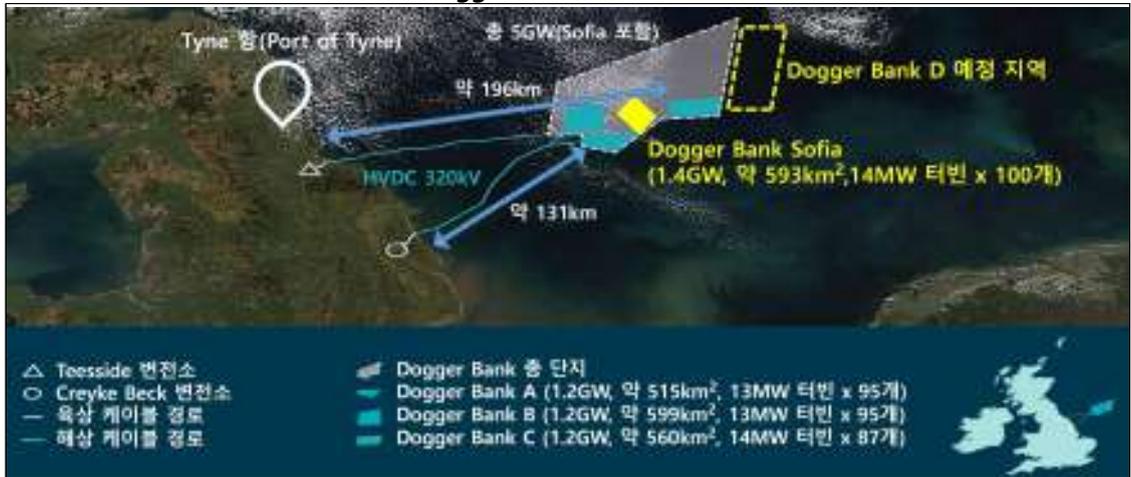
- 약 1,700km²의 거대한 모래톱 지역에 건설 중으로 해안까지 100km가 넘는 거리에도 불구하고 수심이 15~36m 수준
- A, B 단지는 Creyke Beck 변전소, C 단지는 Teesside 변전소에 연결되며 총 277개의 터빈으로 구성
- '10년부터 고정식 해상풍력을 중심으로 건설 진행 중이며 '26년 완공 예정

○ '24.2월 SSE Renewables, Equinor社의 합작 투자로 Dogger Bank D 단지개발 예정이며, RWE社의 Dogger Bank Sofia 단지가 착공

- 완공 시, 현존 최대 규모인 영국의 Hornsea 단지를 넘어설 예정

<그림 9>

Dogger Bank 단지 지도



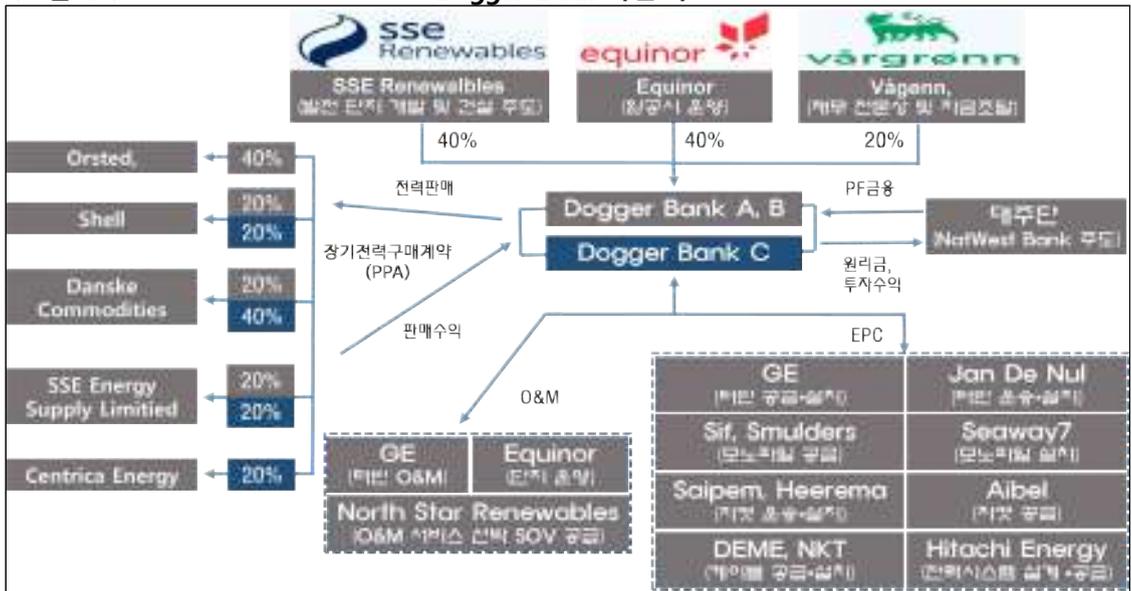
자료 : doggerbank.com, rwe.com 참조하여 산업은행 작성

