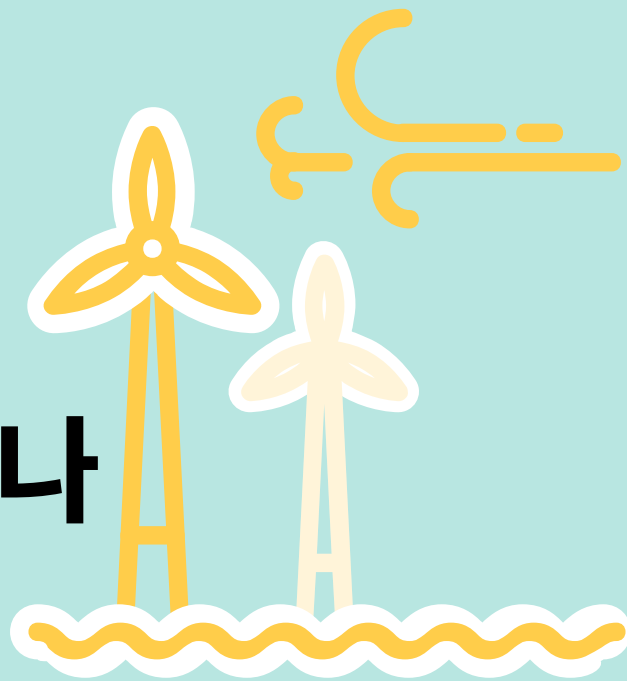


# 해상풍력 전력계통 연계 개선을 위한 세미나



2023. 4.17. (월) 14시  
국회도서관 소회의실

주 최 국회의원 김성환  
주 관 기후솔루션, 한국풍력산업협회

## 프로그램

**발 제** 해상풍력 전력계통 연계 지원 방향  
- 최명환 한국전력공사 계통계획처 계통연계부장  
해상풍력 적기 보급을 위한 해외 송전망 연계전략  
- 이승문 에너지경제연구원 연구위원

**지정토론**

- (언론, 좌장) 유희덕 전기신문 편집국장
- (정부) 정승혜 전력계통혁신과 과장
- (지자체) 배용석 전라남도 해상풍력산업과장
- (학계) 광운대학교 송승호 교수
- (기업) 노광철 대명에너지 상무
- (시민사회) 조은별 기후솔루션 재생에너지인허가 연구원
- (법조) 박진표 법무법인 태평양 변호사

질의응답



- 발 제 1 -

# 해상풍력 전력계통 연계 지원 방향

최명환

한국전력공사 계통계획처 계통연계부장



# 해상풍력 계통연계 지원 방안

'23. 4. 17(월)



## 목 차

- I. 재생e 보급 목표 및 해상풍력 전망
  - II. 계통접속 주요 현안
  - III. 그 간의 노력
  - IV. 해상풍력 계통연계 지원 방안
- (참고) 공용 송전망 보강 관련 해외 사례

# I 재생e 보급목표 및 해상풍력 전망

## 1. 발전원별 보급 목표 (제10차 전력수급기본계획)

- 「안정적 전력수급 & 원전·신재생 조화」 에너지믹스 정책에 따른 발전원별 보급 목표 재정립
  - (원전) 신규 원전 준공, 원전 계속 운전을 통한 비용효율적 전력 공급 확대
  - (신재생) 태양광 중심의 보급에서 풍력 비중 확대로 균형 있는 재생e 보급

구분	태양광	풍력	연료전지	수력	기타	소계
설비용량('36년)	65.7	34.1	3.9	2.1	2.5	108.3

[단위 : GW]

## 2. 국내 해상풍력 현황 및 전망 ('23. 3월 기준)

해상풍력 현황 및 전망						대규모 재생e 단지	
권역	사업 운전	향후 전망			합계		
		이용신청	허가신청	소계			
해상 풍력	호남권	0.1	5.23	16.67	21.9	22	
	경상권	-	6.97	0.21	7.18		
	기타	0.03	1.35	1.84	3.19		
	소계	0.13	13.55	18.72	32.27		
풍력 전체(해상+육상)	0.13	20.02	23.31	43.33			

- 상업운전 중인 해상풍력은 0.13GW이나, 신청된 물량은 32.27GW 수준으로 향후 큰 폭의 확대가 예상된다
- 풍력발전은 1.77GW가 상업운전 중이며, 신청된 물량 고려시 향후 45.1GW 수준으로 확대될 전망 (10차 전력수급기본계획의 2036년 풍력 목표(34.1GW)를 크게 상회)

# II 해상풍력의 계통접속 관련 주요 현안

## 1. 해상풍력 계통 수용성

- (현황) 해상풍력은 태양광, 육상풍력에 비해 용량이 커 154kV 공용 송전망에 접속 곤란
- (추진 사항) 해상풍력의 계통 수용력 향상을 위해, 개별 154kV 공용 송전망 접속이 아닌 345kV 공용 송전망 연계 및 이와 연동한 보강계획 수립 추진
  - ☞ 건설수용성, 경제성 등을 고려해, 수도권으로 직접 전력을 전송하는 방안도 고려 필요

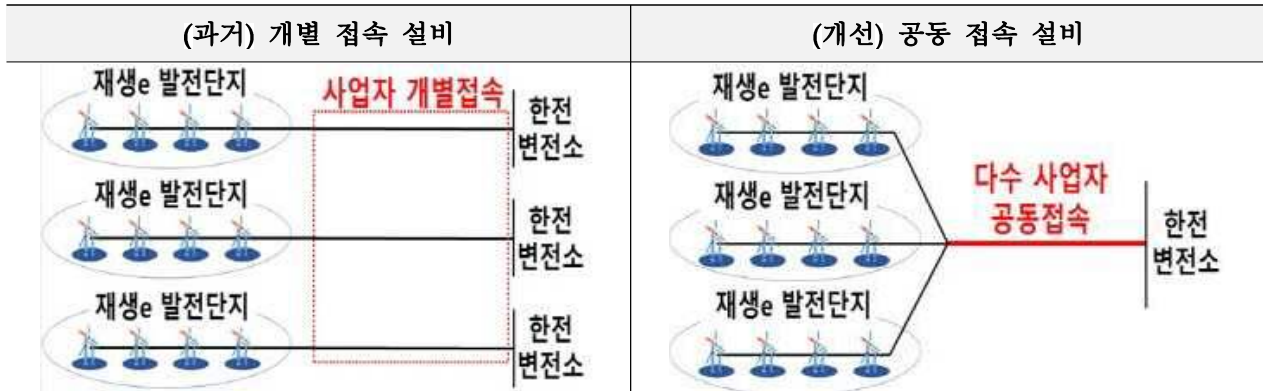
## 2. 전력계통 유연성

- (현황) 해상풍력은 대규모 발전력이 특정지역에 연계되고, 풍황 등 기상 상황에 따른 변동폭이 크기 때문에, 향후 비중 확대시 전력 계통에 큰 부담을 야기 할 우려 높음
- (추진 사항) 대규모 재생e 집중에 따라 계통안정화를 위한 ESS, FACTS 등 유연성 자원 확충 추진 및 발전사업자의 계통안정화설비 의무화 방안도 마련 필요
  - ☞ 변전소 내 여유부지 부족에 따라 유연성 자원 전용 개폐소 도입 검토 필요

### 3. 해상풍력 공동접속

- (현 황) 다수 인접한 해상풍력 발전 단지가 개별로 공용망에 연계하는 경우 국토 난개발에 따른 주민수용성 확보 어려움 등의 문제 발생
- (추진 사항) 대용량의 345kV 접속설비는 다수의 개별 접속설비를 대체 가능하기 때문에, 발전사가 접속설비를 공동으로 이용하도록 유도 추진
- ↳ 접속설비 투자비 공동부담으로 각각의 개별 발전사는 투자비 절감 가능

