

에너지전환 청년프론티어

해상풍력 현황과 과제

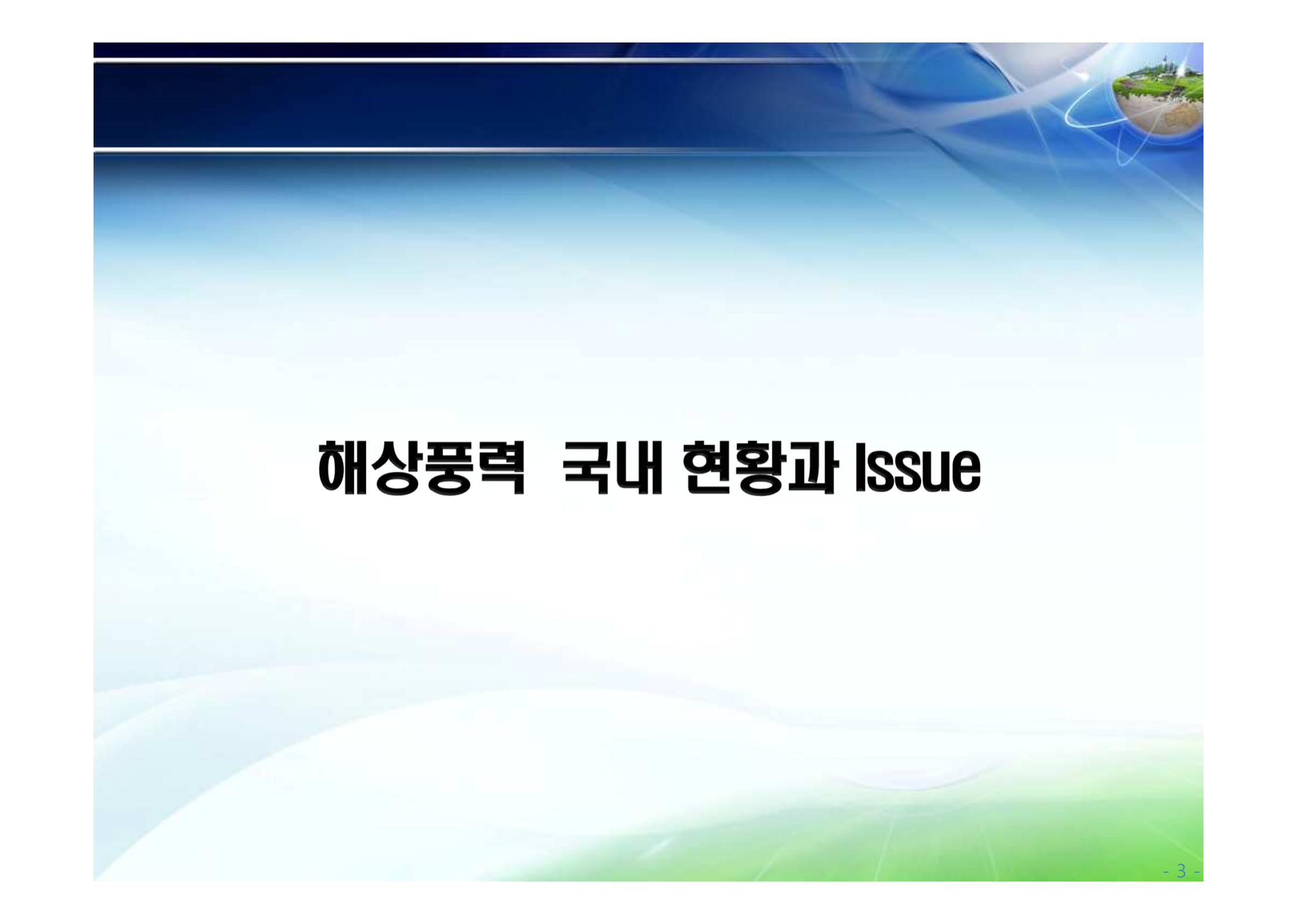
2019. 7. 10

한국전력공사 전력연구원
강금석



목 차

1. 현황과 Issue
2. 환경영향과 어업
3. 수산업 공존 모델
4. 해상풍력 수용성



해상풍력 국내 현황과 Issue

해상풍력은 미래의 청정 주력 에너지



▶ 해상풍력은 원자력과 화력발전을 대체할 목적으로 세계적으로 개발 활발



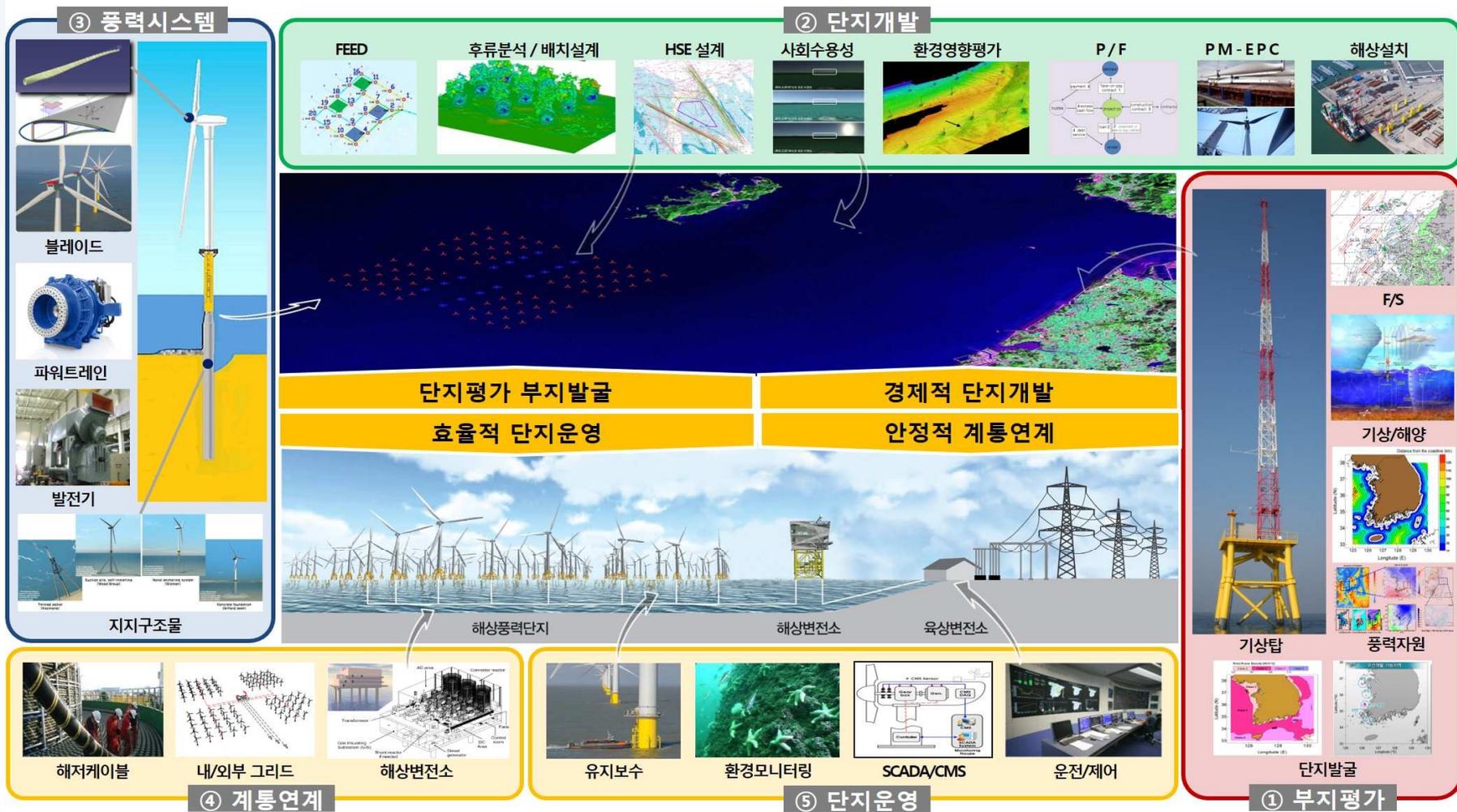
※출처: <http://www.4coffshore.com>

- ✓ 현재는 발전단가(Cost of Energy)를 줄이기 위한 실증, 기술개발 단계
- ✓ 터빈 대용량화(8MW), 단지 대규모화(GW급), 부지확대(외해, 중대수심)

해상풍력발전은 대규모, 송전급, 집중 전원



▶ 해상풍력은 대규모 자본 투입, 거대 장치 산업으로 연관 분야 다양



✓ 계획부터 준공까지 장기간 소요 (약 6년)

해상풍력 잠재량은 풍부하나 개발 부진

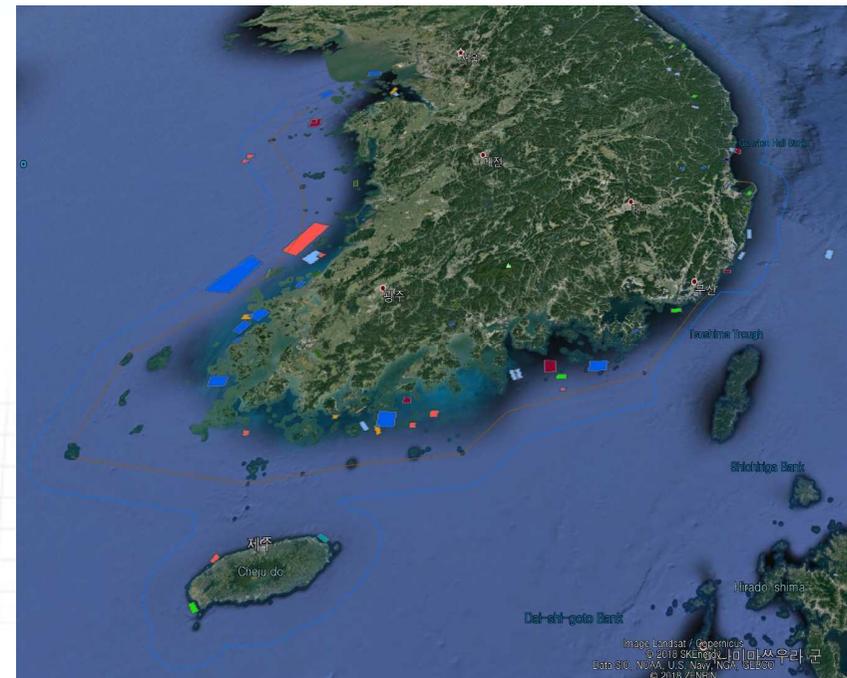


□ 잠재량 및 개발현황

- 기술적 잠재량 : 33.2 GW <신재생에너지 백서, 2016>
- 운영 중
 - . 상업용 단지 1개소, 10기, 30 MW (탐라)
 - . 실증단지 3개소, 3기, 8 MW (월정, 군산)
 - 해안 풍력 34.5 MW (영광 육해상복합)
- 공사 중 : 서남해 실증단지 (60 MW) '19.10 준공 예정
- 사업추진 : 33개소 11 GW
 - . 발전사업 허가 후, 16개소, 2.3 GW
 - . 발전사업 허가 전, 27개소, 8.7 GW



해상풍력 개발 후보지 (KIER)

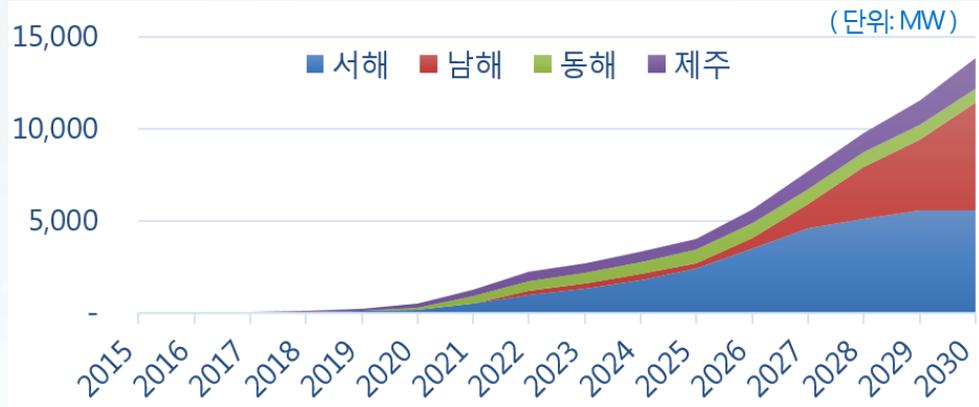


개발 추진 단지 (KEPRI)

전력계통 연계를 고려한 해상풍력 개발 시나리오

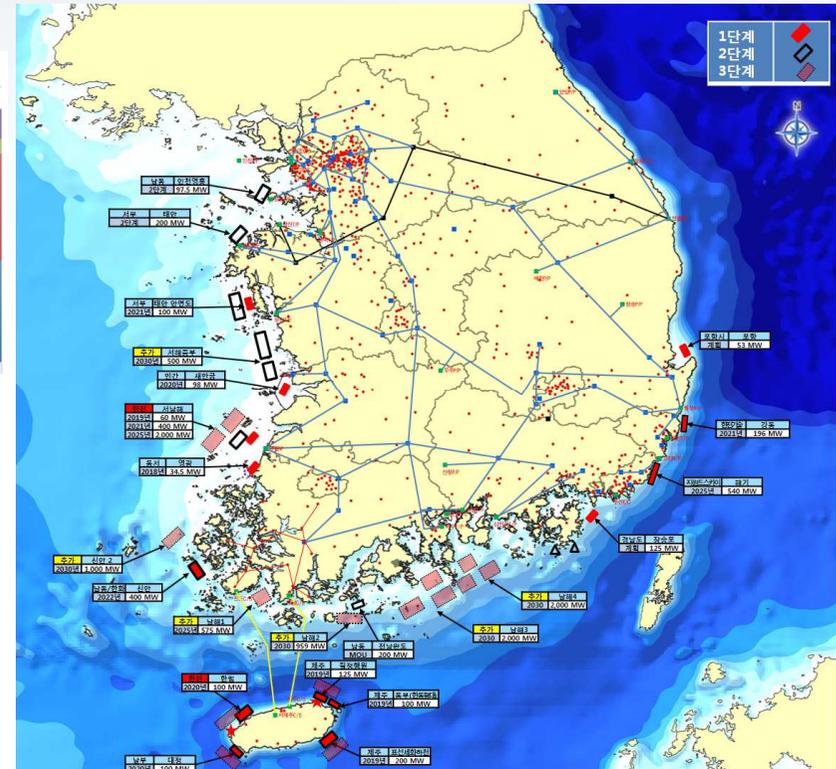


□ 해상풍력 시나리오



- 국내 여건을 고려하여 단계적 개발 필요
 - '25년까지는 개발 추진 중인 단지 반영
 - '25년 ~ '30년 : 대규모 외해형 개발 추진
- '25년 4.04 GW, '30년 13.88 GW
- 전력계통 제약조건에 가장 민감

□ 사업모델



단계별 개발 시나리오

1단계: 소규모 연안형 (174 GW)	2단계: 대규모 외해형 (2.54 GW)	3단계: HVDC+해상풍력 (9.6 GW)
<ul style="list-style-type: none"> - 100 MW 이내 소규모 개발 - 해안 인근, 낮은 수심 - 기존 전력계통 최대 활용 - 단기적 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 500 MW급 중규모 개발 - 1단계 단지 확장, 외해, 중수심 - 기존 전력계통 보강 - 중기적 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - GW 급 대규모 개발 - 외해형, 중대수심 - 대규모 전력계통 보강 (HVDC) - 장기적 개발('25년 이후)