- 영국 북해 해안의 배후 항만을 중심으로 현지 공급망을 형성하여 지역사회와 상생하고 있으며, 해상풍력 초격차 기술의 집약단지
 - Tyne 항에 단지 O&M 본부, Hartlepool의 ABLE Seaton 항에 터빈 조립 공장을 건설, 약 320개에 달하는 양질의 일자리 창출로 지역사회와 선순환 구조 형성
 - GE社의 최신 터빈 Haliade-X 제품이 사용되었으며, HVDC⁹⁾송전망 및 세계 최초의 무인 HVDC 변전소가 '23.4월 Dogger A에 설치

□ 전체 투자액이 약 90억 파운드에 달하는 전 세계 최대 규모의 해상풍력 PF 사업

- 영국의 해상풍력 입지를 개발·관리하는 The Crown Estate에서 부지를 낙찰
- '19.9월 영국 정부의 3차 경매를 통해 Dogger Bank A는 £39.65/MWh, B·C단지는 £41.61/MWh의 15년 CfD¹⁰⁾ 계약 체결

〈그림 10〉 Dogger Bank 사업 구조도



자료 : 각社 홈페이지 참조하여 산업은행 작성

9) High Voltage Direct Current, 고전압 직류로 송전 방식으로 송전 주파수가 자유로워 계통연계가 용이하며 장거리 송전 효율과 안정도가 높음
 10) Contract for Difference, 저탄소 발전설비에서 생산되는 전력에 일정 수준 이상의 가격을 보장해 수익 불확실성을 개선하는 영국의 보조금 지원 방식

2) 제주 한림 해상풍력 발전단지(국내)

□ 제주 한림 해상풍력 발전단지는 제주시 한림읍 앞바다에 건설 중인 국내 최대 규모의 해상풍력 발전단지

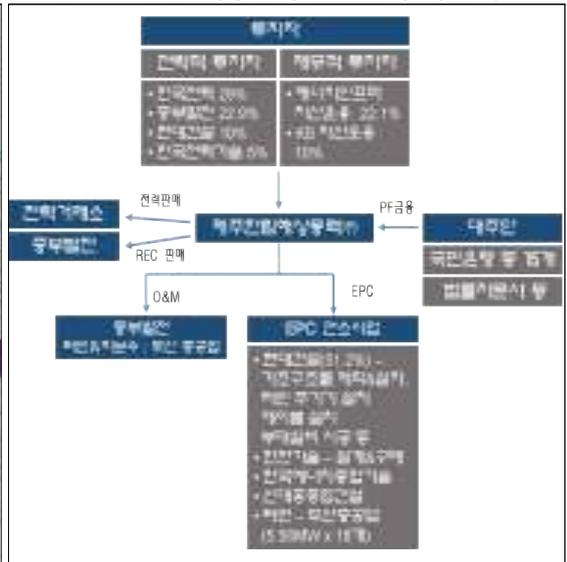
- '20년 인허가 승인 이후, '22년에 착공하여 고정식 해상풍력 단지 건설이 진행 중
 - 해안-해상변전소 거리 약 1km, 평균수심 약 22m, 총면적 5.47km²의 단지로, 고정식 구조물 18기를 해저 면에서 약 17m 근입(根入)하여 설치
 - '23.6월 완공 예정이었으나, 어업 피해보상 및 금융 조달 지연 등으로 완공일 지연과 사업비증가 발생

〈그림 11〉 제주 한림 해상풍력 발전단지 지도



자료 : 한국전력, 제주시 참조하여 산업은행 제작성

〈그림 12〉 한림 해상풍력 발전단지 사업 구조도



자료 : DEALBOOK NEWS 참조하여 산업은행 작성

- 건설 진행 중인 국내 단지 중 최대 규모의 단지로, 국내 최고 기술력과 자본력이 집약되어 국내 해상풍력 단지개발을 위한 표준모델 제시
 - 두산에너지빌리티社의 5.56MW급 터빈 사용 및 국산 기자재 비율이 80% 이상인 단지이며, 국내 발전사 최초로 중부발전이 유지보수 수행
 - 전체 투자액 6,303억원의 조달을 위한 금융 주선사와 대주단 모두 국내 금융 기관으로 구성되어 국내 해상풍력 단지개발의 기준 제시