<공동접속설비 개념도>



## III 그 간의 노력

### 1. 해상풍력 공동접속 유도

- 호남지역 효율적 망구성을 위한 해상풍력 공동접속설비 필요성 산업부 협의
  - \* (기존) 다수의 접속선로 → (개선) 대용량의 345kV 공동접속설비
- 여수·고흥지역 다수의 해상풍력단지(약 6GW)가 발전허가 신청시 개별 접속으로 신청 하였으나, 345kV 공동접속(345kV 신장진-광양 2π분기) 유도 ('21.4월~)



### 2. 해상풍력 공동접속설비 선제적 구축

- ('21.2월) 해상풍력 적기 계통연계를 위한 공동접속설비 선제적 구축 공동 연구\* 추진
  - \* 전북 서남권 2.4GW, 신안 해상풍력 8.2GW, 울산 동남권 부유식 해상풍력 6.0GW
- ('22.1월) 해상풍력 공동접속설비 선제적 구축 근거 마련을 위한 신뢰도 고시 개정
  - \* 지정요건 : ①집적화단지 지정, ②산업부 요청, ③설비용량 2GW이상(1GW초과 2GW미만은 전기위 심의)

- ('22.10~현재) 2.4GW 서남권 해상풍력 공동접속설비 선제적 구축 추진
  - 사업 시행 공문 요청('22.10월 산업부→한전), 사업심의위원회 심의 완료('23.3월)

공동접속설비 연계도	사업 개요
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전용량 : 2.4GW</li> <li>· 사업자 : 한해풍(0.4GW), 한전(0.8GW)               <ul style="list-style-type: none"> <li>* 1.2GW는 향후 사업자 모집 예정</li> </ul> </li> <li>· 양육점~연계점 : 고창 인근~신정읍S/S</li> <li>· 준공기한 : '28.12 / 공동접속선로 : 약 50km</li> </ul>

### 3. 송변전설비 보강계획

- ('21.9월) 신안(8.2GW), 서남해(2.4GW) 해상풍력 계통연계를 위한 9차 장기송변전설비계획 수립
  - 345kV 송전선로 2개 루트 신설 및 1개 루트 선종교체 (1GW ⇒ 2GW)
- ('22.8월) 여수(6.0GW) 해상풍력 계통연계를 위한 전남지역 보강계획 수립
  - 인클로징 기법\*을 통해 기존 345kV 송전선로 용량 상향 (1GW ⇒ 3GW)
    - \* 기존 송전선로의 철탑 및 금구류 보강을 통해 송전선로 전선 도체수를 증가시켜 송전용량을 상향
- (현재) 울산(6.0GW) 해상풍력 등 10차 전기본 신재생e 수용을 위한 10차 송변전설비계획 수립 중

## IV 해상풍력 계통연계 지원 사항

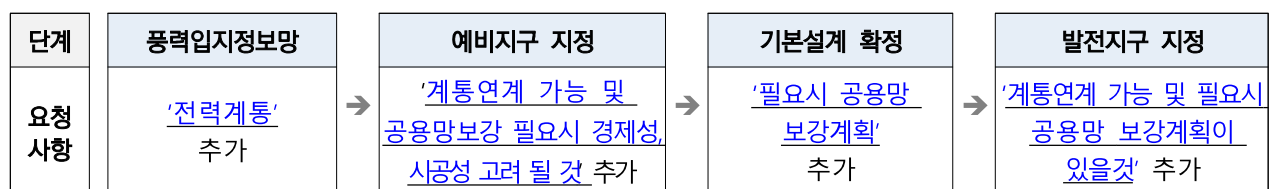
### 1 해상풍력 특별법 내 공용망 보강 반영

#### 1. 주요 현안

- 재생e 발전소와 공용망간 준공시기 차이\*로 계통연계 지연 발생
  - \* 재생e 발전소 3년, 345kV 공용망 표본공정 약 9년
- 대규모 해상풍력은 공용망이 적기 보강되지 않으면 계통접속이 곤란

#### 2. 법안 반영 요청(요약)

- 공용망 보강 관련 내용을 단계별로 다음과 같이 반영 필요



- 접속설비 및 공용망 보강에 대해 인·허가 의제 및 환경영향평가법 특례 추가 필요



### 3. 법안 반영 내용

□ 정의, 적용범위, 지구지정, 기본설계 등 공용망 보강 관련 법안 반영 필요 사항

구분	AS IS	TO BE	비고
(제2조) 정의	-	9. “해상풍력연계 공용망”이란 「전기사업법」 제25조에 따라 수립된 전력망 중 해상풍력 발전 연계에 따라 필요한 공용 송전 및 변전 시설을 말한다	‘정의’ 신설
(제4조) 적용범위	이 법은 해상풍력발전사업, 해상풍력 발전시설, 설치에 대하여 적용한다.	이 법은 해상풍력발전사업, 해상풍력 발전시설, <b>해상풍력연계 공용망 및 접속설비</b> 설치에 대하여 적용한다.	‘적용범위’ 신설
(제10조) 해상풍력입지 정보망의 구축운영	① (중략)..예비지구 및 발전지구의 지정에 필요한 풍황, 어업활동...등 (중략)... 해상풍력 입지정보망을 구축·운영하여야 한다.	① (중략)..예비지구 및 발전지구의 지정에 필요한 풍황, 어업활동... <b>전력계통</b> 등 (중략)... 해상풍력입지정보망을 구축·운영하여야 한다.	‘전력계통 정보구축’ 추가
(제11조) 예비지구의 지정 등	① (중략).. 해상풍력입지정보망을 활용하여 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 지역을 위원회의 심의·의결을 거쳐 예비지구로 지정할 수 있다. 1~6. (중략)	① (중략).. 해상풍력입지정보망을 활용하여 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 지역을 위원회의 심의·의결을 거쳐 예비지구로 지정할 수 있다. 1~6. (중략) <b>7. 전력계통연계가 가능해야 하며, 해상풍력 연계 공용망 보강 필요시 경제성, 시공성 등이 고려될 것</b>	예비지구 지정시 ‘접속설비 및 공용망 보강 사항’ 평가 추가
(제13조) 기본설계의 수립·확정 등	① (중략) 위원회의 심의·의결을 거쳐 기본설계를 확정한다. 4. 전력계통 연계방안 및 주요 기반시설계획	① (중략) 위원회의 심의·의결을 거쳐 기본설계를 확정한다. 4. 전력계통 연계방안, 주요 기반시설계획 및 <b>해상풍력 연계 공용망 보강 필요시 관련 계획(안)</b>	‘공용망 보강 사항(필요시)’ 기본설계에 추가
(제16조) 발전지구의 지정	① (중략) 위원회의 심의·의결을 거쳐 발전지구로 지정할 수 있다. 1~4. (중략)	① (중략) 위원회의 심의·의결을 거쳐 발전지구로 지정할 수 있다. <b>5. 전력계통연계가 가능해야 하며, 해상풍력 연계 공용망 보강 필요시 관련 계획이 있을 것</b>	발전지구 지정시 ‘계통연계 가능하고 공용망 보강계획 있을 경우(필요시)’ 추가