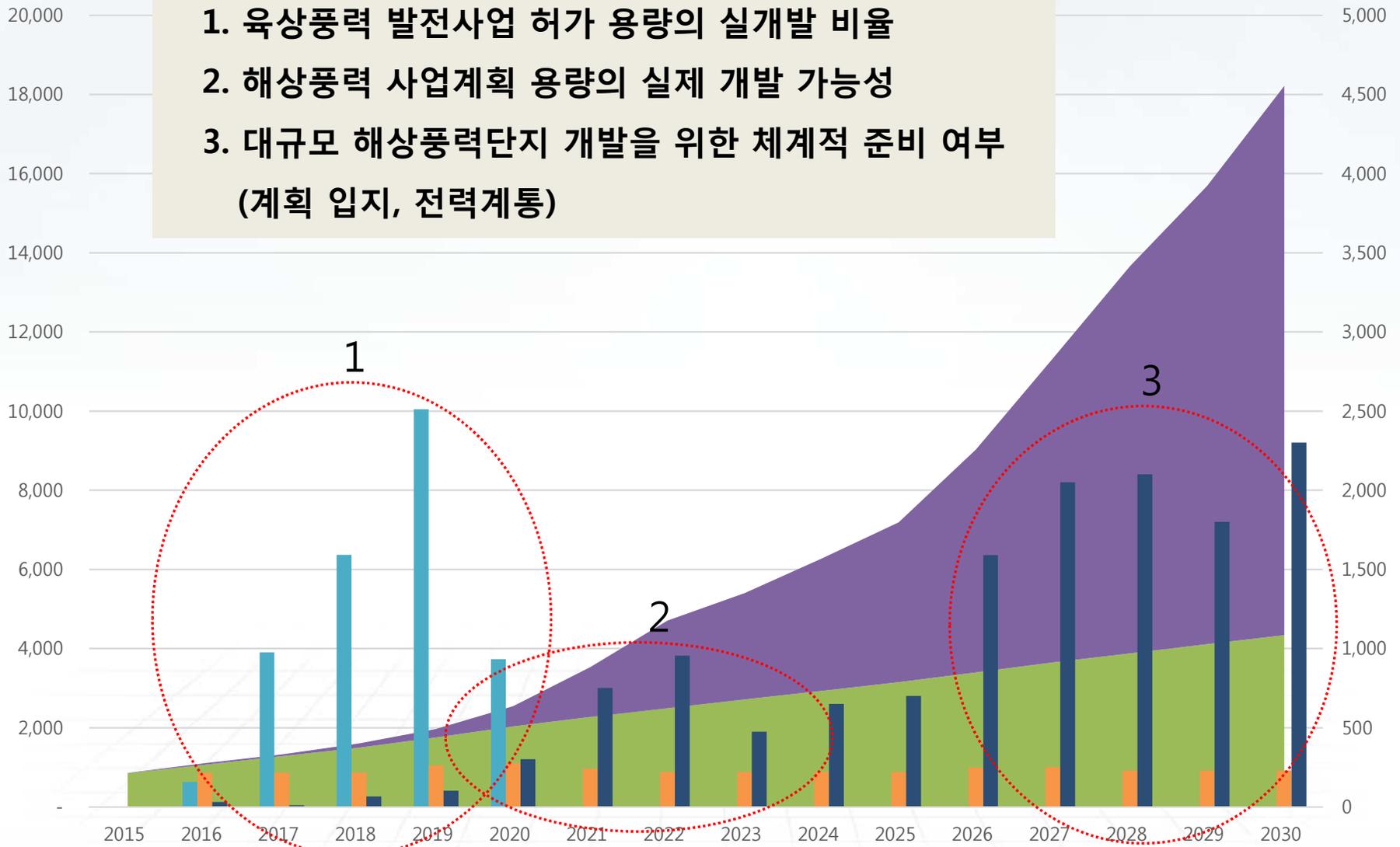
국내 풍력 개발목표 달성을 위한 핵심 지점



(단위: MW)

(단위: MW)

1. 육상풍력 발전사업 허가 용량의 실개발 비율
2. 해상풍력 사업계획 용량의 실제 개발 가능성
3. 대규모 해상풍력단지 개발을 위한 체계적 준비 여부 (계획 입지, 전력계통)

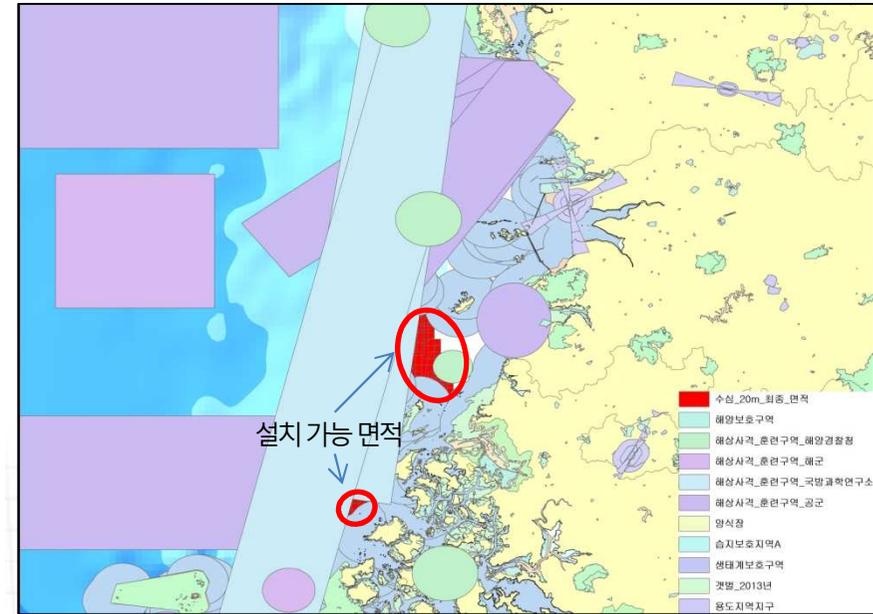
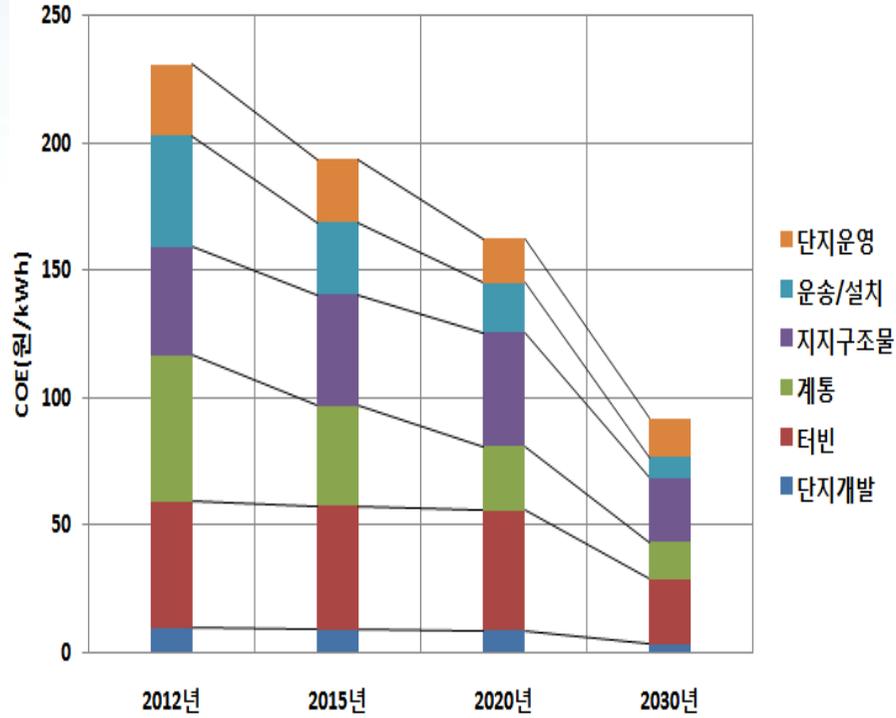


■ 누적 육상풍력 ■ 누적 해상풍력 ■ 신규 육상풍력_허가 ■ 신규 육상풍력 ■ 신규 해상풍력

해상풍력 활성화를 위한 현안 사항



- (풍력산업) 국산 풍력터빈의 안정적 공급처 확보, Supply Chain 육성
- (경제성) 해상풍력 발전사업의 경제성 확보 및 선진국 수준 COE 절감 필요
- (수용성) 해상풍력단지의 안정적 개발을 위한 정부/지역/주민의 합의 필요
- (제약조건) 해상풍력단지 입지 확보를 위해 계통/전파/해양/환경 제약조건 극복 필요



<국내 해상풍력 중장기 COE 절감 시나리오(안), 예기평>

<해상풍력 입지 제약조건>

해상풍력 주요 이슈 및 해결방안



- (계획입지) 국가적으로 해상풍력 입지 공급 및 3020 개발 로드맵 수립 필요

☞ 시장 불확실성 해소(산업체 자발적 투자 유도), 제약조건 체계적 극복 가능

☞ 제약조건 및 수용성 고려시 범정부(국방, 해양/수산, 환경 등)/지자체 협력 필요

- (수용성) 환경영향 및 주민 수용성 문제는 필수적 과정이며 해결 가능 분야

☞ 과학적, 체계적 접근 필요(모니터링, 협의체 등), 편익 분배 구조가 핵심

☞ 해상풍력 등 RE에 대해서는 긍정적, 지역/주민에 대한 혜택 구조가 관심 사항

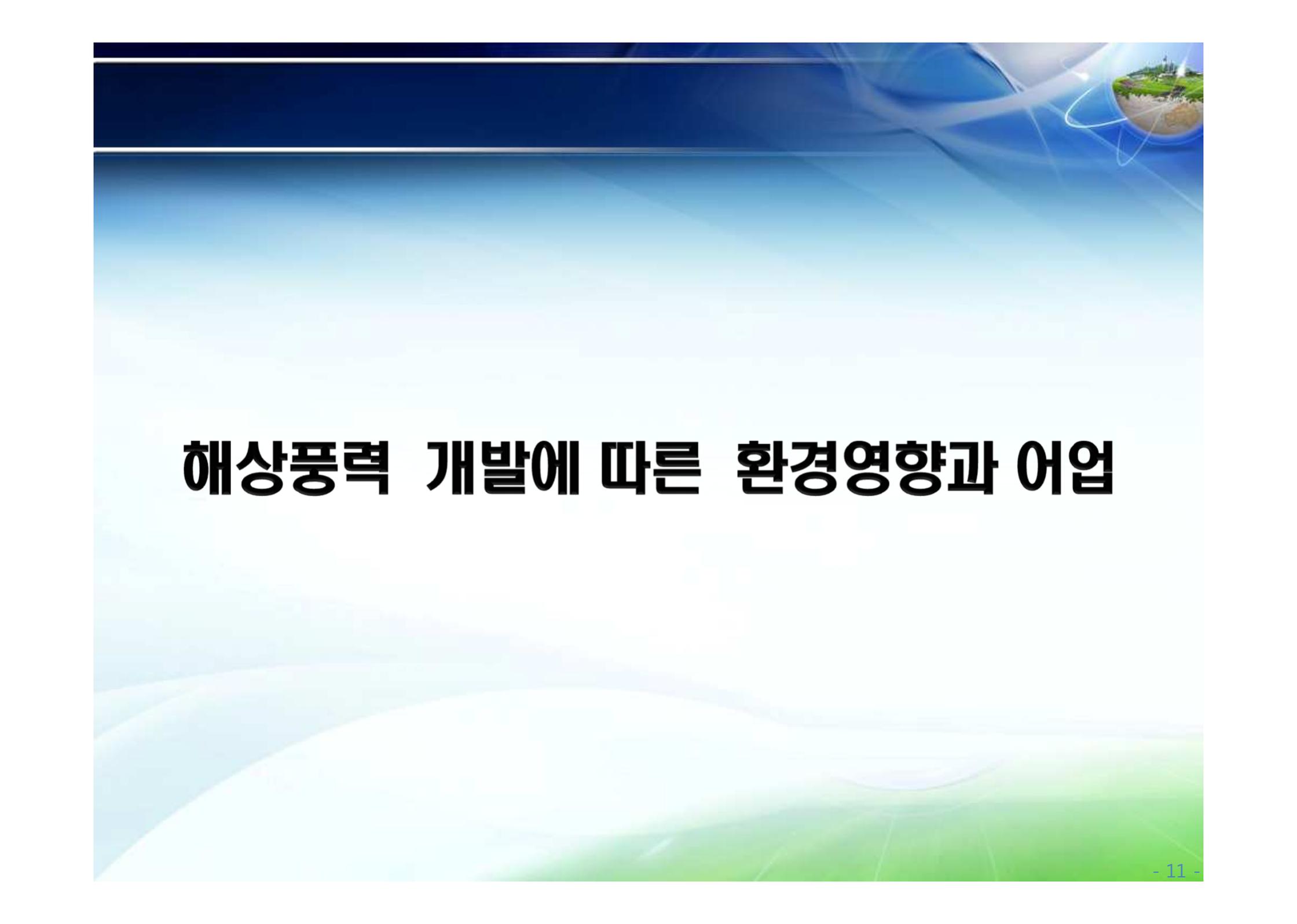
※ 지역/주민 대상 신규 편익 창출 예 : 해상풍력-수산업 공존 개발

- (전력계통) 해상풍력 입지계획에 계통계획 포함 및 전력수급계획에 반영 필요

☞ 전력계통 연계 소요 필수기간, 제약조건 및 수용성 고려시 종합계획 시급

- (경제성) 해상풍력 개발규모 확대가 핵심, 경제성 향상 단위기술 개발 병행

☞ 규모의 경제(년간 500MW 규모) 실현시 개발단가(COE)100원/kWh대 진입 가능



해상풍력 개발에 따른 환경영향과 어업

1. 해상풍력의 환경영향

육상풍력과 해상풍력

항목	육상풍력	해상풍력
풍속	저	고
이격거리	근거리	원거리 (5~10km↑)
단지규모	작음	큼 (100MW ↑)
환경영향	소음, 그림자 등 거주지역 영향 큼	어류, 선박항행 등 어업영향 중요

해상풍력의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 육상풍력에 비해 환경적 영향이나 주민생활에 미치는 직접적 영향은 적은 것으로 평가 (← 이격거리 증가) ➤ 새로운 관광자원으로 활용가능 ➤ 어류와 해양생물의 좋은 서식과 산란처를 제공하는 어초 역할 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 기초구조물 설치를 위한 파일 항타 등 : 소음 발생 ➤ 해저 생태계에 대한 영향 (저서생물 등) ➤ 육상풍력에 비해 대규모 풍력단지 → 영향 ↑ ➤ 풍력기기에 의한 해중 소음과 진동 ➤ 해상 파일과 해저케이블에 의한 세굴/퇴적

공사 중 해양환경영향

부유사 확산영향

- 파일항타 및 해저케이블 매설 시 발생
- 부유물질이나 부유토사는 간접적으로 주변 해역의 생물에 영향을 미침
- 전력케이블을 해저에 매설하는 경우에도 부유사 확산으로 저서생물은 서식처를 잃게 됨

해저지형 변화

- 해저바닥에 기초가 설치되면 세굴(Scour)이 발생
- 유사운동과의 상호작용으로 침식 및 퇴적이 유발됨

항타 시 해양생태계에 미치는 영향

- 하부기초 설치 시 발생하는 충격과 소음이 주변 해역 돌고래의 생명에 위협(독일 환경부)
- 대형하부지지대가 새우와 조개에 심각한 피해를 줄 가능성이 있음
- 항타에 의한 소음발생은 해저지면 특성, 수심깊이, 항타방법, 항타장비 종류 및 소음저감장치 등에 따라 다양한 분포를 나타냄

운영 시 해양환경영향

해양생태계에 미치는 영향

- 풍력기의 운전으로 소음 및 진동이 공중, 수중, 지중으로 전달될 수 있음
- 소음의 세기는 풍속과 풍력기의 출력에 따라 다름
- 블레이드 회전시 발생하는 소음은 수중에 거의 전달되지 않음
- 공중의 소음이 수중으로 투과되는 비율은 0.11%에 불과함

조류(새)에 미치는 영향

- 풍력기 운전시 충돌로 인한 조류의 사망, 이동장애를 유발
- 장단기적인 휴식처의 손실
- 발전량 1MW 기준에서 조류의 사망률은 연간 0.95~11.67마리