Ⅲ. 해상풍력발전 정책 동향

1. 유럽

- 유럽은 육상풍력 단지개발·운영 경험에 기반해 해상풍력 정책 인프라를 빠르게 확보
 - 유럽은 석유 파동, 교토 의정서를 거치며 재생에너지의 필요성을 인식 후, 당시 재생에너지원 중 가장 경제성이 높은 육상풍력의 보급을 확대
 - '10년 육상풍력 시장 포화 이후, 재생에너지에 관한 사회적 수용성 증가에 기반해 정부 주도의 해상풍력발전 촉진 정책이 시행
 - 이른 정책 시행을 통한 꾸준한 정책검증 및 제도 개선 노력으로 해상풍력 발전 산업 전반에 걸쳐 선진제도들을 포괄적·체계적으로 구축
 - 시장 초기, 사업자 중심의 개발로 인한 불확실성 해소를 위해 정부 중심의 개발 방식으로 전환하여 사업의 위험도를 크게 완화
 - ①지속 가능한 시장 구축을 목표로 ②합리적인 목표 수립 후, ③하위 분야별로 체계적인 지원 정책을 개발 및 수립
- (보급 목표·로드맵) 합리적 보급 목표 수립 후, 현실성 있는 이행 방안과 전략을 수립해 해상풍력 발전 육성 정책의 성공 사례 제시
 - EU는 해상풍력 개발사업자, 공급망, 규제기관 등 이해관계자 전체의 의견을 수렴해 합리적인 보급 목표 수립
 - '20.11월 지역 협력¹¹⁾, 공급망 지원 등을 포함한 EU 연안 재생에너지 전략을 발표, 해상풍력발전 설비용량을 '30년까지 60GW, '50년까지 300GW 달성하도록 제안
 - EU는 '09년 재생에너지 지침을 채택하여 '20년 신재생에너지 비율 20% 달성 후, '22.9월 개정을 통해 '30년까지 45% 달성을 발표하며 목표를 단계적으로 확대

11) 전기·가스 인프라의 상호 연계를 도모하는 TEN-E 규정 개정 초안을 '20.12월 발표하여 범유럽 전력망 연결의 새로운 체계를 제안

- 영국, 독일, 네덜란드 등의 선도국들은 자국 내 개발 환경에 맞는 로드맵을 수립 후, 맞춤형 정책을 실행

<표 3> 유럽 주요국 해상풍력 발전 보급 전략

국가	영국	독일	네덜란드
정책	전담팀을 조직해 '20년까지 18GW 달성 및 LCOE £100/MWh 달성	재생에너지법을 통해 '30년까지 15GW 달성 목표 제시, 'WindSeeG' 정책을 통해 지원	'Dutch Offshore Wind Roadmap 2030'을 발표해 정부 주도의 단지개발

자료 : 박재희·김범석(2019), "유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교연구", 산업은행 재작성

□ (입지 개발) 해상풍력 전담 조직을 중심으로 해양 공간계획을 수립하여 정부 주도의 입지 개발 추진

- 유럽의 해상풍력 발전 선도국은 정부주도형 개발 지역 선정 정책을 적극 추진
- 규제기관 일원화, 효율적인 해양자원 관리 체계를 위해 전담 조직(윈스톱샵) 구성
 - 규제기관을 일원화하여 인허가 일관성을 확보하고 인허가 과정을 간소화
 - 독일의 BSH¹²⁾, 네덜란드 RVO¹³⁾ 등이 있으며, 영국은 MMO¹⁴⁾가 해양 공간계획 수립, The Crown Estate가 입지 개발, PINS¹⁵⁾가 인허가를 담당
- 전담 조직은 산업계, 정부, 어업인 등의 이해관계를 조정하여 해양 공간계획을 수립, 이에 근거하여 개발 지역을 선정하여 개발사업자 편의 중심의 개발 지원

<표 4> 유럽 해상풍력 단지개발 단계별 주관 부서

국가	입지 선정	인허가	단지 건설
영국	The Crown Estate	개발사가 PINS를 통해 진행	개발사
독일	BSH	개발사가 BSH를 통해 진행	개발사
네덜란드	RVO	선정된 입지에 대해 RVO가 사전에 검토	개발사

자료 : 박재희·김범석(2019), "유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교연구", 산업은행 재작성

12) Germany's Federal Maritime and Hydrographic Agency, 독일 연방 해운 수로국
 13) Netherlands Enterprise Agency, 네덜란드 경제성 산하 기업청
 14) Marine Management Organization, 영국 해양 관리기구
 15) Planning Inspectorate, 영국의 단일개발승인 명령 제도에 따른 영국 인허가 승인 기관

□ (전력 계통) 개발자의 부담 경감을 위해 독립된 전력 계통 전담 운영기관 혹은 해상 전력 계통운영사가 전력 계통 개발 및 운영

- 독일, 네덜란드 등은 독립된 계통 전담 운영기관(TSO¹⁶)이 내부 송전망을 제외한 모든 전력 계통연계를 개발하고 책임을 부담
 - TSO는 개발 완료 후, 전력 계통접속 비용을 개발사업자에게 요구하거나 전기 판매 금액에 포함하여 지급해 개발사업자의 사업 안정성을 강화
- 영국은 개발자가 전체 송전망을 개발 후, 경쟁입찰을 통해 제3의 해상 전력 계통운영사(OFTO¹⁷)가 소유권을 취득하여 운영을 전담

〈표 5〉 유럽 주요국 해상풍력 전력 계통 부분별 담당

전력 계통 모식도	내부케이블	내부 케이블	외부 케이블	육상 송전망
영국	개발사	OFTO	OFTO	TSO
독일	개발사	개발사	TSO	TSO
네덜란드	개발사	TSO	TSO	TSO