- 9 -

□ 접속설비 및 공용망 보강에 대해 인·허가 의제 및 환경영향평가법 특례

구분	AS IS	TO BE	비고
(제 20조) 실시계획의 승인 등	-  ③ 해상풍력발전사업자는 제1항에 따라 승인 받은 사항을 변경하려는 경우에는 위원회의 심의·의결을 거쳐 산업통상자원부장관에게 변경승인을 받아야 한다. ④ 산업통상자원부장관은 제1항 또는 제3항에 따른 위원회의 심의·의결 전에 미리 해당 발전지구를 관할하는 시·도지사 또는 시·군·구청장의 의견을 듣고 관계 행정기관의 장과 협의하여야 한다. ⑤ 제1항 또는 제3항에 따른 위원회 심의·의결을 거친 경우에는 다음 각 호에서 정한 심의회 및 위원회의 심의를 받거나 거친 것으로 본다.	③ <b>송전사업자는 해상풍력연계 공용망 및 접속설비 건설 필요시 실시계획을 수립하여 위원회의 심의·의결을 거쳐 산업통상자원부장관에게 승인을 받아야 한다</b> ④ 해상풍력발전사업자 또는 송전사업자는 제1항 또는 제3항에 따라 승인받은 사항을 변경하려는 경우에는 위원회의 심의·의결을 거쳐 산업통상자원부장관에게 변경승인을 받아야 한다. ⑤ 산업통상자원부장관은 제1항 또는 제3항 또는 제4항에 따른 위원회의 심의·의결 전에 미리 해당 발전지구를 관할하는 시·도지사 또는 시·군·구청장의 의견을 듣고 관계 행정기관의 장과 협의하여야 한다. ⑤ 제1항 또는 제3항 또는 제4항에 따른 위원회 심의·의결을 거친 경우에는 다음 각 호에서 정한 심의회 및 위원회의 심의를 받거나 거친 것으로 본다.	송전사업자의 ‘선투자 접속설비 및 공용망 보강에 대해 실시계획 승인’ 항목 추가
(제 22조) 다른 법률에 따른 인·허가 의제	① 해상풍력발전사업자가 제20조에 따라 발전지구에서 실시계획의 승인 또는 변경승인을 받은 때에는 다음 각 호의 승인·허가·인가·신고·지정 또는 결정·면허·협의·해제·심의·처분 등(이하 “인·허가등”이라 한다)을 받은 것으로 보며, (중략)	① 해상풍력발전사업자 또는 송전사업자가 제20조에 따라 발전지구에서 실시계획의 승인 또는 변경승인을 받은 때에는 다음 각 호의 승인·허가·인가·신고·지정 또는 결정·면허·협의·해제·심의·처분 등(이하 “인·허가등”이라 한다)을 받은 것으로 보며, (중략)	송전사업자의 실시계획 승인시 다른 법률의 인·허가 의제처리
(제 00조) 환경영향평가법의 적용 특례	-	① 「환경영향평가법」 제22조에도 불구하고 제20조 3항에 적용되는 접속설비 및 해상풍력연계 공용망 보강 사업은 「환경영향평가법」 제43조의 소규모 환경영향평가를 시행한다 ② 「환경영향평가법」 제45조 제1항 및 동법 시행령 제62조에 따라 환경부장관은 30일 이내에 협의의 내용을 통보하여야 하며, 이 기간 이내에 통보가 이루어지지 않을 경우 협의가 완료된 것으로 본다.	접속설비 및 공용망 보강에 대해 환경영향평가 특례 적용

- 10 -







- 발 제 2 -

# 해상풍력 적기 보급을 위한 해외 송전망 연계전략

이승문  
에너지경제연구원 연구위원



# 해상풍력 적기 보급을 위한 해외 송전망 연계 전략 연구

## 해상풍력 전력계통 연계 개선을 위한 세미나

이승문

에너지경제연구원 재생에너지정책연구팀

2023.4.17(월)



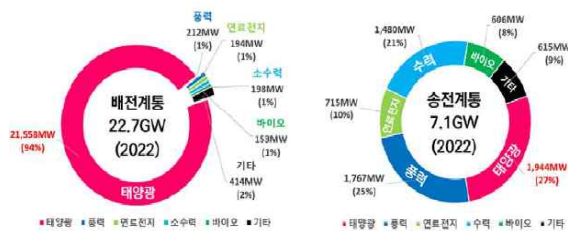
## 국내 재생에너지 전력계통 연계 현황

### 송·배전계통 연계 현황

#### ❖ 재생에너지 전력계통 연계 현황

- 송전계통: 1.0GW('12년) → 7.1GW('22년)
  - ✓ 서남해 해상풍력, 신안 해상풍력 등의 대규모 재생에너지 단지가 연계될 예정
  - ✓ 풍력발전은 대용량으로 발전단지를 구성하여 대부분 송전계통에 연계
- 배전계통: 3.1GW('12년) → 22.7GW('22년)
  - ✓ 신재생에너지 연계기술기준에 따라, 20MW 이하의 발전단지는 배전계통에 연계
  - ✓ 대부분 태양광(94%)이 연계
- 지역별 신재생에너지 발전원 연계 현황
  - ✓ 신재생에너지 발전소, 기존 발전소와 마찬가지로 수용가인 수도권 인근이 아닌 전라, 경상, 충청, 강원 등 수도권 이외의 지역에 대부분 설치
  - ✓ 신재생에너지 연계 용량의 약 56%가 전라/경상권에 설치

전력계통 신재생에너지 연계 현황 ('22년 기준)



국내 지역별 신재생에너지 발전원 연계 현황

전국 신재생E 연계용량 : 29.8GW(전라/경상/충청권 75.7%)



자료 : 광주식 외, 국내 전력망 현황, 해상풍력 연계기술 및 발전 전망(2023, p.13)





# 국내 재생에너지 전력계통 연계 현황

## 해상풍력 확대 전망 및 전력망 보강 문제점

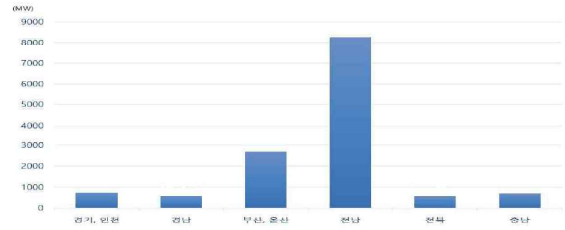
### ❖ 전력 공급과 수요 지역의 불균형

- 향후 대규모 해상풍력 발전 확대
  - ✓ '21년말, 54개소, 13.6GW 발전사업허가 획득
  - ✓ 전남 지역, 총35개소 8.3GW
- 송전망 신설과 보강 불가피
  - ✓ 부하가 낮은 지역에 설치된 신재생에너지 전력을 수도권으로 송전 필요
  - ✓ HVDC를 비롯 대규모의 전력계통설비 보강 및 확대가 요구
  - ✓ 전남의 송전망은 추가적인 재생에너지 수용이 힘든 상황

### ❖ 송전망 건설 지연

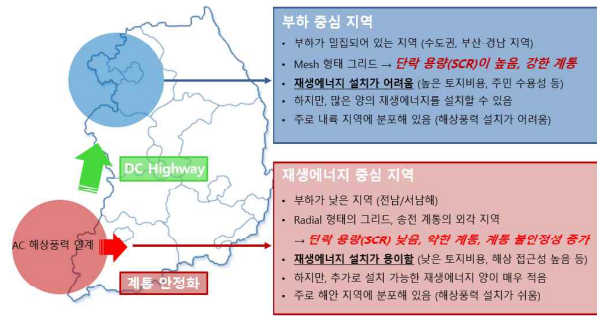
- 주민수용성, 민원 등으로 송변전 설비 건설 지연
- 지자체의 소극적 태도 등으로 인허가 지연
- 토지보상법에 따른 보상 불만 및 주민 이익공유 모델 부재 등으로 주민수용성 향상 한계

지역별 해상 풍력 발전허가 용량(MW)



자료 : 한국풍력산업협회(2022), 2021 Annual Report

### 해상풍력 접속에 따른 계통안정화 및 대용량 전력수송 필요성



자료 : 과주식 외, 국내 전력망 현황, 해상풍력 연계기술 및 발전 전망(2023, p.13)

에너지경제연구원



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 독일

### ❖ 전력망 확대: 에너지 전환의 필수 요소

- Easter Package 발표('22.7월)
  - 해상풍력, '30년까지 30GW, '45년까지 70GW
- 발전원 비중의 변화로 전력망의 확장과 재구조화가 필요
- 북부 해상풍력 전력을 서부와 남부의 주요 소비지로 송전 필요
- 공공참여(Public participation)가 가장 중요

### ❖ 전력망 확장을 위한 법률 프레임

- Energy Industry Act(EnWG)
- Grid Expansion Acceleration Act(NABEG)
- Federal Requirement Plan Act(BBIG)
- Power Grid Expansion Act(EnLAG)

### ❖ 전력망 확장을 위한 다단계 절차

1. Scenarios for the Power Supply
2. Grid Development Plan(GRP) and Environment Report
3. Federal Requirement Plan(FRP)
4. Decision on Power Line Routing
5. Defining the exact power line routes in the statutory planning approval procedure

### 독일, Easter Package 핵심

“... the principle that the use of renewable energy is in the overriding public interest and serves public security.”