기타 환경적 영향

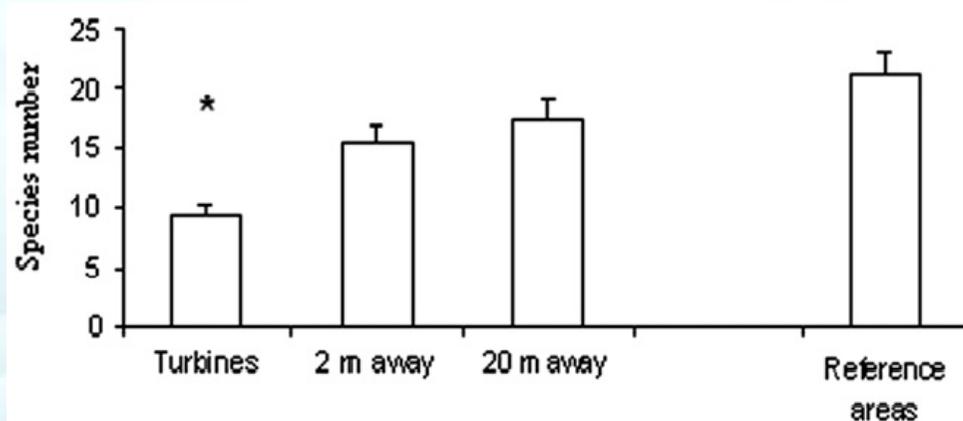
- 해양경관의 훼손
- 레이더 교란
- 시설물 도료 등 화학물질

2. 해외 사례

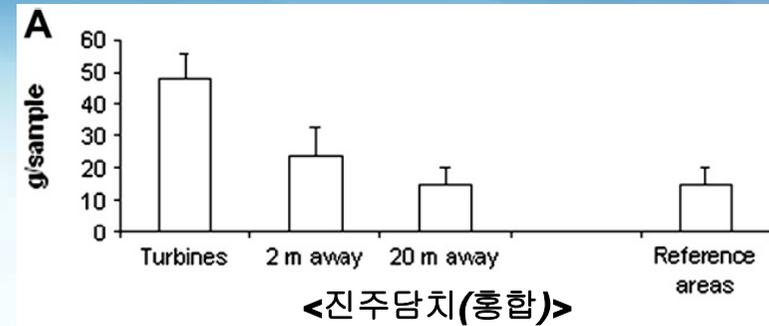
해상풍력의 해양생태계 영향 보고 (EWEA)

- 어류 전체 개체수는 증가
- 터빈 주변 : 어류 개체수는 증가
지점별로 종구성 다양성 변화
- 다수 풍력단지에서 이 결과를 보고하고 있음
(*Nysted, Thanet* 등)

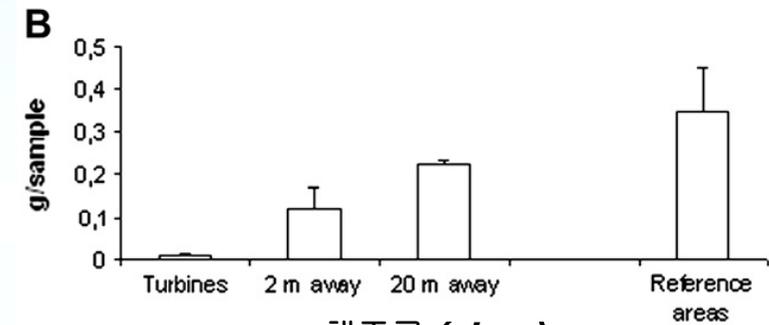
* 스웨덴 *Uttgrunden, Yttre Stengrund*의 조사 결과(*Dan Wilhelmsson, 2008*)



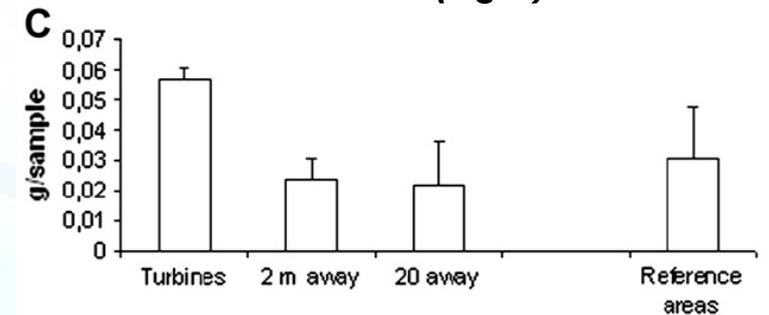
<해상풍력 기초 주변의 종다양성>



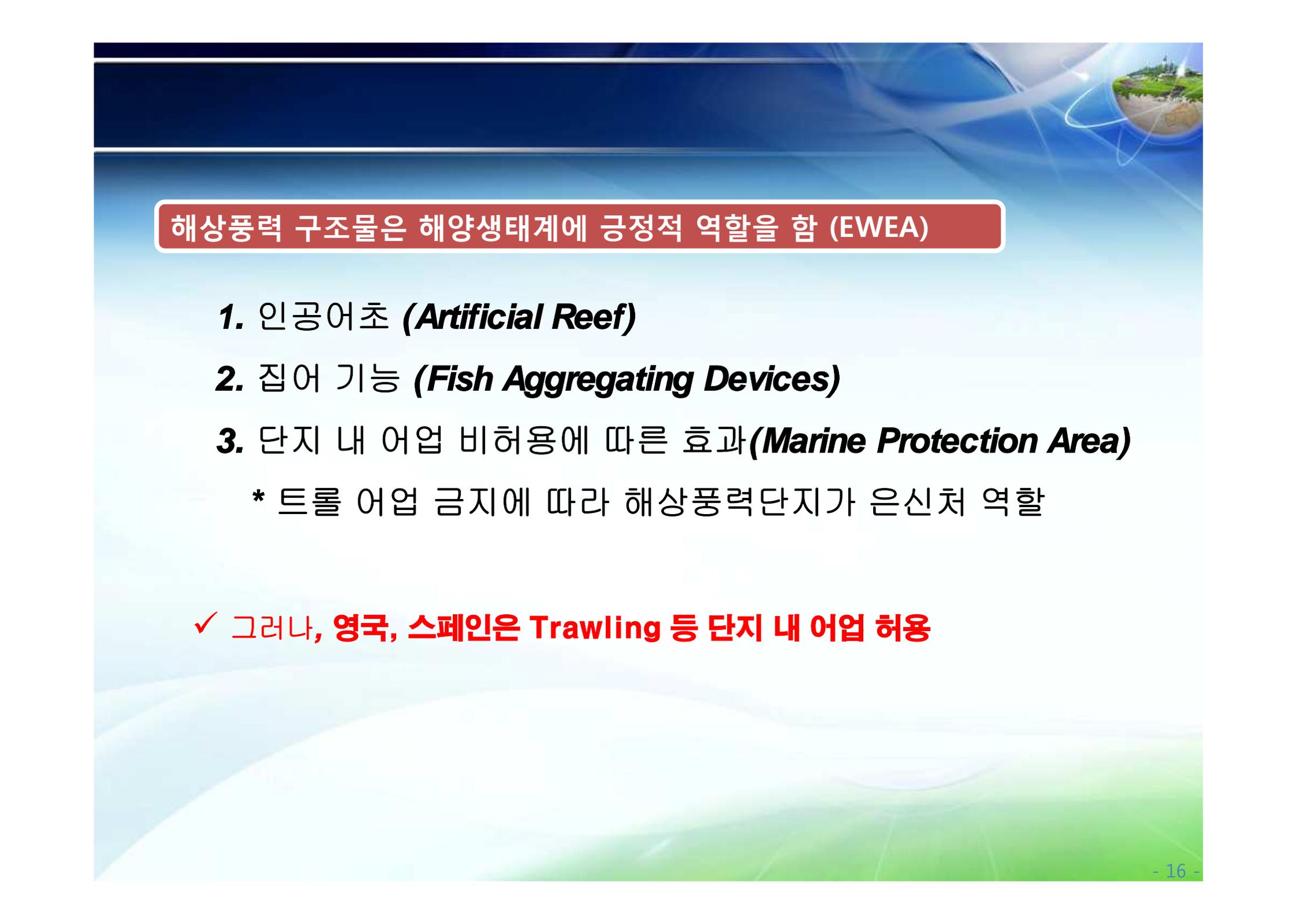
<진주담치(홍합)>



<해조류 (algae)>



<운동성 갑각류>



해상풍력 구조물은 해양생태계에 긍정적 역할을 함 (EWEA)

1. 인공어초 (**Artificial Reef**)
2. 집어 기능 (**Fish Aggregating Devices**)
3. 단지 내 어업 비허용에 따른 효과 (**Marine Protection Area**)

* 트롤 어업 금지에 따라 해상풍력단지가 은신처 역할

✓ 그러나, 영국, 스페인은 Trawling 등 단지 내 어업 허용

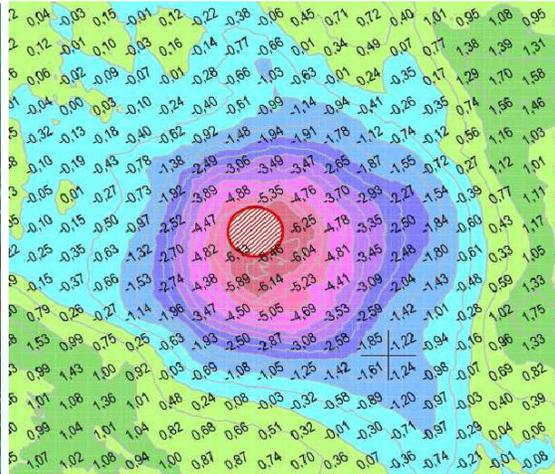
해상풍력 구조물의 어초 역할(C-Power, 벨기에)

- 해상풍력 기초 구조물 : 진주담치(홍합) 증가
- 세굴방지공 (사석구조물) : 유럽 랍스터 양식 가능

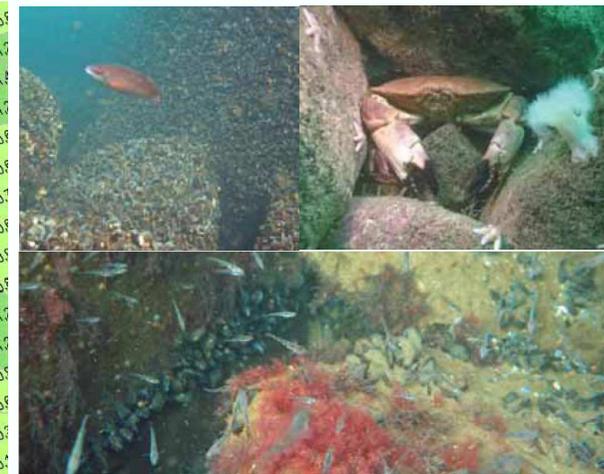
➔ 서식처, 은신처, 먹이 제공 (해양부착물을 제거하지 않고 양성화)



C- Power 중력식 콘크리트 기초 (D5), 벨기에 (진주담치, 말미잘, 성게, 불가사리, 따개비 등)



해상풍력 기초 주변 세굴 발생 예 (노모파일, 세굴방지공 미설치 시)



세굴방지공의 인공어초 기능 예 (덴마크 **Nysted** 해상풍력)

서남해 해상기상탑(해모수 1)의 생태계

- 인공어초 역할
- 수심별로 서식 생물 다양

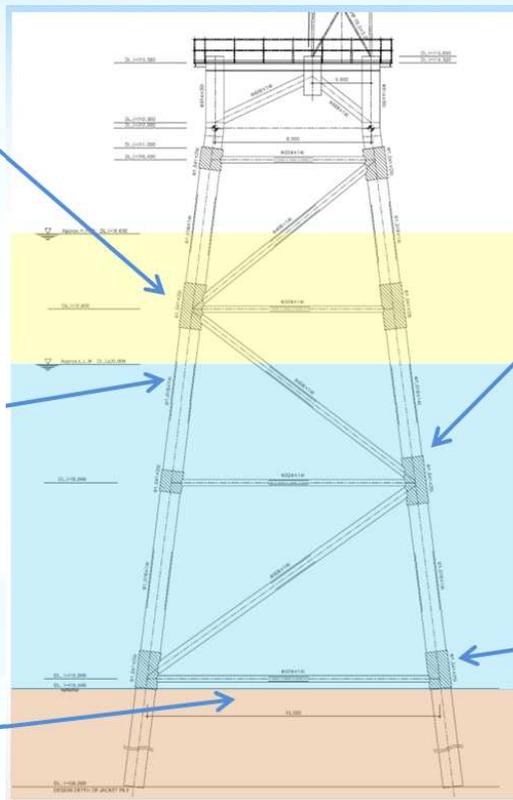
조간대



상층부



저면부
국부세굴



* 덴마크 *Homs rev* 터빈 기초 상층부



중층부

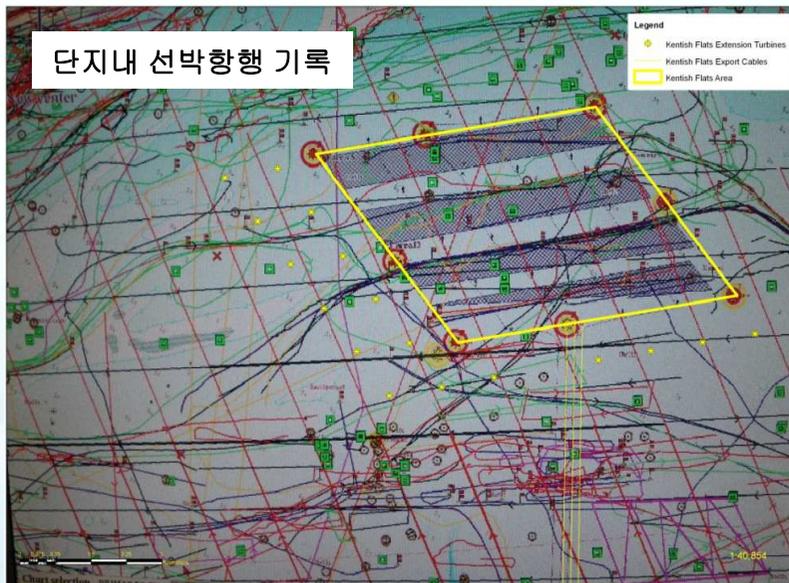


저층부



해상풍력단지 내 어업 허용 (Kentish Flat, 영국)

- 터빈 설치 지점으로부터 주변 반경 **50m** 이내는 접근금지
- 구조물이 어초 역할을 하여 어류 개체수 증가, 고수익 어종 증가
- 내부망 케이블 지역의 경우 조개류 **dredging** 불허
- 단지 내 어업 방식의 적합성에 대해서는 어민과 지속적으로 논의 개선 중



Trawling Tow Tracks within the Operational Kentish Flats Wind Farm
(Source: Brown & May Marine Ltd.).

해상풍력단지의 어업영향 저감 대책(COWRIE, 2010)

상업적 어업활동에의 영향 최소화	목표 종과 서식처 증식
<ol style="list-style-type: none"> 1. 해양보전지역(MCZs)과 해상풍력단지의 결합 2. OWF 개발 지역 내에서 최소 영향 지역 선택 3. 특정 어류 서식지 회피 설계 4. 어업촉진을 위한 터빈기초 및 세굴방지공 설계 5. 영향 최소화를 위한 케이블 경로 계획 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 부화 종자를 활용한 수산 증식 2. 야생 종자로부터 수산 증식 3. 굴 생산을 위한 cultch 포설 4. 알을 품은 번식 어류의 포획, 방생 5. 어업 혹은 해양양식 관심 종에 대한 연구
기존 어업활동 지원	신규 어업 및 기타 활동 창출
<ol style="list-style-type: none"> 1. 신규 어구 및 장비 2. 어업 및 선박 인증 3. 지역 어업 증진 : 생산, 판매 지원 4. 어업권(Several and Regulating Orders) 개발 5. Quota 분양제 개발 6. 연료구매지원제도 도입 7. 지역 바이오디젤 생산시설 도입 8. 선박 신규 엔진 : 노령, 저효율 엔진 대체 9. 정비 및 연간 수리비 지원 10. 선박 및 개인 안전 장비 제공 11. 풍력단지 내 어업 선박에 대한 보험 12. 항구 및 해변 접안시설 개선 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 신규 어업 기회 및 생산품질 극대화를 위한 교육 2. 보전지역 어업 인허가/관리계획 지원 (EMSs, SPAs, SACs) 3. 주낙어업(Long-line) 및 가래그물(Lantern-net) 양식 개발 4. 관광, 레저 등 기타 이익활동 창출

* COWRIE : Collaborative Offshore Wind Research Into the Environment Ltd

* Cultch : 굴을 양식하기 위해 물 밑에 까는 돌

* EMS(European Marine Site), SPA(Special Protection Area), SAC(Special Area of Conservation)

해상풍력 개발에 따른 관광업 영향

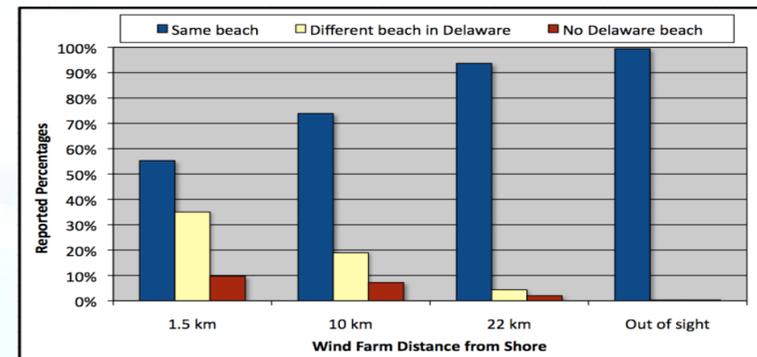
- 해상풍력 의한 관광 효과 창출 : Workshop/Conference, Boat Tour
- 관광에 미치는 영향은 국가/지역마다 조건 상이

지역	특성	연관성
덴마크	풍력에 익숙, 도시화 지역	비충돌 (Positive)
스코틀랜드/지중해	야생, 자연에 대한 관광	충돌
미국 대서양 연안	레저 목적, 해변경관 중요	충돌
한국 서남해	?	?