자료 : 박재희·김범석(2019), "유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교연구", 산업은행 재작성

□ (보조금 정책) 시장 성숙도에 상응하는 보조금 지원을 통해 보조금 없이 사업성 확보가 가능한 단계에 도달

- 해상풍력 개발사업자의 사업성 확보가 어려운 시장 초기에는 FiT¹⁸) 제도를 통해 시장의 양적 성장을 지원
 - FiT 제도는 정부가 시장의 전력 거래 가격과 무관하게 고정된 가격으로 생산 전력을 구매하는 제도

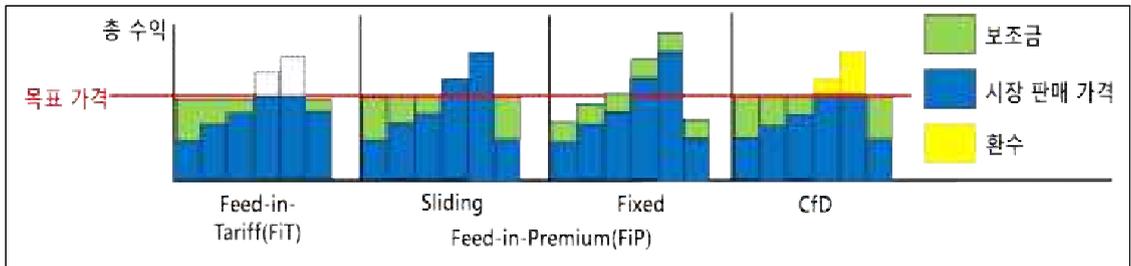
16) Transmission system operation, 계통 전담 운영기관으로 해상풍력 단지 개발자 대비 시공 능력이 우수

17) Offshore Transmission Owner

18) Feed-in Tariff

- FiT 제도를 통해 개발사업자에게 재정 안정성을 부여하여 시장 진입을 유도
- 시장 성장 후, FiP¹⁹⁾ 제도로 전환해 정부의 재정 부담을 해소하고 발전비용 절감을 유도하여 해상풍력발전의 경제성 확보 촉진
- FiP 제도는 시장의 전력 거래 가격이 목표가격보다 낮을 때는 보조금을 지원, 높을 때는 보조금을 지원하지 않는 제도
- 영국은 Fixed FiP(~'12년), FiT(~'17년)를 거쳐 '17년부터 CfD 제도를 시행 중이며 독일은 '14년, 네덜란드는 '08년에 FiT 제도에서 FiP 제도로 전환

<그림 13> 보조금 제도별 지원 방식



자료 : AURES II(2022) 참조하여 산업은행 작성

- 유럽은 성공적인 보조금 정책을 통해 시장 성숙기 진입에 성공했으며, 최근 정부 보조금 없이 개발되는 사례들이 등장
- 네덜란드의 Hollandse Kust Zuid(700MW)에 이어 '22.9월 RWE社는 보조금 없이 독일의 북해(658MW) 및 발틱해(300MW) 단지 낙찰에 성공

2. 중국

- 중국은 강력한 보조금 정책, 지역경제 활성화를 위한 지방정부들의 열망을 통해 해상풍력 발전 산업 확대에 성공
- 중국은 목표가격의 절반에 달하는 보조금을 지급하는 FiT 제도를 시행하여 '21년 영국을 추월해 해상풍력 누적 설치 용량 세계 1위를 달성

19) Feed-in-Premium

- '17년 중국 Jiangsu 지역 기준 전력 판매 가격은 0.391 위안/kWh, FiT 제도의 목표가격은 0.75 위안/kWh로 보조금이 전력 판매가의 47.87%

- 입지 개발, 인허가 권한을 가진 지방정부의 지역개발 욕구로 인해 중앙정부의 보급계획을 뛰어넘는 광범위한 개발에 성공
 - 중국은 '16년 절차적 효율성과 지방정부의 역할 강화를 위해 중앙정부의 입지 개발 및 인허가 권한을 지방정부에 이양
 - 지역경제 활성화를 위한 지방정부의 추가 보조금으로 인해 초기 계획 지역에서 확장된 중국 연안 전체의 개발이 진행

□ 해상풍력 발전 산업의 확대에 성공했으나, 급격한 성장으로 인한 부작용이 발생해 지속 가능한 산업생태계 형성을 위해 제도 정비 추진 중

- 중국은 FiT 제도가 종료되는 '21년에 16.9GW의 해상풍력 발전단지를 공급하며 급격하게 성장
 - '18.12 종료 예정이던 FiT 제도가 3년 연장되어, '21.12월 이후 준공 예정이던 단지들이 일정을 앞당겨 준공
- 높은 보조금 비율과 급격한 산업 확대로 인해 보조금 재정보호 수단인 NREF²⁰⁾의 부채가 급격하게 증가
- 정부는 NREF의 부채압박과 낮아지지 않는 해상풍력발전의 비용 문제 해결을 위해 FiT에서 RPS²¹⁾제도로 전환을 검토 중
 - RPS제도는 보조금 지원 금액이 시장에 의해 결정되어 FiT 제도에 비해 정부의 재정 부담이 상대적으로 완화
 - RPS제도는 시장 판매 가격에 보조금이 지급되어 개발사업자가 발전비용을 낮출수록 순이익이 증가해 발전비용의 감소를 촉진