### 독일, 전력망 확장 다단계(Multi-Stage) 절차 및 공공 참여



자료 : Bundesnetzagentur, Grid Expansion in Germany: Public Participation

에너지경제연구원



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

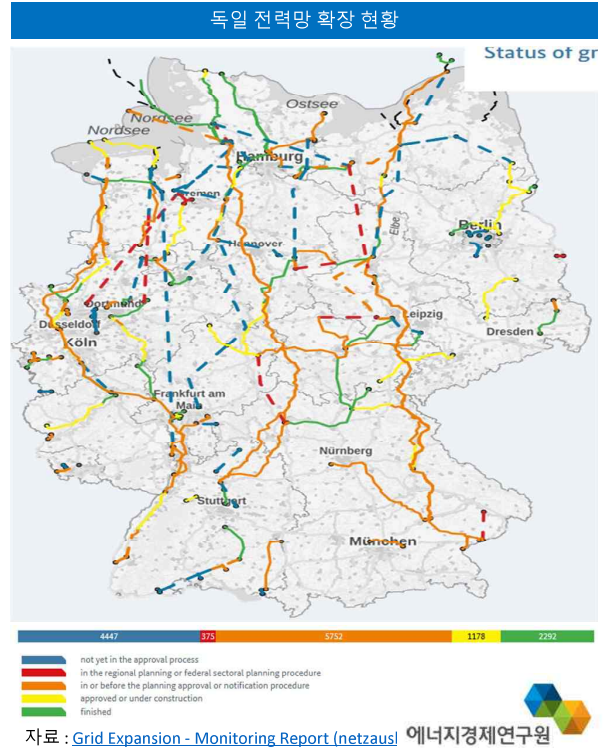
송전망 건설 계획: 독일

## ❖ TSO, Grid Development Plan(GDP) 수립

- 향후 10~15년 간의 계획 수립
- 북해와 발트해의 해상풍력 전력을 육상 초고압 전력망에 연결하는 역할 수행
- 사회 전체 이익을 위해 많은 이해당사자 참여: 초안 공개
- 해상 전력망 연결지점 확정
- DC 기술활용 방안 제공
- '22년 3분기, 총119개 프로젝트
  - ✓ 총 길이:14,044km

## ❖ BHS, 해양공간계획 수립

- 북해와 발트해 EEZ 공간 개발을 지속적 모니터링
- 해상풍력 부문 계획
  - ✓ 해상풍력법(WindSeeG)과 해양공간계획에 기반
  - ✓ 정부주도의 입지 개발 및 조사
  - ✓ 부지개발계획(Site Development Plan) 수립
    - 해상풍력과 전력망 개발 지역 지정
  - ✓ 포괄적인 조정 및 협의 과정 중요
  - ✓ 전략적 환경 평가
  - ✓ 연방공간 해상전력망 계획(Federal Spatial Offshore Grid Plan) 수립



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

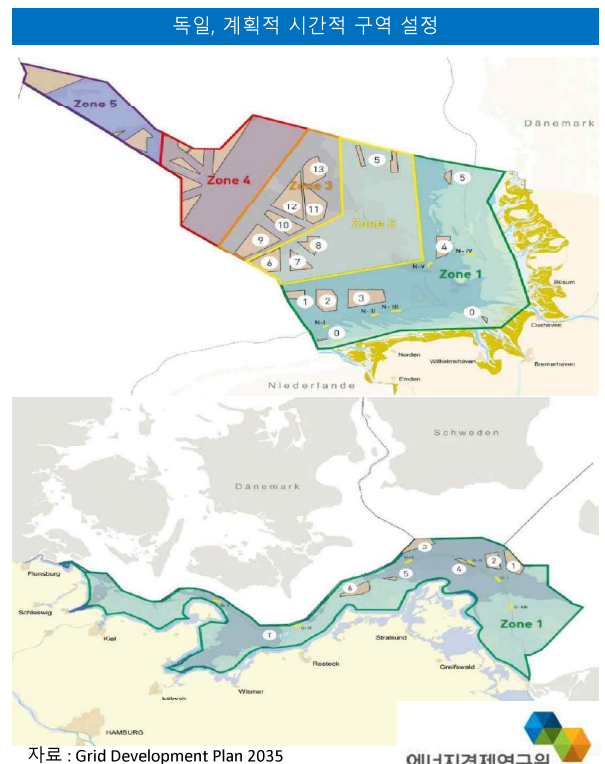
송전망 건설 계획: 독일

## ❖ 해상풍력의 확장과 육상 송전망 통합

- 부지개발계획: 해상풍력단지과 전력망 개발 부지 선정 및 해상풍력과 해상 전력망의 가동 시점을 결정
- 전력망 개발계획: 해상전력망 연결지점 식별
- BHS, 입찰 시 지역 및 가동 시기 확정에 대한 기준 고려
  - ✓ 부지개발계획 수립 시점에 존재하거나 이전 해상 그리드개발 계획에서 문제없이 확정된 해상 전력망의 효율적이고 완전한 활용
  - ✓ 해상전력망과 육상 전력망 연계지점에 대한 효율적인 계획 및 건설
  - ✓ 전반적인 잠재량 고려 입찰 물량 배분

## ❖ TSO, 해상 전력망 확장을 위한 4가지 기준 개발

- 기준1: 해안 간격, 해안으로부터의 공간적 근접성 기준
- 기준2: 송전기술, AC 또는 DC 기술
- 기준3: 전력망 연계 개념
- 기준4: 계획-승인-건설 시간 및 건설 용량







# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 영국

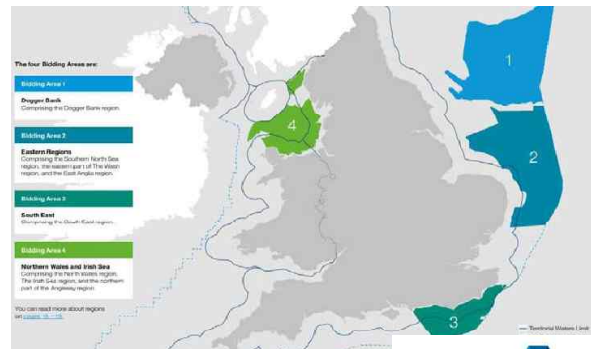
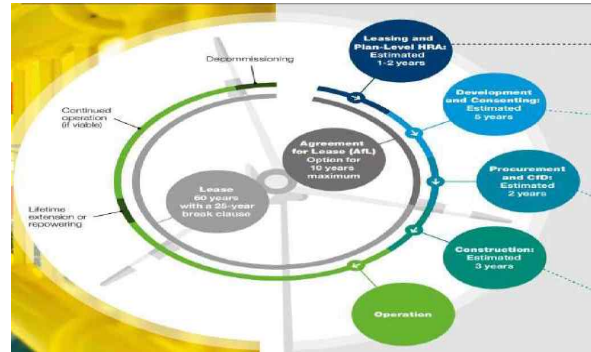
### ❖ British Energy Security Strategy('22.7월)

- 해상풍력, 16억 £ 투자
- '30년까지 50GW 보급(부유식 5GW)
- Offshore Wind Acceleration Task Force
  - ✓ Ofgem과 National Grid와 협력
  - ✓ 공사기간 단축(현재 개발에서 완공까지 약 13년 예상)
- 2008년 Planning Act 개정: Fast track 기준 마련