관광 상품화



해안 이격거리 확보



해상풍력의 이격거리에 따른 해변 이용 의향 설문 (미국)

3. 친환경 개발

해양공간 이용 충돌

As Is

- 어업(Fisheries)
- 항로(Ships), 통신케이블
- 레저(Recreation) / 관광
- 군사시설(사격장 등)
- 환경보호구역(국립공원 등)



해상풍력 개발

전력량 ↑, CO2 emission ↓
어업량? 레저, 관광?

To Be

- 공존 (Multi-purposes)
- 친환경 개발 (Positive impacts)
- ➔ 해양 단위면적당 총 편익 증가
국가적 이익

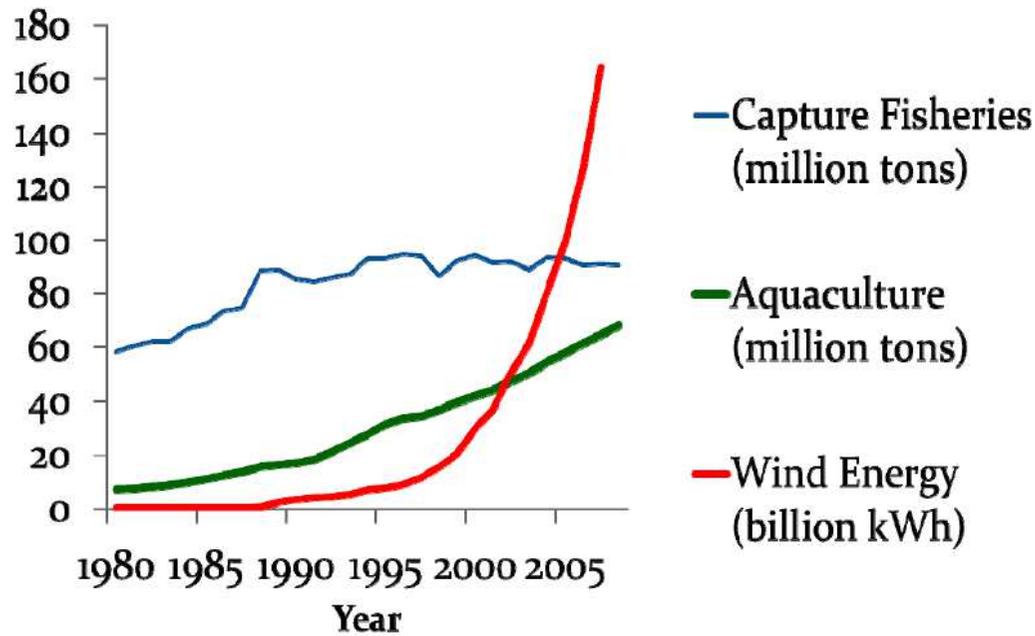
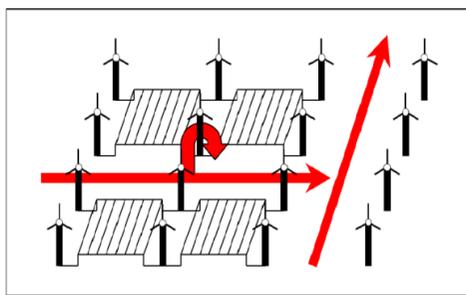
사회적 수용성 증대

- 피해 ↔ 보상 : 단순 구도 극복
- 협력(Cooperation with stakeholders)
 - 어민과 협력, 공동 개발, 편익 공유
- 불가피한 영향은 저감(mitigation)



서남해 기상탑(해모수) 기초의 생태계

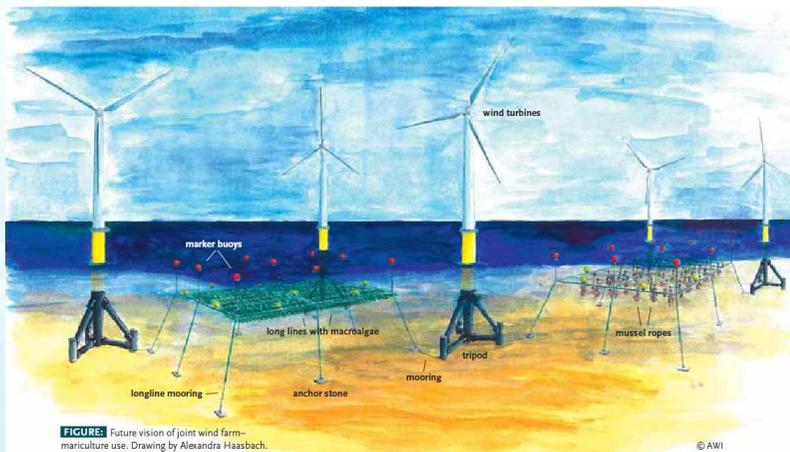
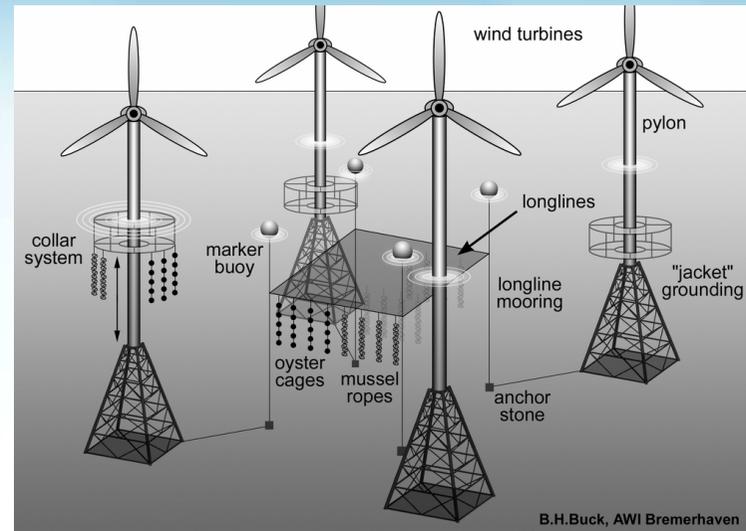
해상풍력과 해양목장 동시 개발의 경제성



	Nordergrunde (90MW)	288MW
Net Present Value (m€)		
Wind Farm	119.8	426.0
Mussel Farm	8.7	44.2
Internal Rate of Return		
Wind Farm	25.6%	29.0%
Mussel Farm	16.9%	16.9%
Potential Shared Costs		
<i>Wind Farm</i>		
O&M (Vessel and Fuel)	1.5%	2.4%
<i>Mussel Farm</i>		
Anchoring	-	-
Vessel	11.7%	11.0%
Fuel	4.8%	4.9%
Total	16.5%	15.9%
50/50 Contract NPV (m€)		
Wind Farm	121.2	433
Mussel Farm	11.1	55.3
Total NPV Gain (Wind, Aqua)	(1.2%, 27.6%)	(1.6%, 25.1%)

<The Economics of an Integrated Offshore Wind Energy and Aquaculture Facility, Robert Griffin>

해상풍력단지 내 양식장 조성 (AWI, 독일)

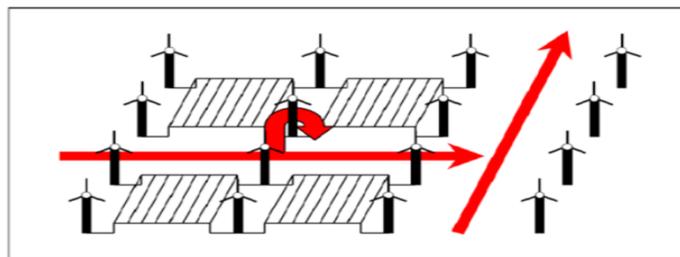
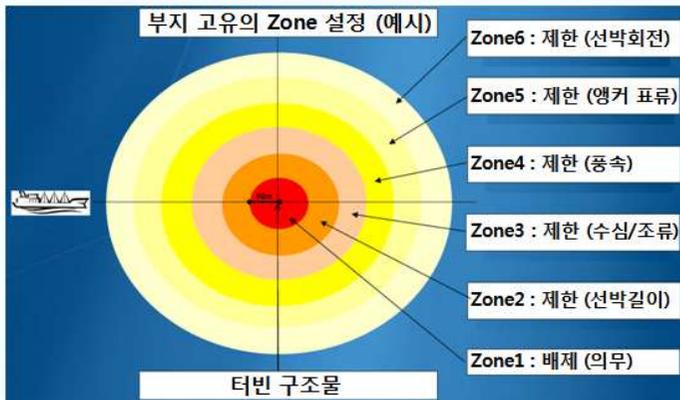


***해상풍력과 해양양식의 결합**
Integrating marine aquaculture (mariculture) in offshore wind farms

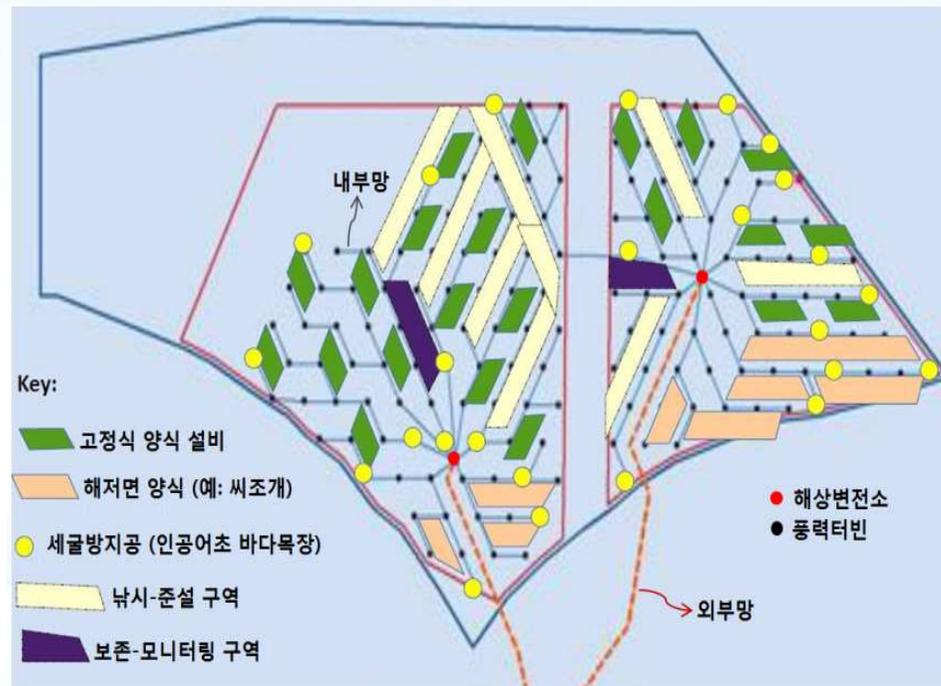
AWI(Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research)

해상풍력과 수산업 공존 프로젝트 (RWE, 영국)

- 해상풍력 단지 내 어업 허용
- 해상풍력 단지 내 양식시스템 개발
- 어업설비에 의한 풍력단지 위험도 평가 및 운영지침 개발



<위험도 평가 및 Zoning>



<해상풍력-해양자원 Co-location 개념(Gwynt-y-Mor, 영국)>

해상풍력-수산업 공존 모델(KIOST)

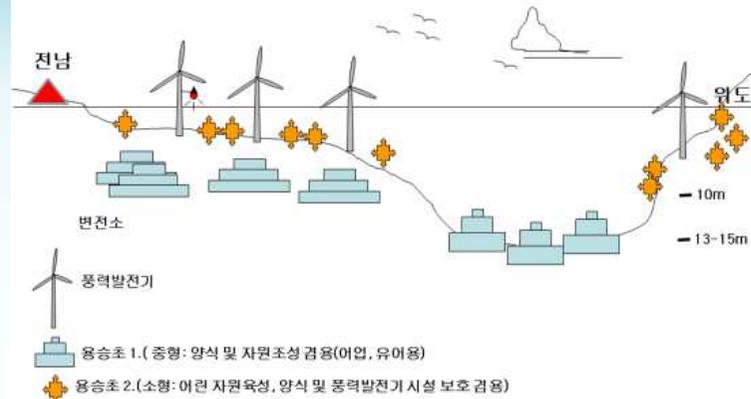
풍력발전과 양식, 자원조성 복합단지 모델

풍력발전단지 복합 양식장 평면도(안)

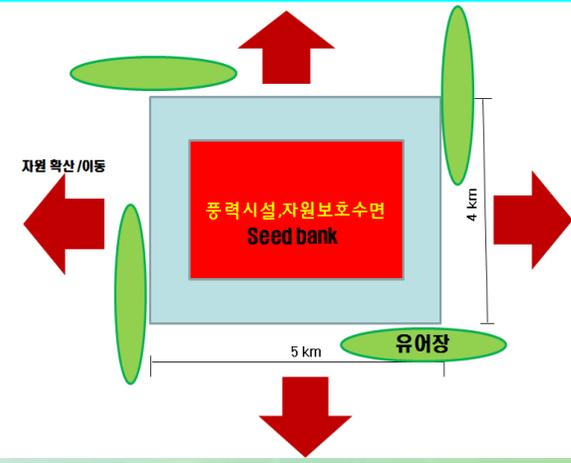
- 1) 풍력발전단지에 수하식 양식장 시설을 두어 발전 시설물을 보호하고
 - 2) 바닥에는 해상양식, 어류자원 조성 복합단지 조성
- * 풍력단지 시설보호 및 복합기능 자원양식장



풍력발전단지 와 복합양식장 조성 개념도



풍력발전/양식/해양목장 복합 단지 자원 흐름과 활용방안

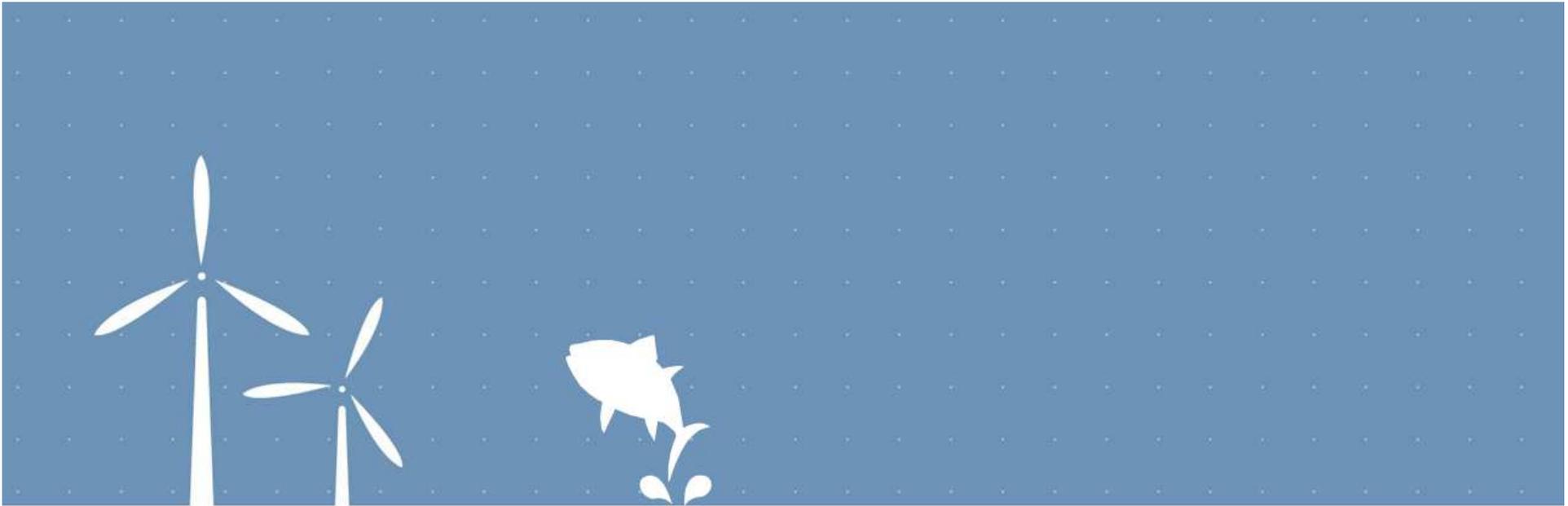


결론 및 시사점

- ❖ 해상풍력의 친환경 개발 방안 논의 필요 (정부, 사업자, 주민)
 - 해상풍력의 해양생태계에 대한 긍정적 영향도 보고됨
 - * 불가피한 부정적 영향은 저감방안 마련 및 보상 시행
 - 해상풍력과 지역 어업 공존 방안 논의 필요
(관광 소득 증대, 단지 내 어업 등)
- ❖ 지역 어민과 협력, 편익 공유 등 대안 마련 필요