20) National Renewable Energy Fund

21) Renewable Energy Portfolio Standard(신재생에너지공급의무화제도), 일정 규모(국내는 500MW) 이상의 발전사업자(공급의무자)에게 발전량의 일정 비율을 신재생에너지를 사용해 공급하도록 의무화한 제도로 국가는 신재생에너지 공급인증서(국내의 경우 REC)를 발급, 공급의무자는 직접 신재생에너지 발전설비를 운영 혹은 공급인증서를 구매하여 할당량을 달성하는 제도

<참고 2> RPS제도와 FIT 제도

- RPS제도는 일정 규모(국내는 500MW) 이상의 발전 사업자(공급의무자)에게 발전량의 일정 비율 이상을 신재생에너지로 공급하도록 의무화한 제도
- 국가는 공급의무비율을 설정하고 신재생에너지 공급인증서(국내의 경우 REC)를 발급, 공급의무자는 직접 신재생에너지 발전설비를 운영하거나 공급인증서를 구매하여 할당량 달성

RPS제도 운영개요



주 : 중국의 경우는 REC → TGC(Tradable Green Certificates)로 변경
 자료 : 산업통상자원부 자료 참조하여 산업은행 재작성

- FIT 제도는 정부가 시장의 전력 거래 가격과 무관하게 고정된 가격으로 생산 전력을 구매하는 제도

RPS와 FIT 제도 비교

구분	보조금 결정 방식	장점	단점
RPS 제도	·수량 기반 ·시장이 가격 결정	·정부의 재정 부담이 적음 ·사업자 간 경쟁 촉진을 통해 발전비용 절감 가능	·발전사업자 입장에서 사업의 불확실성이 높음 ·비용이 적은 특정 에너지원에 편중될 가능성이 높음
FIT 제도	·수량 기반 ·정부가 가격 결정	·발전사업자의 사업 안정성이 매우 높음 ·안정적인 투자유치 가능	·정부의 재정 부담이 매우 큼 ·사업자 간의 경쟁이 부족해 발전비용 절감 요인 부족

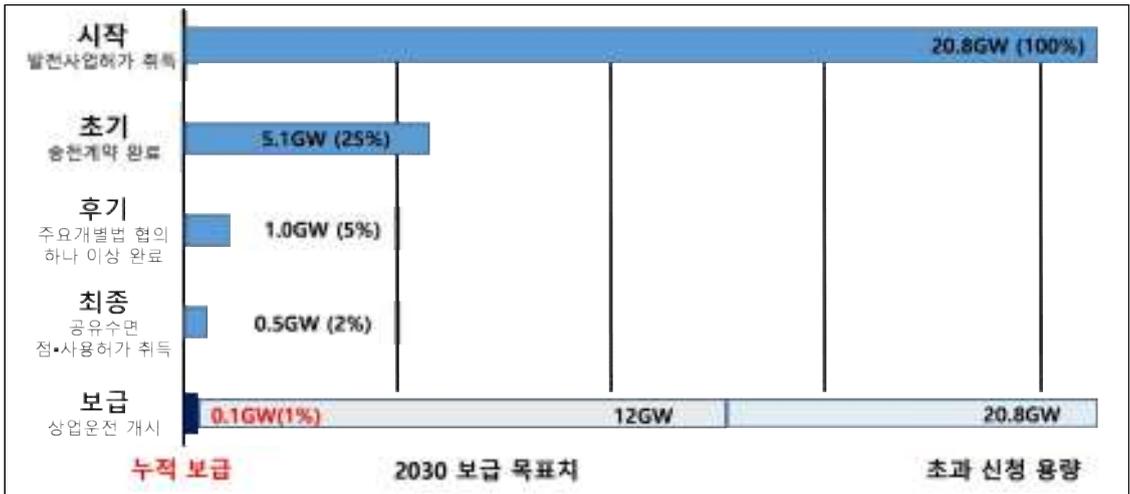
자료 : Youzhou et al(2021), "Evolution of price policy for offshore wind energy in China: Trilemma of capacity, price and subsidy" 참조하여 산업은행 정리