### ❖ Crown Estate

- 해상풍력 단지 조성 계획 발표
- 경쟁입찰 방식, 대륙붕 사업권과 개발권 임대
  - ✓ 18개월 간, 시장 및 이해 관계자 참여
- 해상풍력 Leasing Round 4
  - ✓ 8GW, 4개 구역
  - ✓ '19.10월~'21년
  - ✓ Round 종료 후, 사업자, National Grid, 이해당사자 참여하여 그리드 연결, 케이블 건설에 대한 전략 추진
    - 임대권을 낙찰 받은 사업자 해양 송전 인프라 개발한 후 OFTO(Offshore Transmission Owner)에게 운영권 양도
    - Crown Estate와 사업자 송전자산 임대 계약
  - ✓ '17년, Offshore Wind Extensions Project에서 Cable

## 영국, 해상풍력 개발 timeline 및 해상풍력 Leasing Round 4



자료: Crown Estate(2019), Information Memorandum: Introducing Offshore Wind Leasing Round 4



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 영국

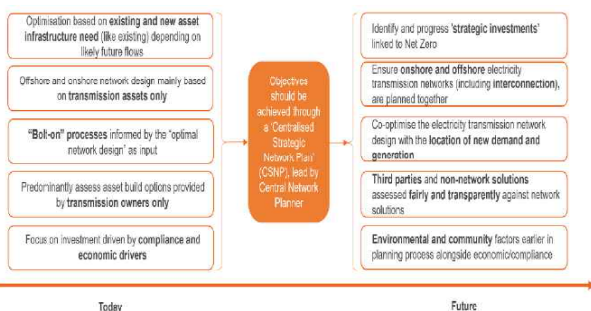
### ❖ ITPR(Integrated Transmission Planning and Regulation) Project('15년)

- 송전 인프라 계획 및 규제
  - ✓ 육상 독점 규제, 해상 개발자 주도 접근
  - ✓ System Operator가 투자 옵션 비용 평가
- 이해관계자들 간 협의 중요

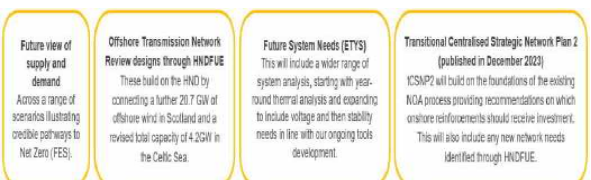
### ❖ ETYS(Electricity Ten Year Statement)

- 2050년 탈탄소 목표 달성을 위해 송전망 계획 과정의 속도와 규모의 변화가 필요
  - ✓ 연간 송전망 계획 평가(겨울철 최대 피크 등 평가) → 중앙집중식 전략적 송전망 계획(시스템 안정성 등)
- Centralised Strategic Network Plan(CSNP)
  - ✓ Ofgem과 협력: '송전망 계획 리뷰' 시행
  - ✓ 지속적인 CSNP 개선
  - ✓ '22.7월 과도기적 CSNP 발표
    - HND(Holistic Network Design) 발표
    - '30년까지 해상풍력 50GW 목표 달성에 필요한 송전망 설계와 육상 송전망 투자 권장 사항을 제공
  - ✓ 2차 과도기적 CSNP, '23년 발표 예정

## 영국, 송전망 계획의 목표 변화



## 영국, 2차 과도기적 CSNP에 포함될 내용



자료 : ETYS and our future Network Planning Process | ESO (nationalgrideso.com)







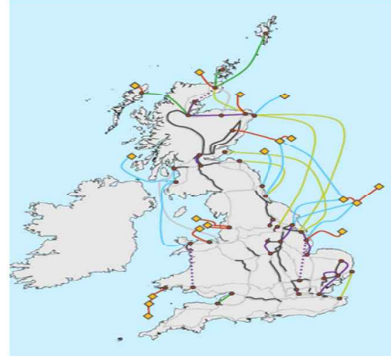
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 영국

### ❖ HND(Holistic Network Design)

- 탄소배출량 Net-zero 목표 달성을 위한 해상풍력 보급 지원 목적
  - ✓ '20.7월 해상송전망에 대한 검토(OTNR: Offshore Transmission Network Review) 착수
  - ✓ 환경적, 사회적, 경제적 비용 간 균형 모색
  - ✓ 송전망 구축 가속화
  - ✓ 기존의 방식에서 중앙집중적 전략적 방식으로 전환
    - 개별적 해상송전망 개발하여 가장 가까운 육상 연계지점에 연결하고 전력소비까지 육상 송전망을 별도로 고려 ⇒ 전력망 조직화X
    - 중앙집중적 전략: 해상풍력 프로젝트 개발단계에 따라 3단계로 구분
      1. 초기 기회(Early Opportunities),
      2. '30년까지의 경로(Pathway to 2030),
      3. 지속적인 제도(Enduring Regime)
  - ✓ 육상 송전망 건설 시간 단축
    - 효율적 허가 절차 마련, 승인절차 간소화
  - ✓ '30년 목표 달성에 필요한 송전망 인프라를 전략적 인프라로 선정
  - ✓ 전력망 구축에 현재 개발 중인 기술 적용

### HND 권고사항 반영 송전망 계획 및 HND 설계 개발 접근방식



Legend	
Existing network	—
Existing network upgrade	—
New onshore network infrastructure	—
New network need	—
New onshore network reinforcement	—
Other works	—
New offshore HVDC	—
New offshore HVDC	—
HAND offshore wind farms	—
Consensus by consultation to construct new infrastructure	—

All option routes and locations are for illustrative purposes only.

The objective	Our approach
<p>Is economic and efficient</p>	We used <b>economic assessment tools</b> to determine the optimal economic design from a range of proposed design options.
<p>Is deliverable and operable</p>	We applied a <b>deliverability assessment framework</b> that considered a range of factors including supply chain of technologies, construction timeframes, and consenting challenges.
<p>Considers impact on environment</p>	We conducted <b>assessments of environmental constraints</b> using a range of geospatial data sources to determine the location and the sensitivity of environmental constraints. We did this in consultation with Statutory Nature Conservation Bodies (SNCBs) through the CDG Environmental subgroup.
<p>Considers impact on communities</p>	We conducted <b>assessments of community constraints</b> using a range of geospatial data sources to determine the location and the sensitivity of community constraints.

자료 : nationalgridESO(2022), Pathway to 2030

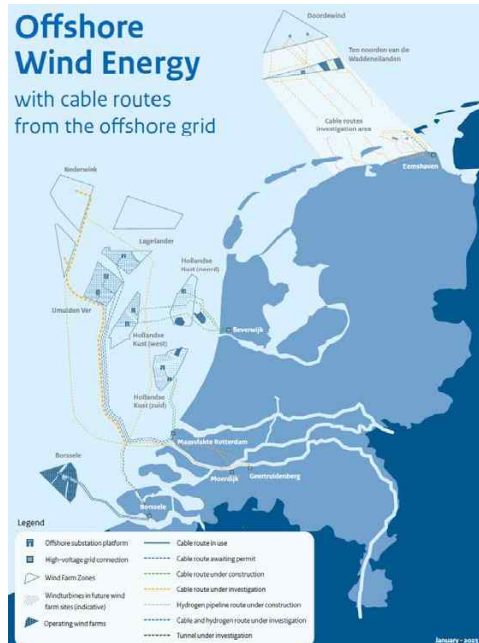


# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 네덜란드

- ❖ '14년 '해상풍력 국가 로드맵 2023(Offshore Wind Energy Roadmap 2030) 발표
- ❖ '15년, 해상풍력에너지법(Offshore Wind Energy Act) 제정
  - 정부주도의 해상풍력 추진
- ❖ 국가 수자원 계획(National Water Plan): 5년마다 수립
  - North Sea Programme 2022~2027 발표
    - ✓ 해상풍력 개발지역 지정
    - ✓ MSP(Maritime Spatial Plan): 북해의 해양공간활용계획
- ❖ '30년까지 약 21GW 보급 목표
  - '21년 기준, 2.5GW, '23년까지 4.5GW 보급 목표
  - 21GW: 네덜란드 전체 에너지의 16%, 현재 전력 소비의 75% 공급
- ❖ 해상풍력 전력망 연계 이슈
  - 해상 전력망의 육상 그리드 연계, 전력 소비지역으로 해상풍력 전력 송전 보장
    - ✓ 해상 그리드 필요성 검토, 운영자 지정, 조성 방안 등을 결정