해상풍력과 수산업 공존 모델



공존모델 필요성 및 개념

해상풍력의 주민수용성 현황

▶ 해상풍력 사업자와 지역주민 간 갈등 발생 원인

- 서남해 해상풍력 실증단지 사례 (한국해상풍력)

해상풍력 사업자

- 에너지 개발 및 시설보호 우선

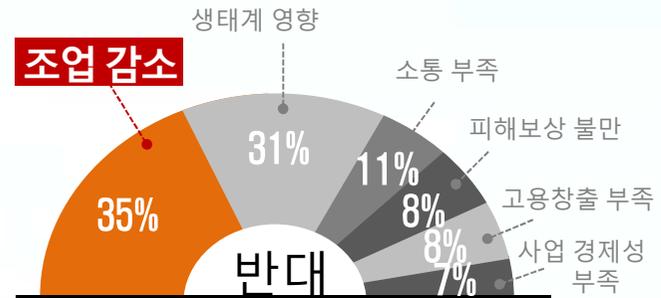
통항 제한



이해 상충

지역 주민

- 어업활동 지장으로 사업 반대



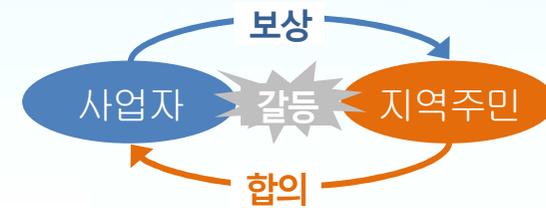
- 【출처】 · 고창·부안 지역주민 소통 간담회 ('15.8)
 · 전원개발실시계획 주민의견 ('15.12)
 · 부안군 의회 결의문('16.2)

해상풍력의 주민수용성 현황

▶ 민원발생 및 인허가 지연으로 이를 해결하기 위한 방안 필요

문제점

- ① 지역사회와의 갈등 → 대화 불가
 - ☞ 조업구역 축소에 따른 생계 곤란으로 해상풍력 반대
- ② 친환경 대책 부족 → 인허가 지연
 - ☞ 공유수면 점사용 인허가(×), 행정심판(×), 해역이용협의(×)
- ③ 사업개발 난항 → 경제성 악화
 - ☞ 사업 지연에 따른 개발비용 증가, 통행 제한에 따른 점사용료 부담



원인 및 대책

- ① 사업초기 주민의견 수렴 미비 → 주민참여 개발
- ② 시설안전, O&M 만 고려 단지 설계 → 친환경어업 설계
- ③ 풍력사업 경험부족에 따른 시행착오 → 해외사례 분석



해상풍력과 수산업 협력 외국 사례

관심사

	공간 갈등과 접근성	위험과 책임		경제적 기회 감소	생태 자원 영향
		인적 안전	자산 손실		
소통	. 합의: MOU, 공존 계획 등	. 케이블 통신 및 인지 시스템 . 항해도 갱신 . 안전 통신시스템	. 항해도 갱신 . 안전 통신시스템 . 합의(입지선정/책임) . 환경 모니터링 계획 . 운영 검사 및 유지보수 계획	. 수산업 역량 강화 (능력배양)	. 환경 모니터링 계획
	. 항구 운영 관계자 그룹 . 정부-산업계, 산업계간 그룹 . 어업 연락관 . 어업 대표	. 정부-산업계, 산업계간 그룹 . 어업 연락관 . 어업 대표	. 정부-산업계, 산업계간 그룹 . 어업 연락관 . 어업 대표	. 항구 운영 관계자 그룹 . 정부-산업계, 산업계간 그룹 . 어업 연락관 . 어업 대표	. 정부-산업계, 산업계간 그룹 . 어업 연락관 . 어업 대표
해양 계획	. 해상풍력 호환성 평가 (예: 어업 중요 지대)				. 해상풍력 호환성 평가 (예: 수산업 중요 지역)
설비 설계, 건설, 운영	. 풍력 및 케이블 시설 입지, 경로 및 설계 최적화 . 선박 이동 고려 . 터빈 micro-siting . 건설 스케줄 조정 . 어업활동 접근 최대화 . 항구/연안 지역 개선 . 최소 영향 케이블 루트 선정	. 터빈 표식 . 선박 이동 고려	. 터빈 표식 . 선박 이동 고려 . 케이블 매설 . 케이블 유지보수 . 과도한 저인망 조사 지양 . 최소 영향 케이블 루트 선정	. 항구/연안 지역 개선 . 과도한 저인망 조사 지양	. 거품 커튼 . 소음 유발 활동의 스케줄링
수산자원 증대					. 서식처 개선 (아직 사례 없음)
수산자원 관리				. 수산 자원 관리 수단들	
사업 개선 (어업활동 지원)		. 어민 개개인 안전 . 보험 보조	. 보험 보조 . 어선 개량(예: 엔진, 유지보수 등) . 어구 개발 혹은 개조 지원 . 분실/손상 어구 기금	. 어업 공동체 기금 . 어민 대상 연료비 보조 . 지역 수산업 촉진 . 분실/손상 어구 기금 . 신규 어업 기회를 위한 훈련 . 벤처 사업: 연료 인프라/판매 . 어민/선박 고용 . 보험 보조 . 관광, 여가 등 다른 역할 . 지역 바이오디젤 생산설비 . 어선 개량(예: 엔진, 유지보수 등) . 어구 개발 혹은 개조 지원	
협력 연구				. 공동으로 데이터 수집, 영향평가 연구	. 공동으로 데이터 수집, 영향평가 연구
보상적 저감				. 보상 합의 (개인/집단)	

해상풍력과 수산업은 공존 가능

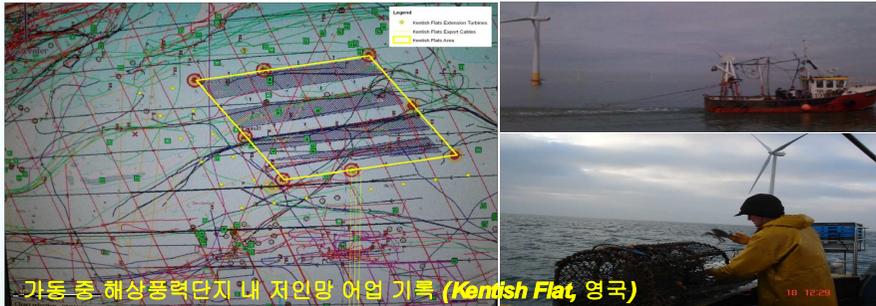
▶ 지지구조물은 어초 역할로 수산자원 조성에 기여



해외사례

- ▶ 해상풍력 기초 구조물 : 진주담치(홍합) 증가
- ▶ 세굴방지공 (사석구조물) : 랍스터 양식 가능
- 서식처, 은신처, 먹이 제공

▶ 해상풍력단지 내 선박통항 및 어업이 가능함

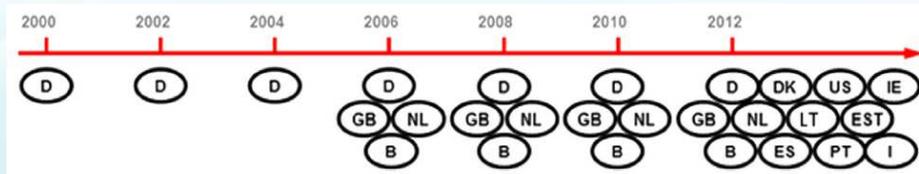


가동 중 해상풍력단지 내 저인망 어업 기록 (Kentish Flat, 영국)

해외사례

- ▶ 어업권 보장 (영국, 스페인 등)
- ▶ 단지 내 어업 방식 지속적 개선 중

▶ 해상풍력단지를 활용한 양식 기술 개발 국가 지속적 증가



▶ 2012년 기준 12개국

(독일, 덴마크, 미국, 아일랜드, 영국, 네덜란드, 리투아니아, 에스토니아, 벨기에, 스페인, 포르투갈, 이탈리아)

※출처: L. Wever 등/ Marine Policy 51, 2015

해상풍력과 수산업이 공존하는 방식으로 개발

▶ 미래 지향적 개발로 어업, 레저, 관광이 가능한 해상풍력단지 조성

현 재

- ▶ 해양공간 이용 충돌
 - 어업
 - 항로, 통신케이블
 - 레저, 관광
 - 군사시설 (사격장 등)
 - 환경보호구역 (국립공원 등)
- ▶ 피해→보상 (단순 구도)

<서남해 해상풍력단지 해양이용 현황>



제 안

- ▶ 해상풍력과 어업 공존
 - 공존 (Multi-Purposes)
 - 친환경 개발(Positive Impacts)
 - 해양단위면적당 총 편익 증가
- ▶ 협력, 공동개발, 이익공유

<해상풍력단지 내 양식장 제안 (AWI, 독일)>



해상풍력과 수산업 공존 기본 개념 : 융합을 통한 편익 증대

- 해상풍력-수산업 공존으로 총 편익 및 통합 수익을 증대
- 해상풍력-수산업 공존공간 해양자원량 증대 및 융합산업 창출
- 지역사회와 수익 공유 및 해상풍력 사회수용성 확보

항목		편익(매출)				비용(투자)				수익				B/C Ratio	
		①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④		
기존	해상풍력	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	
	해양자원	상업적어업	0.90	0.18	1.98	6.85	0.70	0.14	1.54	5.33	0.20	0.04	0.44	1.52	1.29
		관광	0.30	0.06	0.66	2.28	0.20	0.04	0.44	1.52	0.10	0.02	0.22	0.76	1.50
		환경 편익	-				-				-				-
		미래 가치	-				-				-				-
	소계	1.20	0.24	2.64	9.13	0.90	0.18	1.98	6.85	0.30	0.06	0.66	2.28	1.33	
합계	1.20	0.24	2.64	9.13	0.90	0.18	1.98	6.85	0.30	0.06	0.66	2.28	1.33		
신규	전력	26.28	5.26	57.91	200.00	25.00	5.00	55.09	190.26	1.28	0.26	2.82	9.74	1.05	
	해양자원	상업적어업	0.80	0.16	1.76	6.09	0.60	0.12	1.32	4.57	0.20	0.04	0.44	1.52	1.33
		관광	0.50	0.10	1.10	3.81	0.30	0.06	0.66	2.28	0.20	0.04	0.44	1.52	1.67
		해양양식	1.00	0.20	2.20	7.61	0.70	0.14	1.54	5.33	0.30	0.06	0.66	2.28	1.43
		자원조성	0.20	0.04	0.44	1.52	0.10	0.02	0.22	0.76	0.10	0.02	0.22	0.76	2.00
	소계	2.50	0.50	5.51	19.03	1.70	0.34	3.75	12.94	0.80	0.16	1.76	6.09	1.47	
합계	28.78	5.76	63.42	219.03	26.70	5.34	58.84	203.20	2.08	0.42	4.58	15.83	1.08		

① 1 km²당(5MW 풍력터빈 점유 면적) 연간 균등 비용, 편익 (단위: 억원/km²/yr)

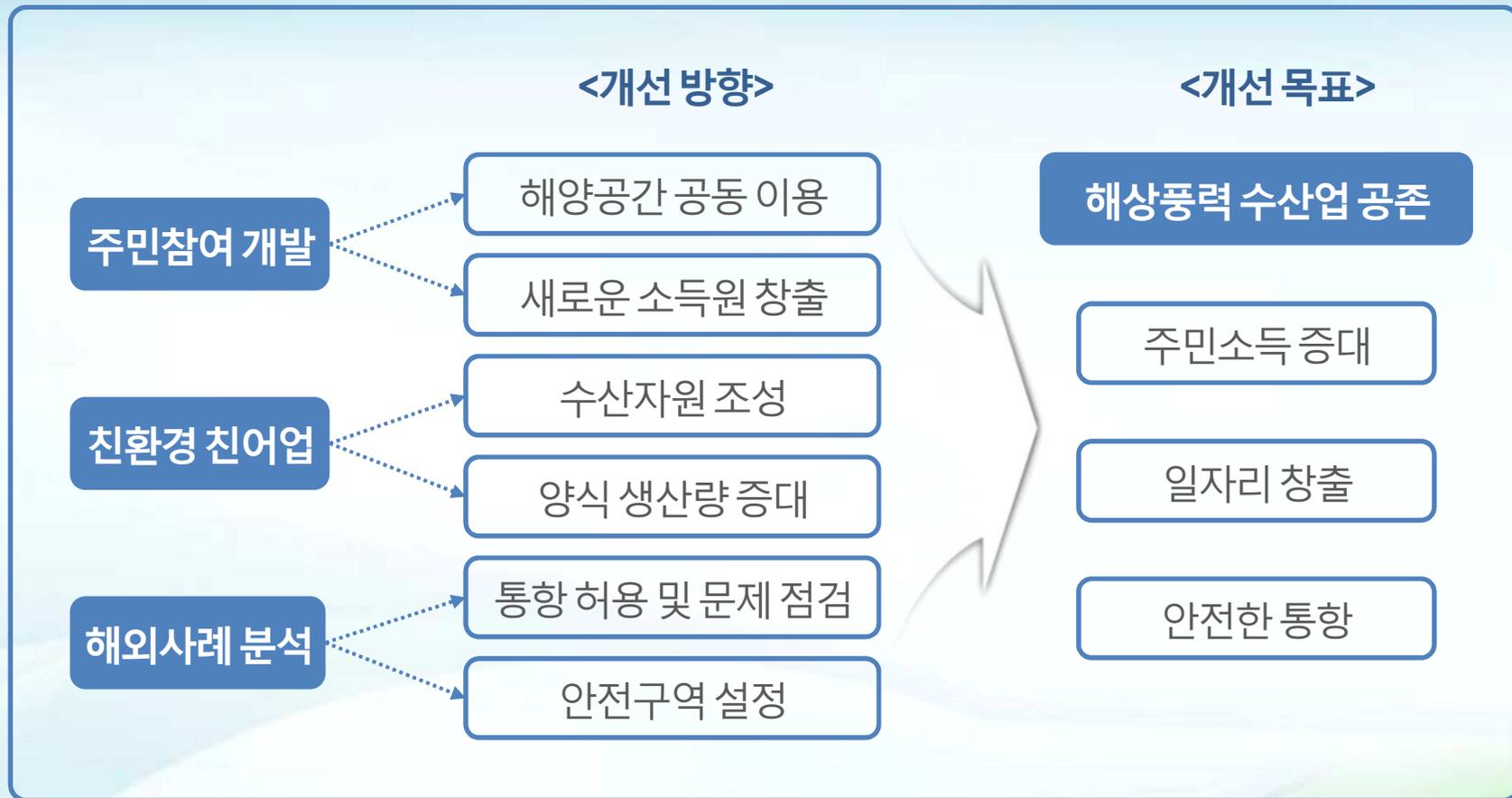
② 1 MW당 연간 균등 비용, 편익 (단위: 억원/MW/yr)

③ 초기투자비로 환산시 비용, 편익 (단위: 억원/MW)

④ LCOE로 환산시 비용, 편익 (단위: 원/kWh)