3. 국내 정책 동향

□ 국내 해상풍력발전 산업은 보급 지체 요인 해소가 필요한 상황

- 시장 초기, 경쟁적 입지 선점이 조장되어 개발사업자와 어업인 등 타 공유수면 이용자 사이의 갈등 발생
 - 사업의 실제 수행 여부와 무관하게 풍황 계측 여부로 발전 사업허가의 우선권이 부여되어 개발사들이 경쟁적으로 입지를 선점 후 판매하는 문제가 발생
 - 공유수면에서 조업하는 어업인들의 반발, 풍황 계측기 난립 등의 문제 발생
- 발전 사업허가 이후 다수 행정기관의 협의, 법령 적용이 필요해 인허가 소요 비용이 큰 상황
 - 입지 분석, 풍황 계측, 발전 사업허가, 개발행위허가, 공사계획인가, 준공검사, 전력수급계약, 사업개시신고 등 최대 10개 부처, 29가지 법령에 관한 인허가를 개별적으로 취득하는 데에 평균 6년 이상 소요
 - 복잡하고 다양한 인허가 과정은 인허가 소요 기간 증가를 초래해 해상풍력 단지개발 사업의 지연을 유발

<그림 14> 국내 인허가 단계별 해상풍력발전 보급 용량('22.9월 기준)

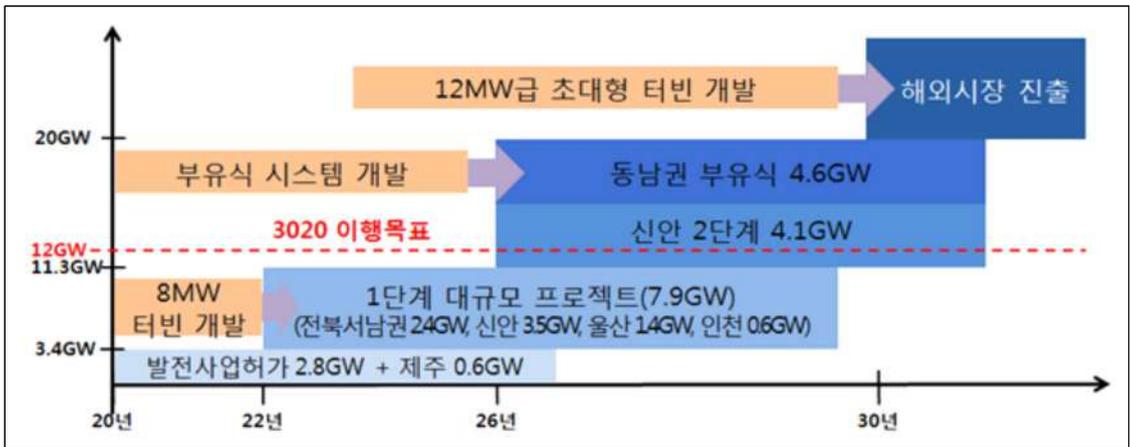


주 : 보급 용량(124.5MW)은 전체 발전 사업허가 취득 용량(20.8GW)의 약 1%
 자료 : 기후솔루션(2023), "해상풍력 인허가 문제점과 개선방향" 참조하여 산업은행 재작성

□ 해상풍력발전 보급의 지체 요인 해소를 위해 정부 주도의 제도 개선, 법안 및 정책 발의가 진행 중

- (보급 목표·로드맵) '20.7월 「해상풍력 발전방안」 을 발표하여 해상풍력 추진을 위한 로드맵 제시 및 해상풍력발전 3대 추진 방안 발표
 - ①정부주도 입지발굴 및 인허가 간소화, ②주민수용성 및 환경성 강화, ③대규모 프로젝트 연계 산업 경쟁력 강화 발표

〈그림 15〉 해상풍력 추진 로드맵



주 : 3020 이행목표는 '30년 재생에너지 발전량 비중 20%을 위한 풍력 에너지 계획 목표
 자료 : 산업통상자원부 등 관계부처 합동(2020), "주민과 함께하는 해상풍력 발전 방안"

- (입지 개발) '21.5월 「풍력발전 보급촉진 특별법」 발의 및 '22.11월 「에너지 환경 변화에 따른 재생에너지 정책 개선방안」 발표
 - 풍황 계측기 허가 요건 및 사업허가 관리를 강화²²⁾하고 정부 주도의 계획 입지 개발 방식을 도입해 난개발을 방지
 - 「풍력발전 보급촉진 특별법」의 수정안인 「해상풍력특별법」 제정이 논의 중이며 이를 통해 정부 주도의 계획 입지 개발 방식 구체화 도모
- (전력 계통) '22.1월 「공동 접속설비 선투자 제도」 를 시행해 계통 용량 확보 추진

22) 풍황 계측기 설치 허가 후 일정 기간 내 발전 사업허가 신청을 의무화하여 개발사들이 사업의 실제 수행 여부와 무관하게 풍황 계측 여부로 입지를 선점 후 판매하는 난개발을 방지