### 네덜란드, 해상풍력 부지와 송전망 계획



자료 : 네덜란드 정부 홈페이지





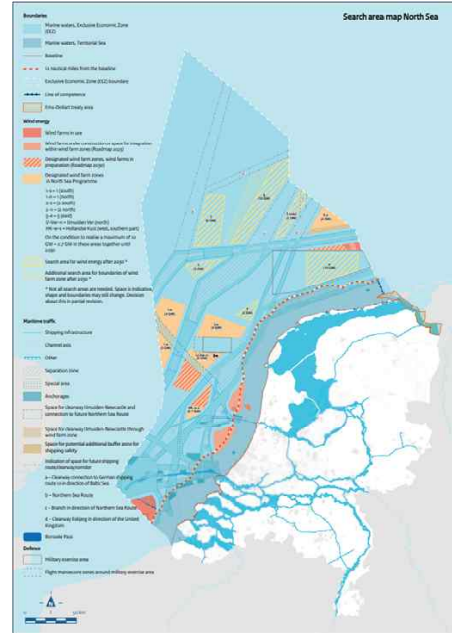
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 네덜란드

### ❖ North Sea Programme 2022~2027

- 해상풍력 발전을 위한 육상연계 지점 조사(VAWOZ: Verbindingen Aanlanding Windenergie op Zee) 프로그램 시행: 환경적, 생태적 요소 고려
  - ✓ 육상 연계 지점 선정
- '23년 1분기, 이행계획 제시 예정
- 허브 기반 접근방식 추구
  - ✓ '30년 이후 해상풍력에서 발전된 전력을 에너지 소비지역으로 보내기 위해 어떤 인프라가 필요한지 정의
  - ✓ 전력으로 송전되거나 수소로 운송 가능
  - ✓ 해상 에너지 허브 구축: 해상풍력 발전소를 중심으로 전력 및 수소를 수송할 네트워크 구축
  - ✓ 초기 해안지역 중심에서 시간이 지나면 육상으로 전송 예정
- EIPN(Energie Infrastructuur Plan Noordzee, 북해 에너지 인프라 계획) 작성: '24년 초 예정
  - ✓ 2030~2050년 동안 해상풍력에 필요한 인프라 개발과 에너지 시스템 통합 관련 전략적 계획 제공 예정
  - ✓ 인프라의 위치, 시기, 유형을 제시

### North Sea Programme에 반영이 검토될 해상풍력 구역



자료 : North Sea Programme 2022~2027

에너지경제연구원



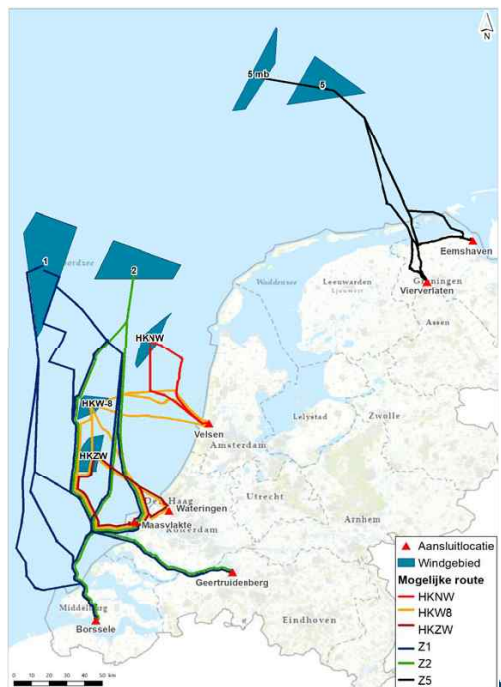
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 네덜란드

### ❖ 해상풍력 전력의 육상 연계를 위한 정부 계획

- 케이블 연결에 국한하지 않고 전력망에 유연성 자원 공급 필요
- 해상풍력 개발 프레임워크 제공: 기능적 요구 사항과 기술계획 제공
  - ✓ 해상풍력 사업자에게 단지 설계 지침을 제공
  - ✓ 전력망 운영자를 위한 지침 제공
- 공간계획법(Spatial Planning Act)에 따라 해상풍력 사업의 육상 연계 절차 규정
- VAWOZ 프로그램 시행
  - ✓ '30년까지 해상풍력 개발지역을 고압 전력망에 연결한 가능성 조사
    - 해상풍력 구역들과 연계할 다양한 경로 조사
  - ✓ '31~40년 미래 해상풍력 프로젝트 에너지를 육상으로 전송할 방법 검토
    - 형태: 전력 또는 수소
    - 운송 수단: 케이블, 튜브, 선박 등
    - 노선
    - 에너지 전달 지점(에너지 수요가 가장 많은 곳)
  - ✓ 육상 전력망 선정을 위해 영향평가 연구 수행

### 전력계통 신재생에너지 연계 현황 ('22년 기준)



자료 : 네덜란드 정부, Verkenning aanlanding wind op zee 2030 (VAWOZ)-2030 해상풍력의 육상연계 검토

에너지경제연구원



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 일본

### ❖ 해상풍력 보급 목표 설정

- 제1차 해상풍력산업비전: '30년 10GW, '40년 30~45GW 제시,
- 21년 '제6차 에너지기본계획: '30년 5.7GW 보급 목표 확정
- 해상풍력사업 시행을 위한 '촉진구역'을 지정
  - ✓ '해양재생에너지발전설비 정비 관련 해역 이용 촉진 법률'에 의거
  - ✓ 공모를 통해 사업자 선정, 최대 30년간 점유할 수 있도록 제도 개정
  - ✓ '촉진구역'으로 선정을 희망하는 지자체 및 사업자는 각 해역의 정보를 제공하여 '준비구역'으로 선정되어야 하고, 이후에 현지 이해관계자와의 조정이 진행된 후에 '유망구역'으로 선정되어야 함.
- 차세대 네트워크 구축을 위한 재생에너지 정책 추진 방향성 제시

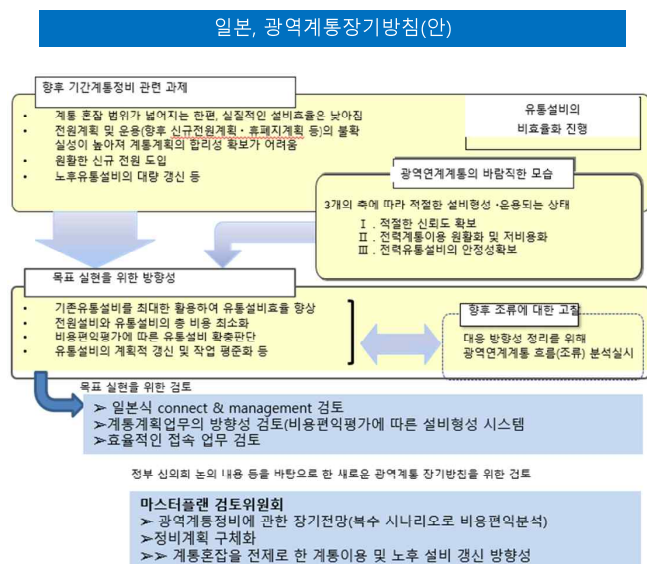


# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 일본

### ❖ 재생에너지 도입, 전력계통 확보 중요

- 전력광역운영추진기관(OCCTO), '광역계통 장기방침(마스터플랜)'을 제시
  - ✓ 재생에너지 주력 전원화 및 재생에너지 공급 강화를 위한 광역연계 계통의 운용 확대
  - ✓ 재생에너지와 분산형 전원의 원활한 접속
  - ✓ 홋카이도·도호쿠 지역, 해상풍력 보급 확대되면서 지역내 전력 공급이 수요를 초과할 전망
- ⇒ 도쿄 등의 지역으로 전력 송전 필요성 증대
  - 해저 HVDC 도입 예정이며, 재해 등에 송전 중지 등을 고려하여 동해와 태평양 방향으로 각각 분산하여 부설 계획
- 광역계통 장기방침 방향성
  - ✓ 국민 부담 억제
  - ✓ 재생에너지 도입 확대
  - ✓ 전력망 강화
- ⇒ 기존 전력망 설비 최대한 활용하기 위한 계통이용규정 재검토
- ⇒ 비용편익평가에 따른 계통확충 검토 심화