수용성 개선방안 도출

▶ 문제해결을 위한 방향과 목표 수립 후, 수산업 공존을 위한 기술개발을 착수함



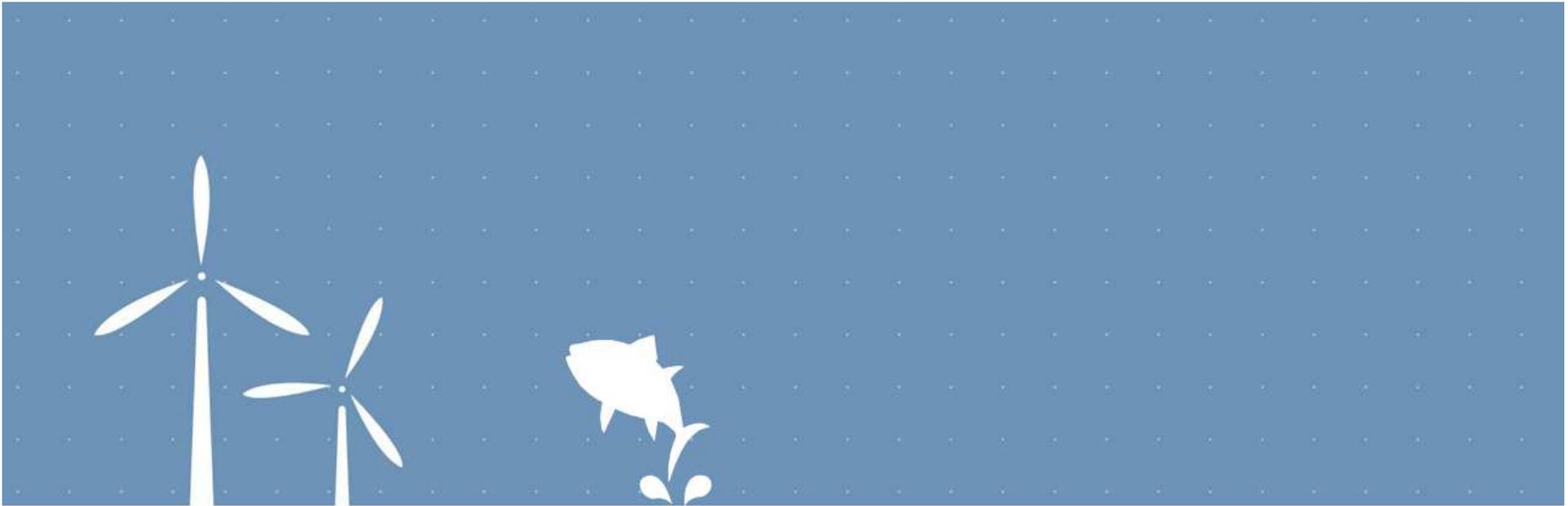
해상풍력단지 내 수산자원조성과 신규어업 창출

- ▶ 모델 1 : 해상풍력 지지구조물, 어초형 세굴방지공, 인공어초 활용 수산자원 조성
- ▶ 모델 2 : 복합양식 - 자원조성 기술 적용으로 신규 어업 창출
- ▶ 모델 3 : 해상풍력 단지를 관광자원으로 활용



※ 해상풍력단지 내 공존어업은 해상풍력사업자와 어민이 공존활동 규칙에 합의하고 공존운영시스템을 통하여 해상활동 스케줄 및 활동범위를 규정하는 계획적 어업 방식

부가편익 창출로 해상풍력-수산업 공존 실현



공존 모델 실증시험

공존 기술

기술 개요

- 해상풍력단지를 어업 활동 가능한 공간으로 조성하는 기술 (해상풍력 + 수산업)

구성 요소

- 공간설계 : 환경과 안전을 고려하여 풍력 및 어업 시설 최적화 배치
- 新양식방법 : 원거리, 고에너지 해역에 적용 가능 양식
- 인공어초 : 저수심 · 연약지반 적용성 향상. 풍력 구조물 보호기능 추가(세굴방지)
- 운영시스템 : 해상활동 위험도 및 환경안전 정보 실시간 분석 · 공유



서남해 부지 현황

서남해 해상풍력 실증단지

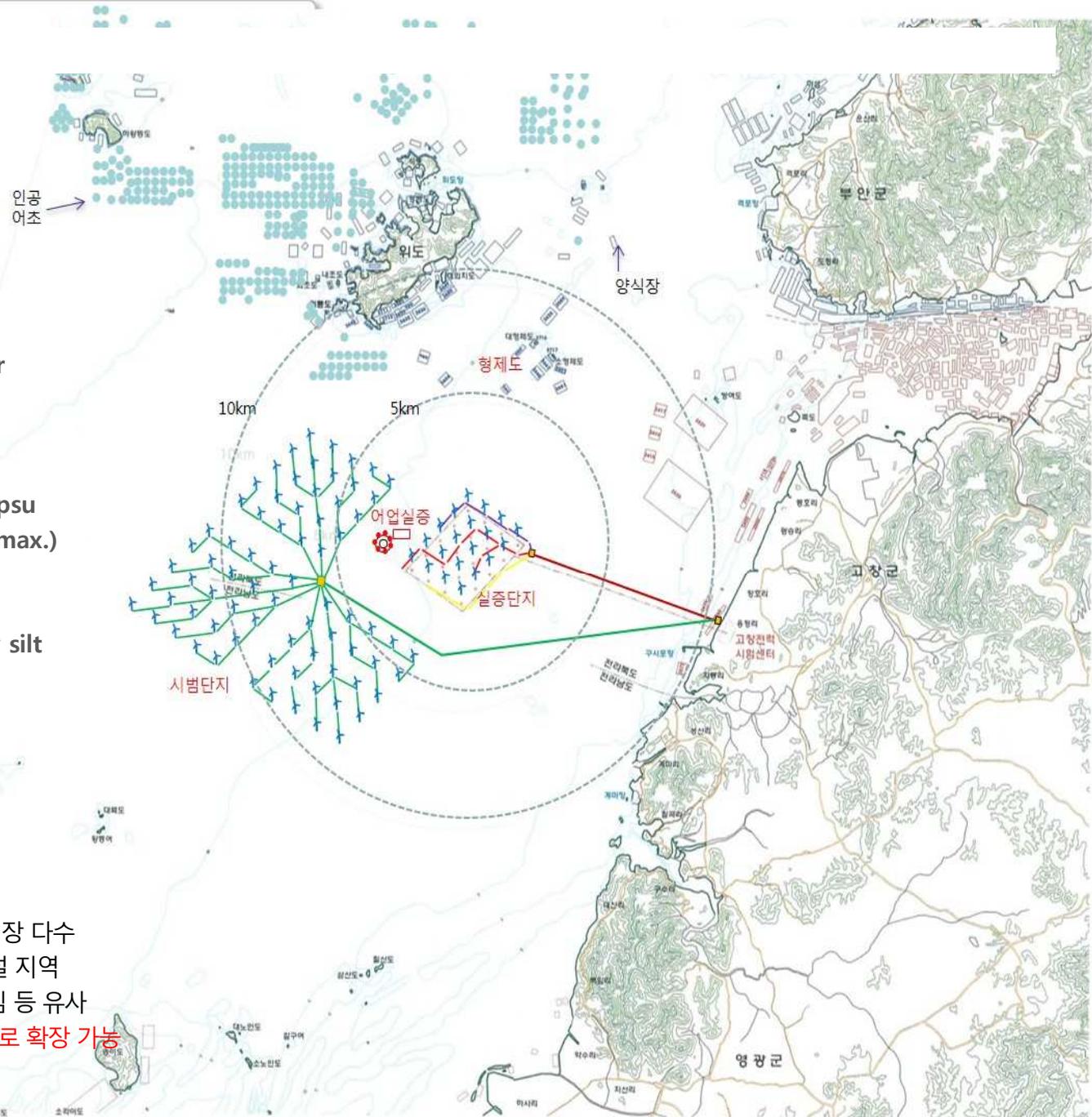
- 용량 : 60MW(20x3MW),
20MW(4x5MW)
- 해안 이격거리 : 10km
- 전체 면적 : 7.5km²
- 터빈간 거리 : 800m
- 연간전력생산량 : 175GWh/year

해양조건

- 수심 : 8 ~ 15 m
- 수온 : 1~30 C°, 염도 : 28~33 psu
- 조차/조류속 : 6 m / 1.2 m/s (max.)
- 풍속 : 6.9 m/s (mean)
- 해수투명도 : < 3 m
- 연약지반 : silty sand or sandy silt

수산업 공존 개념

- 위도와 곰소만, 형제도 주변에 양식장 다수
- 위도, 왕등도 사이 해역은 어초 시설 지역
 - ☞ 형제도 인근은 OWF 지역과 수심 등 유사
 - ☞ 어류 서식처를 해상풍력단지 내로 확장 가능

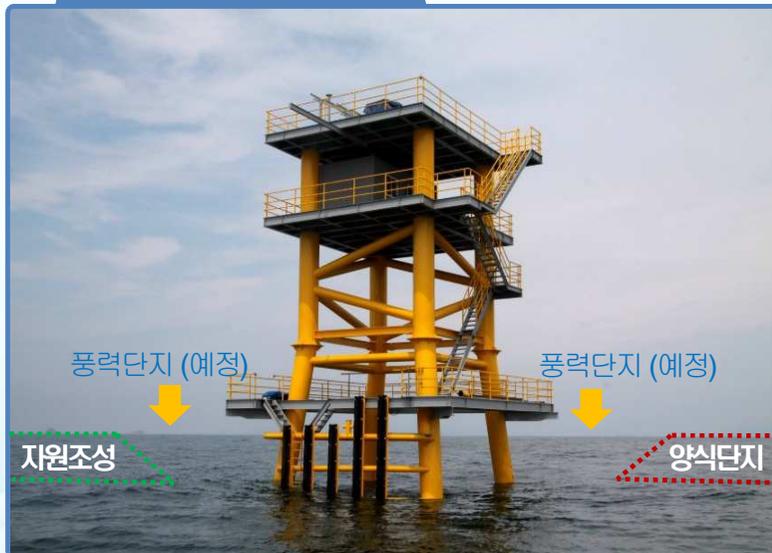


현장 실증 시험

▶ 개선내용의 적용성과 효과를 확인을 위해 현장실증 시험 수행 ('15.6~'17.5)

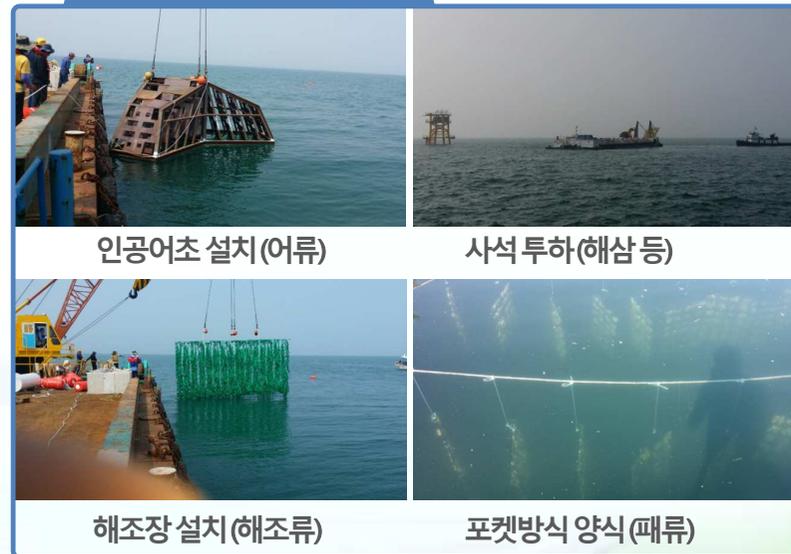
- ① 다목적 해상 플랫폼 설치 → 해상풍력단지 내 수산업 공존을 위한 거점 구축
- ② 현장실증 → 효과검증(수산물 생산성 및 안전성)

① 플랫폼 설치



- 낚시 공간 및 조망 기능
- 환경모니터링시스템 구축
- 해양생물의 은신처, 먹이공급처 등 기능

② 현장실증



인공어초 설치(어류)

사석 투하(해삼 등)

해조장 설치(해조류)

포켓방식 양식(패류)

해상풍력단지용 어업 방식 개발

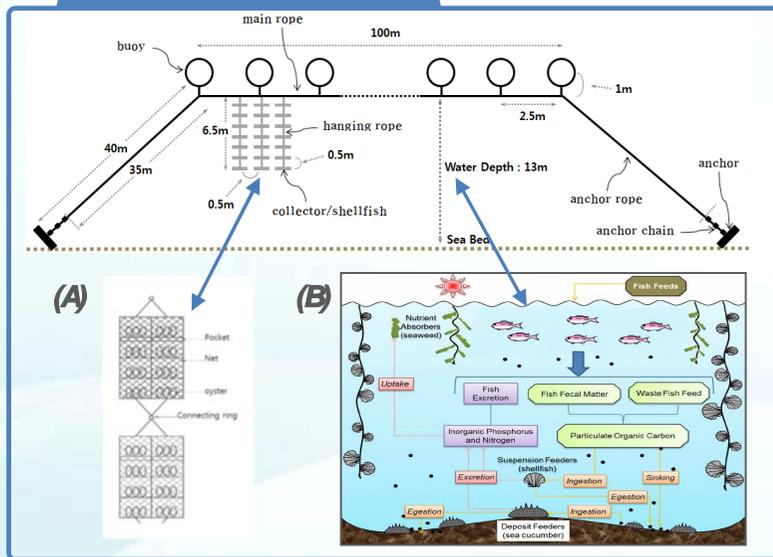
▶ 지역소득과 수산자원을 증가시키기 위하여 양식방법과 인공어초 형상을 개선함

① 양식방법 개선 → 현장 조건에 최적화된 고부가가치 양식기술 발굴

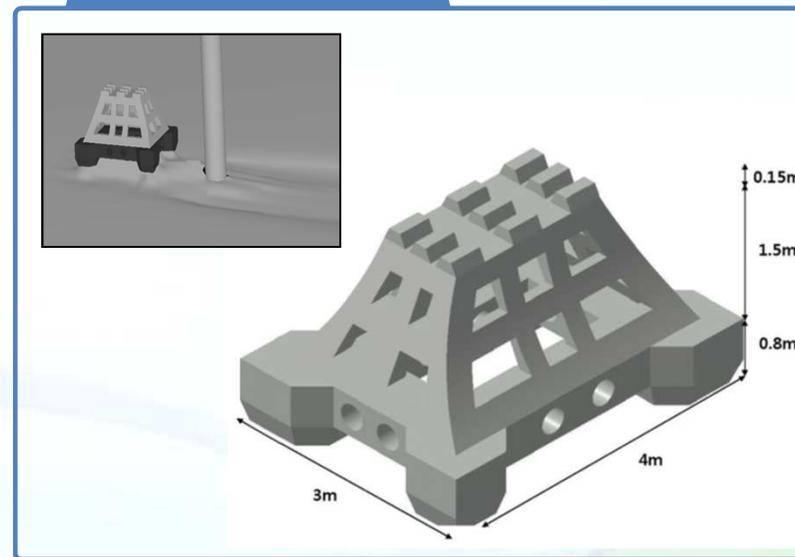
(A) 중간 육성 후 포켓망(채롱)이식 (성장기간 단축) (B) 자연 먹이사슬 활용 동시 양식(관리비용 절감)

② 인공어초 형상 개선 → 세굴 방지, 저수심연약지반 적용성 향상

① 양식방법 개선



② 인공어초 개선



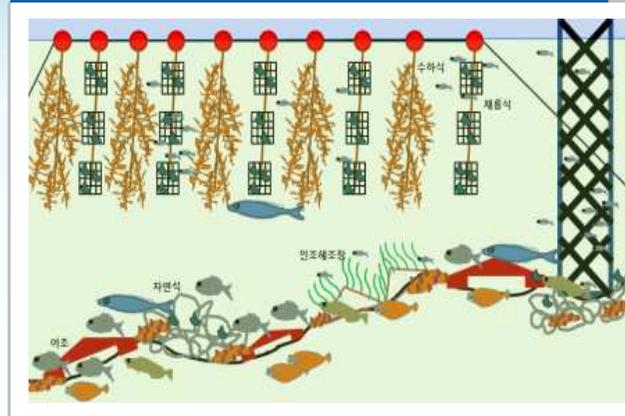
복합양식단지

- 대상 어종 : 패류(굴, 가리비), 해조류(다시마, 미역), 해삼
- 수하식 양식설비 내환경, 구조안전성 실증
 - 해상풍력단지 내 적합성 검증
 - 종별 성장률, 생존율 측정 (상품성, 사업성 검증)
 - 실험대조구로서 통영 연안 실험 병행 양식장

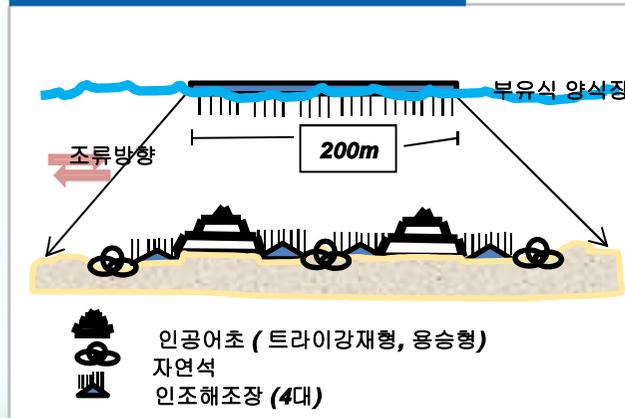
외해양식 경과



복합양식단지내 생물증식개요도



복합양식단지 구성



수산자원조성 설비

- 인공어초 5종 38기, 자연석, 인조해조장 설치
 - 세굴방지 및 수산자원조성효과 동시 충족
 - 신규개발 세굴방지형 어초와 기존 어초 비교 평가
 - 해저질을 고려한 어초 배치 및 설치 방법 다양화