- 해상풍력 발전단지 전력망을 공용 송전망에 연계하는 공동 접속설비를 한전이 우선 건설 후, 사업자에게 회수하여 개발사업자의 계통연계 부담을 완화
- (보조금 정책) '23.4월 신재생에너지공급의무화제도를 개정하여 해상풍력발전 REC 가중치를 개편하고, '22.9월 고정가격계약 경쟁입찰을 풍력에도 도입
- 해상 풍력발전 REC 가중치 상향 : (기존) 2.0 → (개정) 2.5(기본), 주민 참여 비율 1%당 0.075REC 가중치 추가(최대 0.3 REC 가중치 추가)

〈표 5〉 해상풍력발전 REC 가중치 개정 전후 비교

대분류	소분류	현행	개정 후
해상 풍력	해상 (법률상 바다 및 바닷가 중 수심이 존재)	2.0	2.5
	연안 해상 (해상풍력 中 간석지 또는 방조제 내측)	-	2.0
	수심 5m, 연계 거리 5km 증가 시마다 (수심 20m 초과, 연계거리 5km 초과인 해상풍력 및 연안해상풍력에 적용)	-	+0.4 (복합)

주 : 기존에는 해상풍력발전 가중치 산정 시 연계 거리만을 고려했으나, 개정 고시는 기본 가중치를 기준으로 연계 거리와 수심을 복합적으로 고려하여 산정
 자료 : 산업통상자원부(2023), "신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침"

- 기존에는 발전소 준공 후 가중치가 확정되었으나 「해상풍력발전 예상 가중치 안내 제도」 도입을 통해 환경영향 평가 완료 후, 신재생에너지센터에서 예상 가중치를 안내하여 사업추진의 불확실성 해소
- 태양광만 실시하던 고정가격계약 경쟁입찰²³⁾을 풍력에도 도입하여 개발사업자의 안정적 수익 보장과 동시에 개발사업자의 수익성 추정 난도 감소
- '23.2월 과학기술정보통신부는 해상풍력 기술 연구 로드맵을 발표하여 정책 인프라 확보와 더불어 해상풍력발전 기술개발도 추진
- 100대 핵심기술에 초대형 풍력터빈, 해상풍력 부유체, 해상풍력발전 운영·관리, 해상풍력 설치 기술과 수직축 부유식 풍력발전 기술을 포함

23) 가격입찰을 통해 공급의무자와 발전사업자가 생산 전력과 REC를 통합하여 고정된 가격으로 판매하는 장기계약을 체결

IV. 향후 전망 및 시사점

□ 전 세계적으로 탄소중립 질서 대응을 위해 해상풍력발전의 중요성은 점점 커질 것으로 전망

- 화석연료를 대체해 탄소중립 목표를 달성하기 위해 전 세계 재생에너지 설비용량은 급격하게 증가하여, '30년에는 11,008GW를 달성할 것으로 전망²⁴⁾
- 해상풍력발전은 풍부한 가용자원량 활용, 수월한 입지 개발이 가능해 재생에너지 확대를 위한 필수에너지원으로, 재생에너지와 함께 성장할 것으로 전망
 - 해상풍력발전은 빠르고 균일한 풍속으로 인해 이용률²⁵⁾이 높고, 해상에 설치되어 입지 개발이 수월해 대규모 단지개발이 가능
 - 해상풍력발전은 다양한 전원의 동반성장을 통해 재생에너지의 불확실성과 변동성을 해결하기 위해서도 필수적

□ 국내 해상풍력발전 산업은 높은 잠재력을 보유하여, 추후 아시아 해상풍력의 한 축을 담당할 것으로 전망

- 우리나라는 신흥국²⁶⁾ 대비 상대적으로 양호한 공급망을 보유하여, 해상풍력 발전단지 건설이 용이
 - 아시아 지역 터빈 제조 거점국²⁷⁾ 중 하나이며, 풍력 타워 및 해저케이블 분야는 세계적인 경쟁력을 보유
- 현재 20.8GW의 해상풍력발전 프로젝트가 발전 사업허가를 취득²⁸⁾한 상태로, 정책 인프라가 확보된다면 해상풍력 강국으로 성장할 것으로 전망됨²⁹⁾