자료: 경제산업성, 광역계통 장기방침





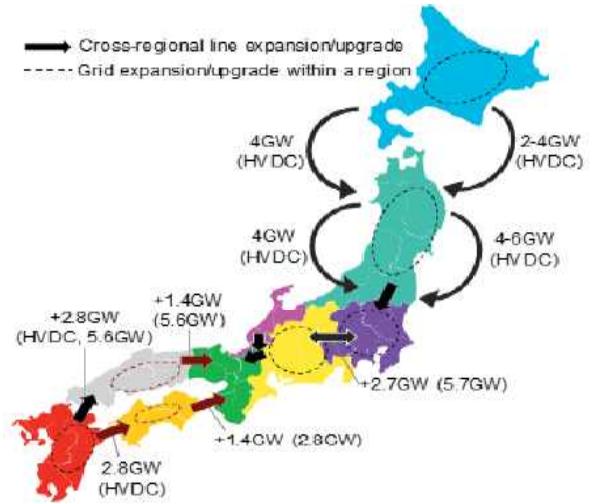
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 송전망 건설 계획: 일본

### ❖ 광역계통정비 장기전망 기본방향

- 비용편익평가 방향성
  - ✓ 계통정비를 하지 않을 경우(without)와 계통정비를 할 경우(with)의 차이를 비교 평가
- 계통 확충 방향성
  - ✓ 기존 선로 개선 및 신규 선로 확충 등 계통 확충 비용 억제할 수 있는 대안 우선
  - ✓ 비용절감 관점에서 연속성 및 확장성 고려하여 아래의 우선순위에 따라 검토
    1. 기존 설비를 최대한 활용한 부분적 확충으로 송전용량 확장
    2. 기존 모든 선로 개선, 신규 선로 추가로 용량 확대
    3. 장거리 송전: HVDC 송전을 활용한 신규 선로 형성
  - ✓ 해상풍력 도입 검토: 향후 해상풍력의 도입 전망의 약 80%가 홋카이도, 도호쿠, 규슈에 집중
    - 해상풍력 개발 지역에서 대량 소비로의 조류 기조 고려(홋카이도→도쿄, 규슈→간사이·주부)
    - 연계망 확충 효과 확대에 필요한 지역 내 기간계통 확충도 함께 고려

### 일본, OCCO의 송전망 계획



출처: BNEF, New Grid Plan Underestimates Investment Needs: BNEF Japan Power

주: OCCO의 그리드 계획에 따라 확장될 교차 지역 라인을 나타냄. OCCO는 구체적인 확장 계획(검은색)과 잠재적인 계획(갈색)을 나열. 화살표는 최대 부하 조건에서 예상되는 주요 전력 흐름 방향을 나타냄.

에너지경제연구원



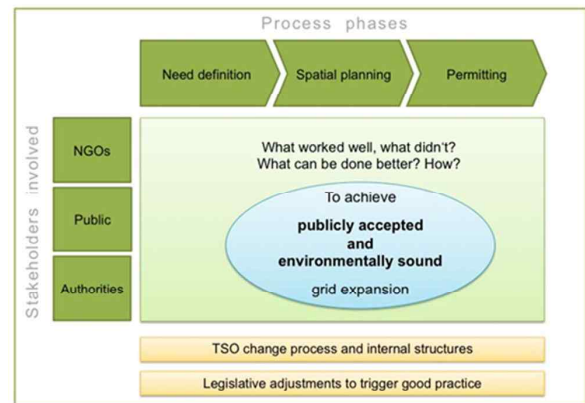
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 주민수용성: 주민참여

### ❖ EU, 그리드 공공수용성 분석

- 공공수용성 선결 조건
  - ✓ EU, 환경 법안 시행
  - ✓ 생물다양성 유지 등의 환경 문제 해결
- 전력망 확충은 이해하지만, 확충 반대 의견도 많음
  - ✓ 경제적, 환경적 문제 발생에 기인
  - ✓ 이해관계자와 소통 채널을 구축하고 지속해서 의견 교환하는 노력이 필요
  - ✓ 사업 초기 단계에서부터 이해관계자 참여 보장
- 지역 정치적 이해관계자와의 협력 중요
  - ✓ 신규 사업에 정당성 부여, 지역 사회의 수용성 향상
  - ✓ 사업 초기, 정치적 이해관계자 및 지방정부의 공식적인 동의를 구하기 위한 노력 필요
- 신규 프로젝트 의사결정 메커니즘에 대한 투명성 확보
  - ✓ TSO-NGO 협력이 어려운 경우 다수 존재
  - ✓ 신뢰할 수 있는 정보 제공
  - ✓ 언론의 적극적 활용
- TSO 기술기반 계획접근 방식 추구
  - ✓ 공공참여, 환경계획, 소통에 대한 전문가 채용
  - ✓ 안정적이고 비용효율적인 그리드 구축

### 송전망 주민수용성 개선 구조



자료 : Schneider and Sander(2011)





# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 주민수용성: 주민참여

### ❖ 영국

- 이해당사자 참여와 피드백은 HND 개발의 핵심적 역할
- TSO, 이해당사자에게 정보 제공
- 이해당사자의 접근, 참여 및 피드백 보고서 발간
- 해상 전력망 및 접속지점 선정
  - ✓ 지역사회 이해당사자의 피드백 평가



자료 : nationalgridESO(2022), Pathway to 2030

### ❖ 독일

- 정부, 시민들과 초기 대화를 이끌고 전반적인 정보 제공
- 전력망 확장의 모든 단계에서 광범위한 공공 참여 보장
- TSO, 적극적인 시민과의 대화 시행
- Grid Development Plan 수립 시 의견서 제출

### ❖ 네덜란드

- 해상풍력 계획 수립 시행 시, 이해관계자 고려
  - ✓ 기존의 복해 관련 이해당사자와 협의
- 환경 및 생태적 요소 고민
- 전력망 연계의 정확한 위치는 워크숍이나 정보 제공을 통해 지역 이해당사자와 논의
- 누구나 최종 결정에 대한 의견 및 이의를 제기 가능



# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 주민수용성: 토지주 보상 및 이익공유

### ❖ 토지주 보상: 유럽 및 일본

- 법에 의해 보상절차가 규정
- 송전탑, 송전선로 선하지 대상 보상
- 경작지, 임야지에 대한 손해 보상 구분
- 신속한 보상절차를 위한 협의간소화 인센티브 활용(독일, 과 영국)
- 각 나라의 법, 제도, 경제 상황에 따라 차이가 존재

### ❖ 이익공유 모델

- 주민지원사업 외 재생에너지 발전사업과 달리 특별한 이익공유 모델이 부재





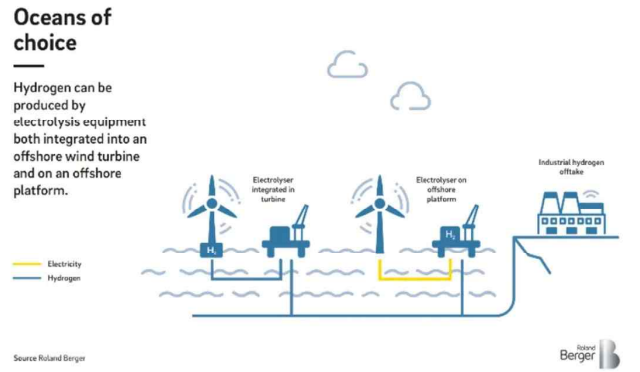
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 전력망 대안: 해상풍력 사업의 다각화(P2G 등)