어초 시설 조감도



어초 투하 효과



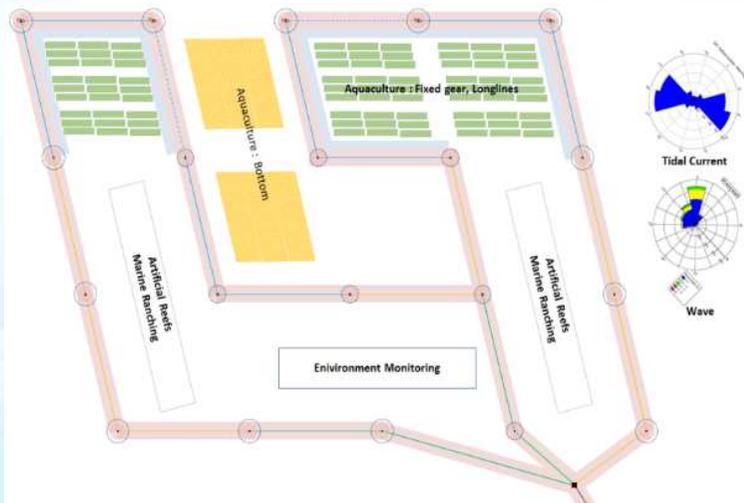
해상풍력단지 안전성 고려 운영기술 개발

▶ 어업과 풍력시설을 고려한 공간설계, 정보 서비스 제공으로 통항 안전성을 개선함

- ① 어업과 풍력시설의 안전과 환경을 고려한 공간 설계 (O&M 구역, 보호구역, 양식구역)
- ② 해상활동 안전관련 정보 서비스 실시간 제공 (해상활동 위험도, 기상해양 정보)

① 단지공간안전설계

해상풍력단지내 공간을 케이블 등 시설물과 선박통항 안전을 고려하여 용도별 배치 설계



② 고객정보서비스

어업, O&M 등 해상 활동에 필요한 날씨, 해양, 위험 정보를 Mobile을 통하여 실시간 제공



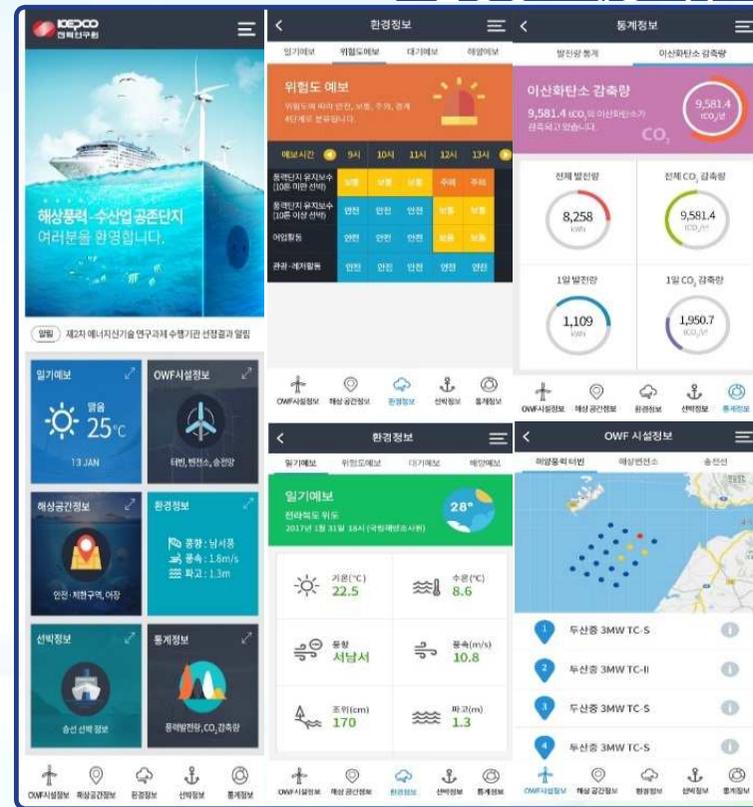
공존운영시스템

- 해상풍력과 수산업의 공존 지원/관리 시스템
 - 해상활동의 안전성 확보
 - 공존 활동의 효율적 운영
 - 기상/해양/환경/수산 Big Data 활용

위험도 예보시스템



환경정보 제공 App



공존 사업 추진경과

서남해 25GW
로드맵 발표
(2010. 11)

한해풍 설립
(2012. 12)

지역 공무원 세미나
수용성 워크숍
주민설명회
(2013. 4-5)

지역주민 현장견학



해상풍력 종합추진계획
(2011. 11, 지경부)

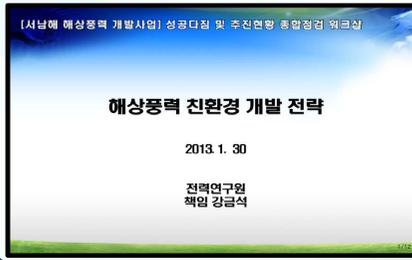
- ▶ 산업융합 개념 제시 (해양과학기술원)
- ☞ 환경친화형 단지 개발
- ☞ 해양목장 조성



성공다짐 워크숍
(2013. 1, 한해풍)

▶ 친환경 개발전략 제안
(전력연구원)

- ☞ 수산업 공존 개발 제안
- ☞ 풍력단지 내 어업 허용
- ☞ 해양양식 실증 필요



공존방안 세미나
(2013. 5, 전력연구원)

▶ 해상풍력단지 수산
자원조성 기술제안
(수산자원관리공단)

- ◆ 해역 공간 점유에 따른 이해당사자의 합리적 계획 방안
 - 불가피한 영향에 대하여 저감 방안 마련 및 보상 시행
- ◆ 해상풍력 구조물은 수산자원조성의 기본시설 요소로 갖추고 있음
 - 해상풍력 구조물의 활용 다각화 제고 노력 필요
- ◆ 해상풍력 단지 풍사시 수산자원조성 기술을 고려한 계획수립 필요
 - 해상풍력단지 조사원계 매뉴얼 작성수립시 자원조성 기술 반영



공존 사업 추진경과

공존포럼 발족
(2014. 9)



정부과제 착수
(2014. 6, 전력연구원)

▶ 해상풍력단지 해수공간을 활용한 산업융합설비 개발 및 실증 연구

- ☞ KEPRI 외 5개 기관
- ☞ 2014.6-2017.5, 98억원
- ☞ 한국해상풍력 투자



해외사례 공동조사
(2015. 5)



* 공존포럼 활동



통영, 울진 바다목장



상생 벤치마킹

정부, 지자체, 주민
설명회(2015. 6-10)

해상풍력-수산업
공존 추진 제안
(2015. 6, 전력연구원)

▶ 실증 및 상업적 개발 계획 제시
☞ 서남해 실증단지 사업설명회



공존사업 추진 합의
(2016. 5)



<고창 · 한해풍 상생개발 협약>

수산업 공존 개발은 세계 최초

▶ 미래 지향적 신재생에너지 개발의 모범적인 사례 제시

✓ 국가 에너지 문제 해결과 수산업의 활성화 달성

상생

✓ 개발자와 지역어민의 협력으로 모범사례 구축

협력

✓ 해상풍력과 수산업의 공동 자원 활용

공존

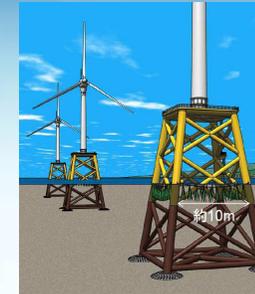
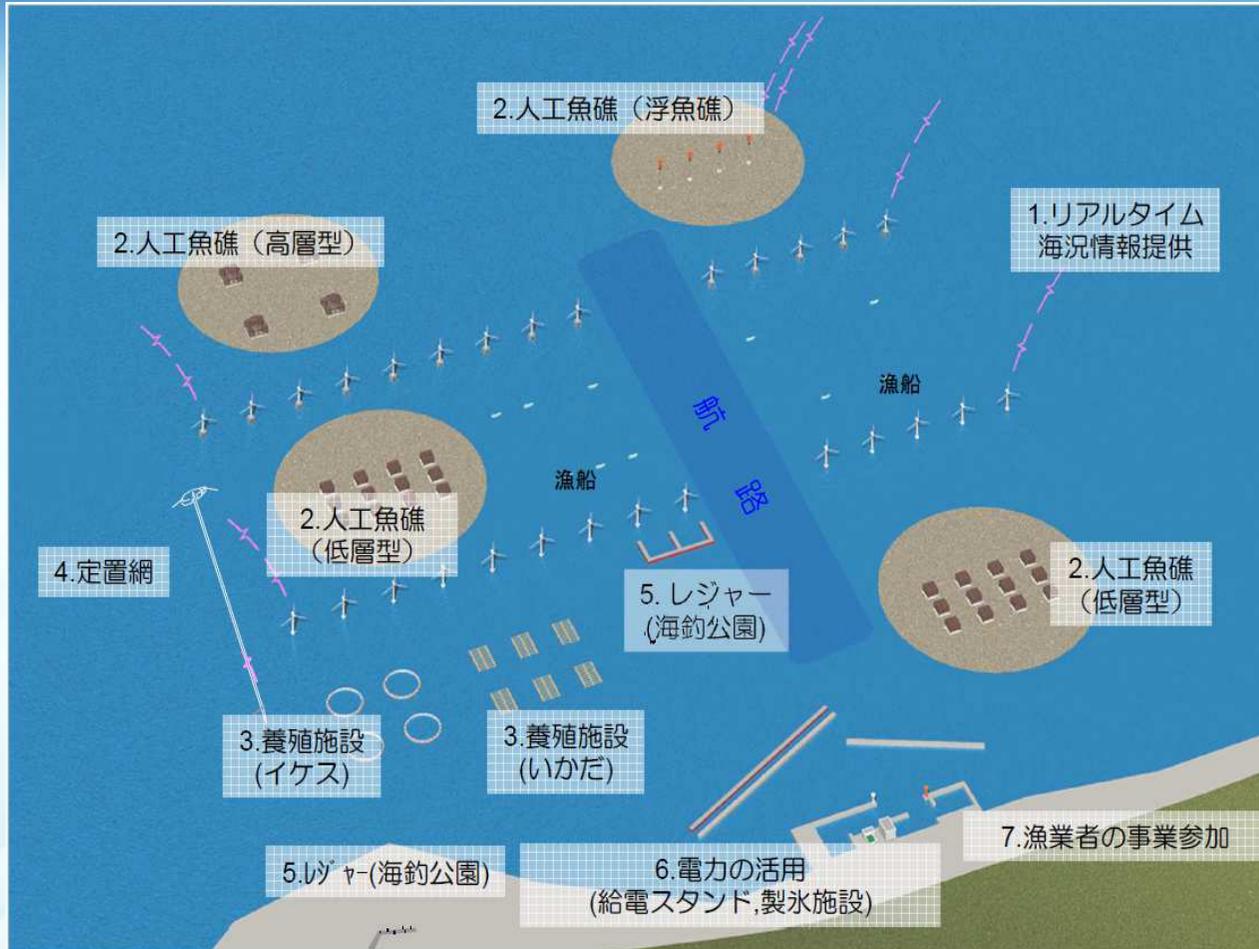
✓ 기존 편익 분할이 아닌 부가가치 창출로 상호 이익 실현

창조

▶ 해상풍력단지를 수산업 증진의 교두보로 활용

▶ 해상풍력단지를 지역 랜드마크로 홍보하여 관광객 유치

해외사례(일본) _해상풍력단지 어업 협조 방안

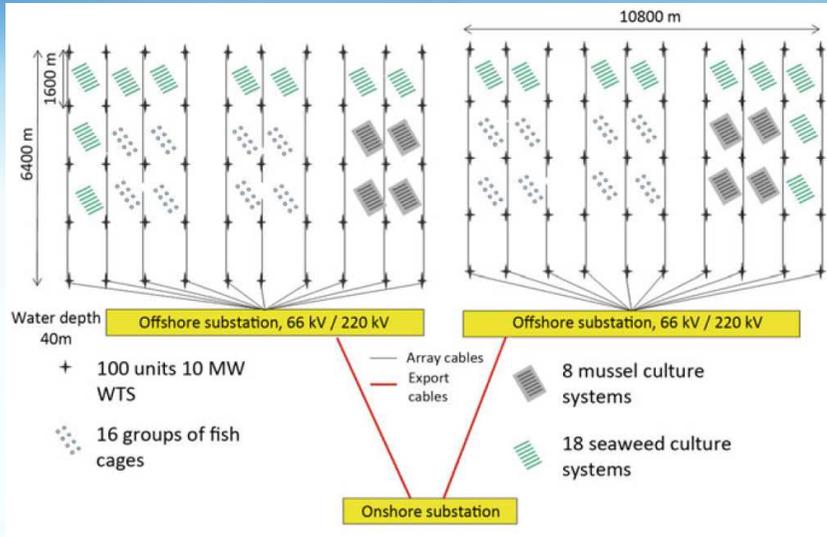


*100MW 이상 해상풍력단지 어업협조방안 (일본 해양산업연구소, 2013)

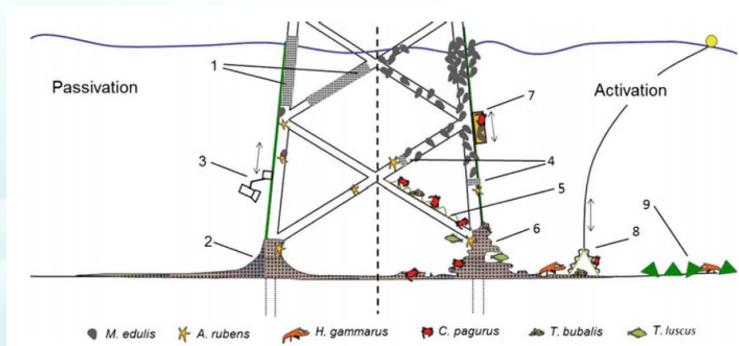
- 1 실시간해황정보의제공
- 2 터빈기초부의인공어초화이용
 - 2-1 자원 보호 육성 목적
 - 2-2 주변에의어업 조업 목적
- 3 어패류, 해조류 양식 시설의 병설
- 4 정치망 등 어구의 병설
- 5 레저 시설의 병설
 - 5-1 바다낚시 공원 유어선 사업
 - 5-2 다이빙 지점
- 6 발전전력의 활용
 - 6-1 육상시설에의 전력공급
 - 6-2 전동어선
- 7 어업자의 사업 참여
 - 7-1 건설 보수점검에 어선 이용
 - 7-2 해상풍력발전사업에의 출자, 참여