24) IEA(International Energy Agency), World Energy Outlook 2023

25) 실제 생산된 발전량을 이론상 생산할 수 있는 발전량으로 나눈 비율, 이용률이 높을수록 발전설비를 더 많이 가동할 수 있음

26) 해상풍력 도입국 중 선도국인 중국, 영국, EU 제외한 몽골, 필리핀, 캐나다, 칠레, 브라질 등등

27) 중국(전 세계 1위), 대만 등

28) '22년 9월 기준

29) GWEC(Global Wind Energy Council), Global Wind Report 2023

□ 추후 해상풍력발전 산업의 확대에 선제 대응하기 위해 해상풍력 SOC³⁰⁾ 확충 필요

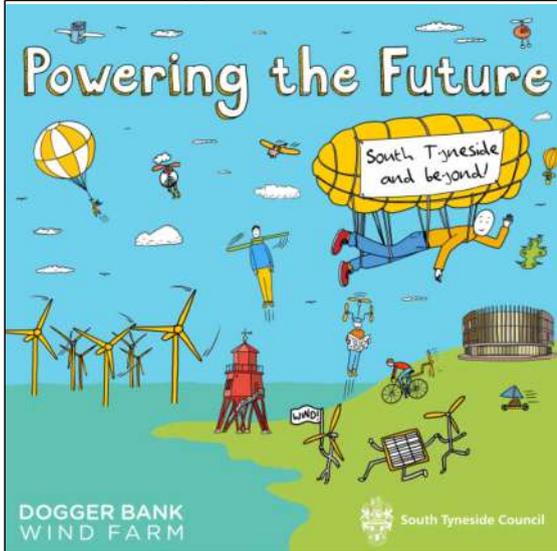
- 해상풍력 보급계획과 전력 계통 구축계획의 유기적인 상호 연계를 통해 전력 계통 용량의 선제적인 확충이 필요
 - 해상풍력발전 확대에 대응하기 위해서는 발전단지 생산 전력의 안정적 수용을 위한 충분한 전력 계통 용량이 필요
 - 현재 영·호남지역에 집중된 단지로 인해 계획된 단지 용량 대비 주 소비 지역인 수도권으로 송전할 전력 계통 용량이 부족한 상황
 - 해상풍력 보급계획을 고려한 계통연계 구축을 통해 전력 계통 용량 부족을 사전에 방지할 필요
- 배후 항만, WTIV 등 해상풍력 발전단지 개발 계획에 상응하는 물적 인프라의 사전적 구상 및 확보로 시행착오 비용 절감 필요
 - 계류시설·수역시설·야적부지 등의 배후 항만 시설은 발전단지의 건설·운영 비용과 직결되며, 해외자본의 투자유인으로도 작용
 - 배후 항만은 국내 제품과 서비스가 실현되는 장소로, 지역사회와의 동반성장 측면에서도 확보가 필수적

□ 국내 해상풍력발전의 성공적인 보급을 위해 선도국의 성공 사례 연구도 좋은 전략

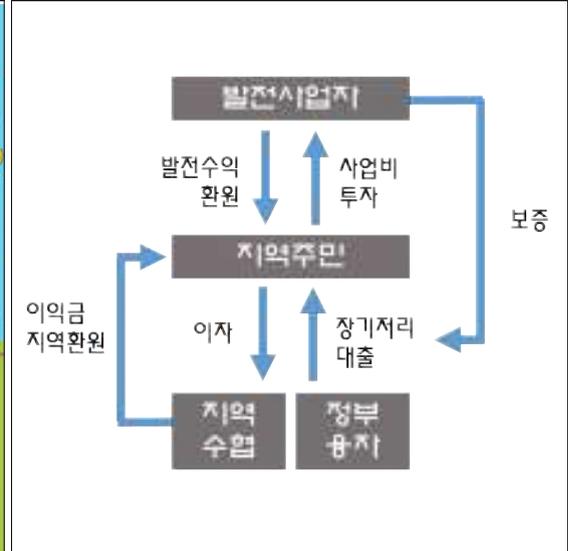
- 해상풍력발전의 성공적인 보급을 위해 이해관계자들 간 갈등 해소는 필수적이나, 갈등의 해결이 단순치 않아 신중한 접근이 필요
- 지역사회와의 상생을 통한 주민 수용성 해결 등 선도국 사례의 벤치마킹도 현실성 있는 선택지 중 하나
 - 영국 Dogger Bank 단지는 배후 항만에 O&M 본부, 터빈 조립 공장 등을 건설해 양질의 일자리를 창출하고, 교육기금을 통해 인재를 육성해 지역사회와 상생하는 선순환 구조 형성
 - 국내는 지역과 상생하는 해상풍력을 위해 지역주민이 투자를 통해 수익을 공유하는 주민 참여형 이익공유 모델을 제시

30) Social Overhead Capital, 사회간접자본으로 해상풍력의 경우 전력 계통, 배후 항만 등

〈그림 16〉 Dogger Bank 지역기금 프로그램 〈그림 17〉 주민 참여형 이익공유 모델(예시)



자료 : www.doggerbank.com(2020)



자료 : 산자부(2020), “주민과 함께하고, 수산업과 상생하는 해상풍력 발전 방안

참고문헌

[국문자료]

- 기후솔루션(2023), “해상풍력 인허가 문제점과 개선방향”
- 박재희·김범석(2019), “유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교 연구”,
한국신·재생에너지학회
- 산업은행(2018), “풍력산업 기술경쟁력맵”
- 산업통상자원부 등 관계부처 합동(2020), “주민과 함께하고 수산업과 상생하는
해상풍력 발전 방안”
- 정지훈과 이종선(2022), “해상 풍력발전”, 한국과학기술기획평가원

[영문자료]

- Global Wind Energy Council(2023), “Global Wind Report 2023”
- International Energy Agency, “World Energy Outlook 2023”
- Youzhou et all(2021), “Evolution of Price Policy for Offshore Wind Energy in
China: Trilemma of Capacity, Price and Subsidy”