### ❖ 해상풍력 프로젝트에 대한 전력망 연계 불확실성 증가

- 정부의 적극적인 전력망 확충 계획 수립에도 불구하고 전력망 연계에 대한 불확실성이 확대
- 네덜란드, 독일, 영국
  - ✓ 재생에너지 연계 그린 수소 생산
  - ✓ 전력 송전 대안으로 수소 수송 관심
  - ✓ 전력망에 유연성과 저장 솔루션 제공
- McKinsey&Company는 해상풍력 프로젝트 성공을 이끄는 요인 중 하나로 '혁신적인 프로젝트 개발'을 선정
  - ✓ '다기술(Multitechnology) 통합' 전략을 추구
  - ✓ 그린 수소 생산과 연계
- RWE, Orsted 등 해상풍력 연계 그린수소 생산을 주요 사업으로 추진 중
  - ✓ RWE, 신기술 개발 및 투자에서 해상 그린수소 발전을 주요 투자 사업으로 지정
  - ✓ Orsted, 재생에너지 연계 수소 생산을 주요 에너지 솔루션으로 선정

### 해상풍력 연계 그린수소 생산 개념도



자료 : [Innovate and industrialize: Offshore wind energy | Roland Berger](#)



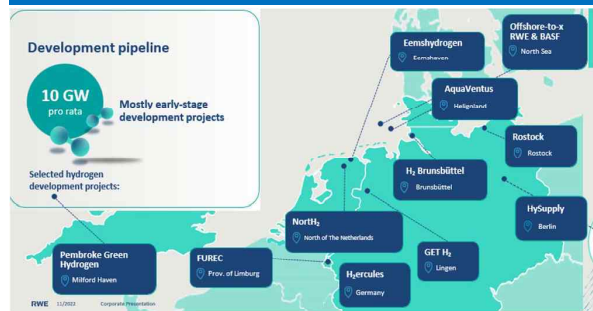
# 해외 해상풍력 송전망 연계 전략

## 전력망 대안: 해상풍력 사업의 다각화(P2G)

### ❖ 주요 해상풍력 연계 그린수소 생산 프로젝트

- NorthH2 프로젝트
  - ✓ '30년까지 4GW 해상풍력, 네덜란드 전기분해 공장에서 수소 생산
  - ✓ '35년 독일의 AquaVentus, AquaDuctus 프로젝트와 연계 10GW 해상풍력, 최대 100만톤 수소 생산
  - ✓ Shell, Gasunie, Equinor, RWE 참여
- Seah2Land 프로젝트
  - ✓ 세계 최대 해상풍력 연계 그린수소 생산 프로젝트
  - ✓ GW규모의 전기분해 설비시설 설치
  - ✓ 네덜란드와 벨기에의 산업용 수요 공급
- H2RES 프로젝트
  - ✓ 세계 최초의 재생에너지 활용 그린수소 생산 프로젝트
- FlexH2 프로젝트
- Dolphyn 프로젝트
- H2opZee 프로젝트
- Deep Purple 프로젝트

### RWE의 재생에너지 연계 그린수소 생산 주요 프로젝트



자료 : RWE, Our energy for a sustainable life, RWE corporate presentation

### Orsted의 Seah2Land 프로젝트



자료 : [Orsted to develop one of the world's largest renewable hydrogen plants to be linked to industrial demand in the Netherlands and Belgium \(orsted.com\)](#)





## 정책적 시사점

### ❖ 전력망 확대: 에너지전환의 필수요소

- **재생에너지의 확대로 전력망의 확장과 새로운 전력망 구축 전략이 필요**
  - ✓ 최근 독일, 영국, 네덜란드, 일본 재생에너지 확대에 대비한 새로운 전력망 구축 계획을 발표
    - 지속적으로 업데이트될 예정임.
  - ✓ 비용 효율적이고 안정적인 전력망 구축계획 수립
  - ✓ 이해당사자들의 적극적 참여 보장
- **해상풍력 보급과 그에 따른 해상과 육상 전력망 구축**
  - ✓ 해상풍력 보급에 맞춰 해상 전력망 연계 지점과 육상 전력망 확충 계획 수립
    - 독일, 영국, 네덜란드, 일본 등 정부 주도의 해상풍력과 전력망 개발 계획을 추진
    - 유럽, 해양공간계획 하 해상풍력과 전력망 개발 계획 추진
    - 유럽, 해양공간계획에서 해상풍력이 중요한 활동 중 하나임.
- 전력망에 유연성 자원 및 HDVC 기술 등을 적용
- 전력망 건설을 위한 인허가와 승인 절차 간소화 추진
  - ✓ 전력망 건설 시간 단축
  - ✓ 재생에너지와 전력망 공기 차이에 따른 송전제약 회피



## 정책적 시사점

### ❖ 주민 수용성 제고

- **전력망 건설 계획 시, 지역주민 참여를 보장**
  - ✓ 독일, 영국, 네덜란드의 경우, 해상풍력 및 전력망 개발 계획 수립 시 각 단계마다 지역주민을 비롯한 이해당사자의 참여를 법적으로 보장함.
    - 지역주민의 의견을 기록하고 계획 협의 시 반영 노력
    - 지역주민에게 계획 수립에 대한 정보를 정확하고 투명하게 제공
  - ✓ 지역주민 참여 방안의 법제화: (한전 내규) 입지선정위원회의 법제화 고려
  - ✓ 주민 대표와 일반 주민 간 정보의 비대칭 문제 해결
    - 사업 설명 및 홍보 시설 상설화 등 정보 제공 채널 확보
  - ✓ 전국민 대상 해상풍력 및 전력망 개발 계획 정보 공개 확대
- **지자체와의 협력 강화**
  - ✓ EU 분석에 따르면 각종 인허가 및 민원 문제에 대응하기 위해 지자체와의 우호적인 관계를 유지하는 것이 중요
  - ✓ 각종 인허가 처리 및 민원 대응 등에서 지자체의 협조가 필수적
- **토지주 보상 강화**
  - ✓ 협의 간소화에 따른 인센티브 도입
- **토지주를 포함한 경과지 지역 주민과의 이익공유 모델 창출**
  - ✓ 재생에너지 발전사업과 연계된 이익공유 모델 고려(ex, 밀양 송전선로 선하지를 활용한 태양광 사업)





# 정책적 시사점

## ❖ 전력망 대안 추구

- 정부의 적극적인 송전망 확대 계획 수립에도 불구하고 해상풍력 프로젝트의 전력망 연계의 불확실성 확대
  - ✓ 전력 수요지역과 해상풍력 공급 지역의 불일치에 따른 대규모 전력망 구축 필요
    - 독일, 영국, 네덜란드, 일본 모두 전력 수요지와 공급지의 불일치에 따른 송전 문제 발생
    - 수도권 중심의 대규모 전력 수요지역과 호남 중심의 대규모 해상풍력 공급 지역과의 불일치
    - 향후, 데이터 센터, 반도체 단지 등 대규모 전력사용 산업 시설 수도권으로의 입지 희망
    - 정부, 지역간 전력수급 불균형으로 남부의 해상풍력 전력을 수도권으로 송전하기 위해 대규모의 송전망 확대 계획을 마련 중
  - ✓ 하지만, 주민수용성, 인허가 지연 등으로 송전망 확대와 송전망 적기 건설에 대한 의구심 존재
- 해상풍력 연계 사업 다양화
  - ✓ 해상풍력 전력의 전력망 공급 이외의 다른 용도로 활용을 고려
  - ✓ 유럽을 중심으로 해상풍력과 그린 수소 생산 연계 프로젝트가 실증되고, 주요 해상풍력 기업의 전략적 사업으로 부상
    - 독일, 영국, 네덜란드 등 해상풍력 전력의 전송 대안으로 수소 수송을 고려
  - ✓ 국내에서도 장기적으로 해상풍력과 그린 수소 생산 연계 프로젝트를 고려 가능
  - ✓ 대규모 전력 소비처의 전력 공급지로의 이전을 유도하는 정책을 고려할 필요
    - 해상풍력 발전단지 주변지역의 기업과의 재생에너지 전력 공급 PPA 사업 추진 가능

**MEMO**

**MEMO**