▶ 국내와 어업 환경 유사, 어업 협조방안 실증 중

해외사례(유럽)_Co-location



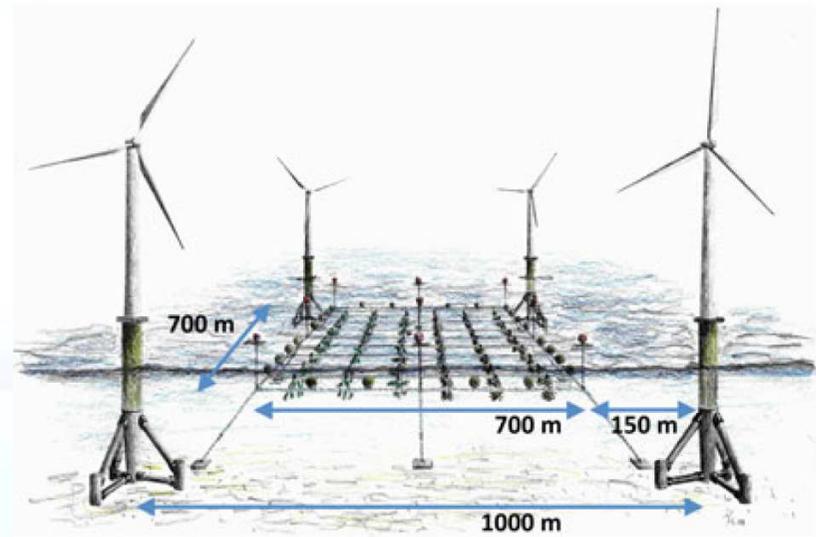
▶ 외해 지역 대상



▶ 지지구조 자원조성 방안



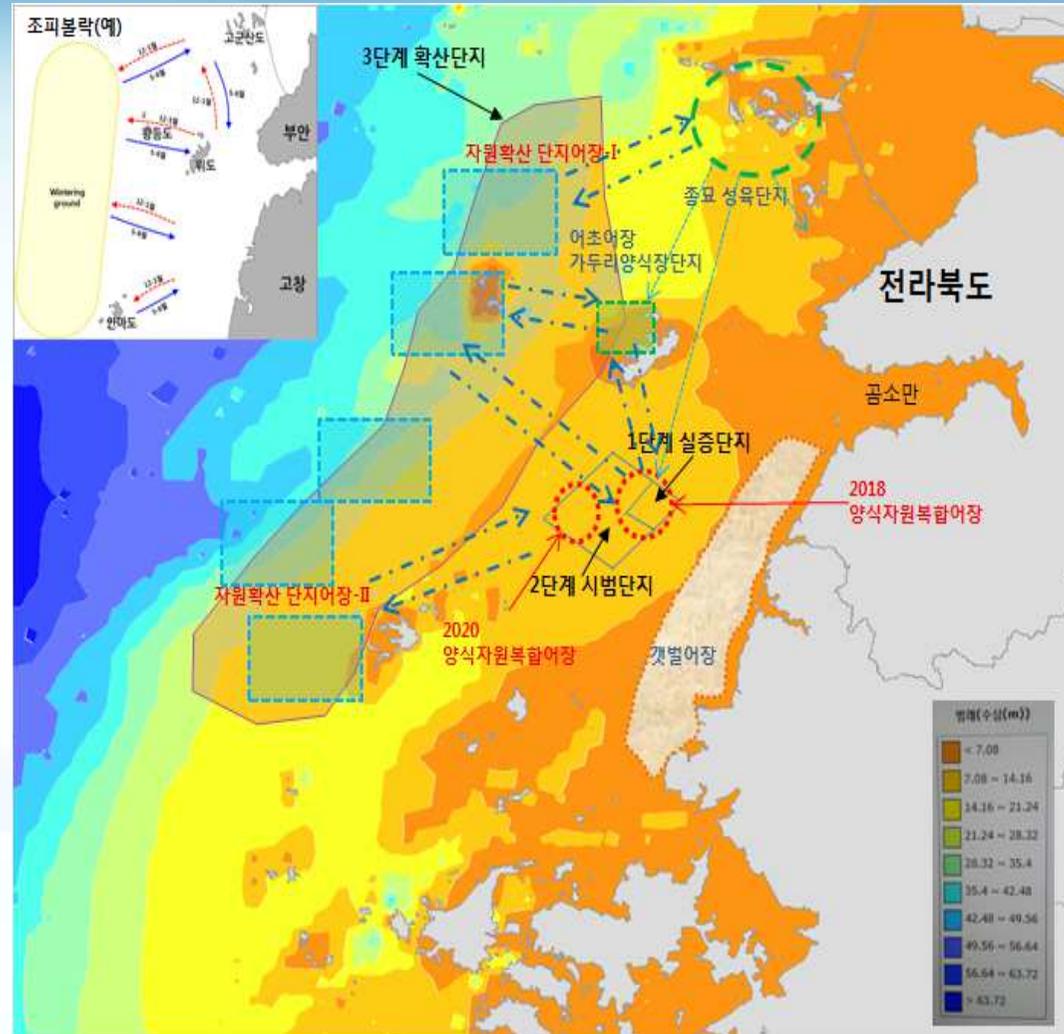
▶ 채롱식 실증 시험



▶ 독일(AWI)의 개념

해상풍력-수산업 광역 자원모델

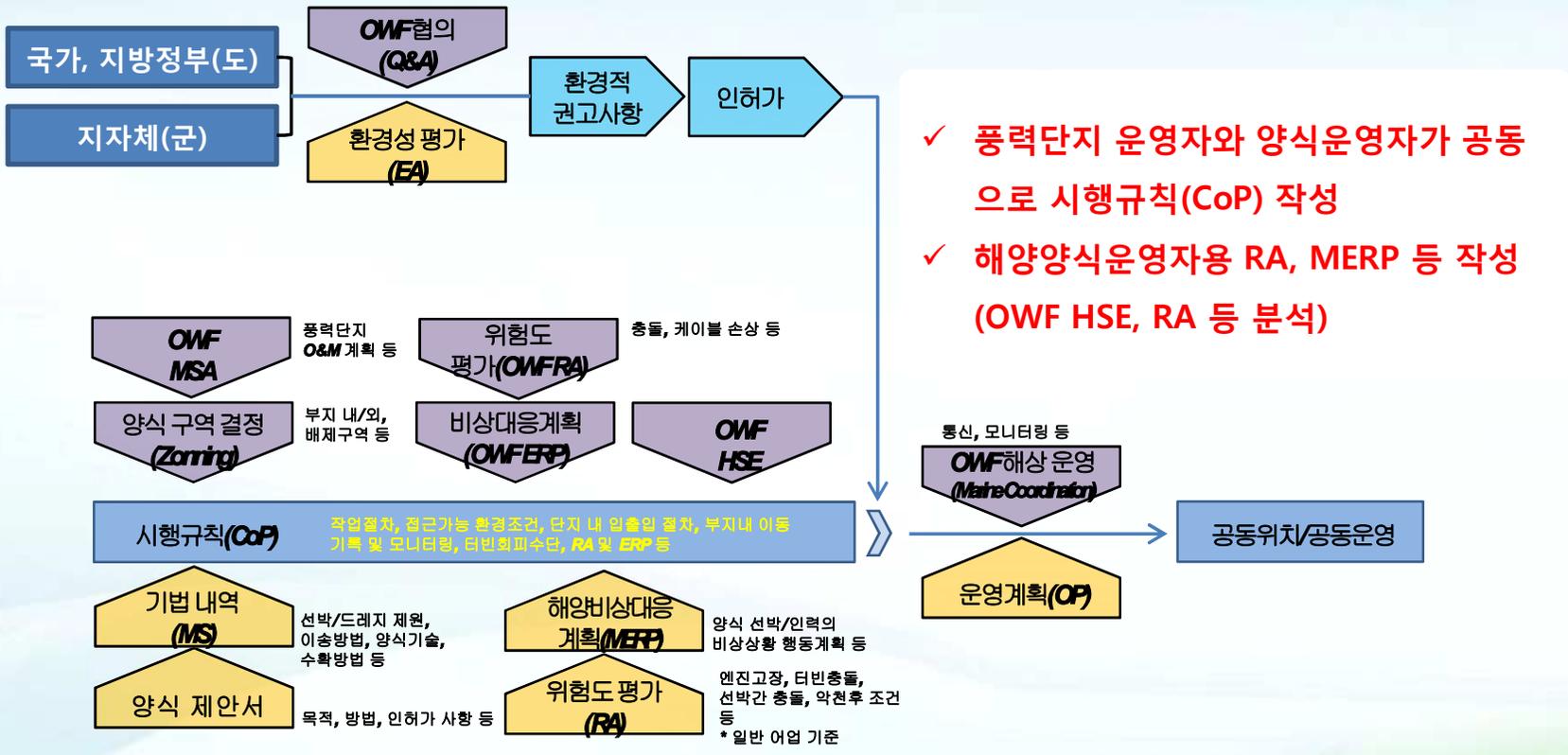
- 실증단지 양식자원복합어장은 수심 15m 전후로 얇고 겨울철 수온이 낮아서 대부분의 수산어종은 월동장으로 이동함
- 따라서 장기적으로는 광역자원조성 모델에 따라 위도 서편해역과 확산단지 해역(수심 30m 전후)에 월동장 또는 성어용 어초어장을 설치하여 계절에 따라 수산자원이 이동하면서 증식하도록 해야 함



해상풍력 수산업 공존 운영 기술

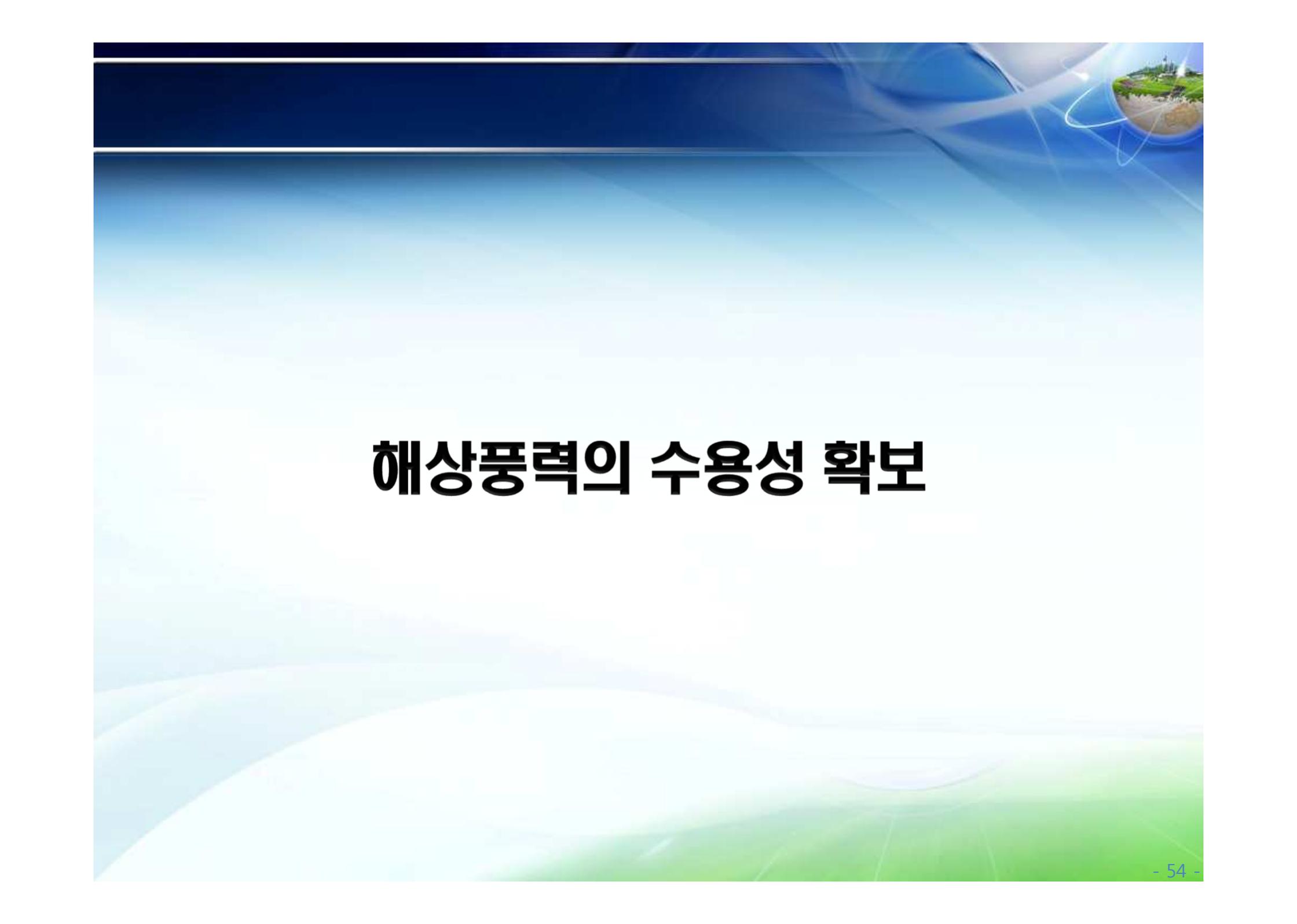
단지운영 프로토콜 개발

OWF Operator



- ✓ 풍력단지 운영자와 양식운영자가 공동으로 시행규칙(CoP) 작성
- ✓ 해양양식운영자용 RA, MERP 등 작성 (OWF HSE, RA 등 분석)

Aquaculture Operator



해상풍력의 수용성 확보

해상풍력 수용성 확보 : 편익을 어떻게 분배 할 것인가?

- ✓ 수익 분배 방식 (균등하게? 피해자 중심으로?)
- ✓ 지역사회와 편익 협약 중요

소유(투자)



법적 의무

- 보상
- 임대료
- 세금

비용



상생 협력

- 공동체 기금
- 주민 소유
- 직접 지원
- 교육 프로그램
- 간접지원

발전편익



간접편익

- 산업공급망
- 관광

공존사업 기금(=공동체 기금)
해수부+지자체

어업편익

- 양식
- 자원조성

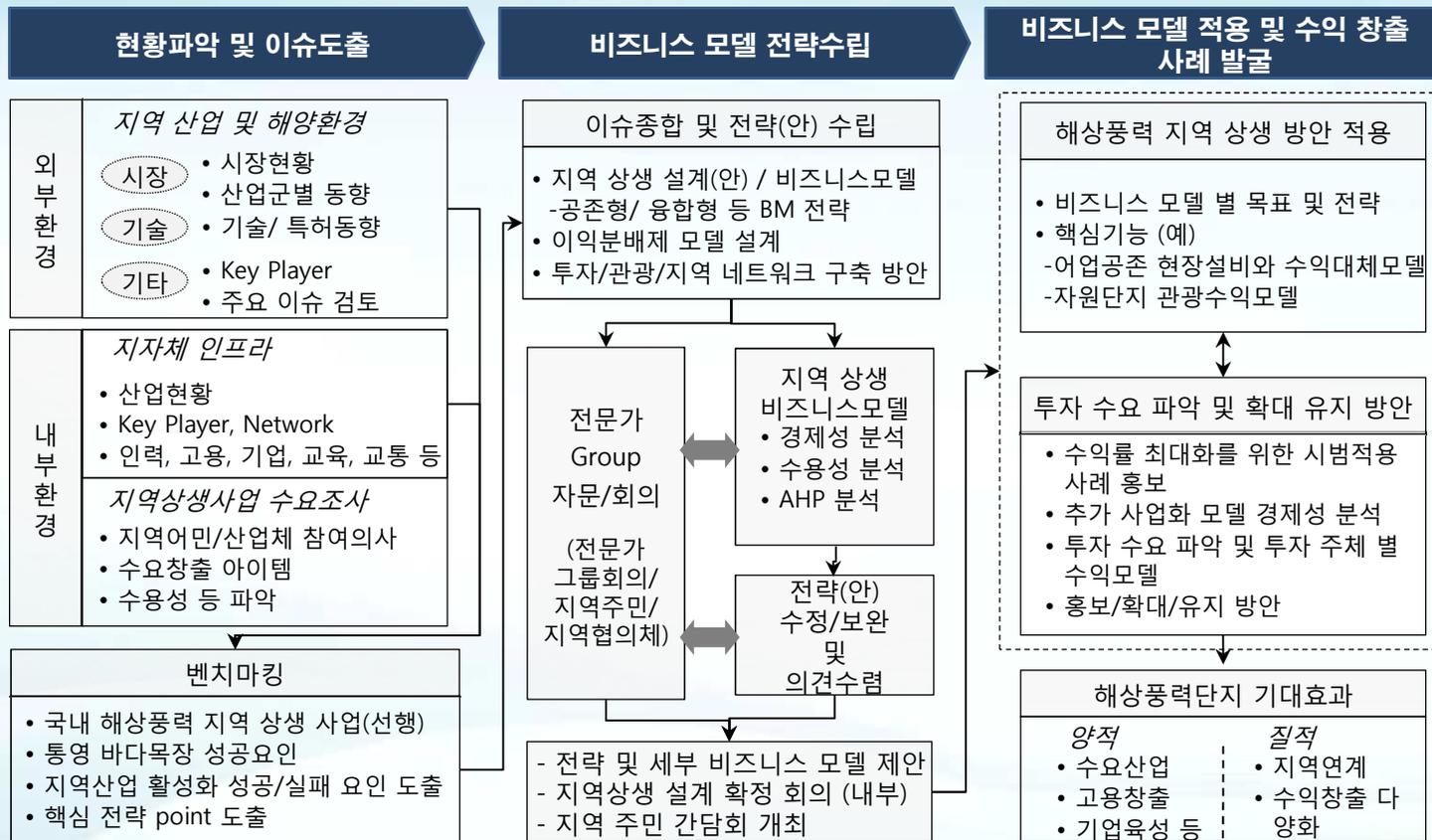
이해관계자 (혜택 대상)

직접적 (어민)	간접적 (어민)	지역 (지자체)	일반 (정부)

	△	△	
		△	
	△	△	
△	△		

해상풍력 수용성 확보 : 공존/상생형 해상풍력단지 설계 절차

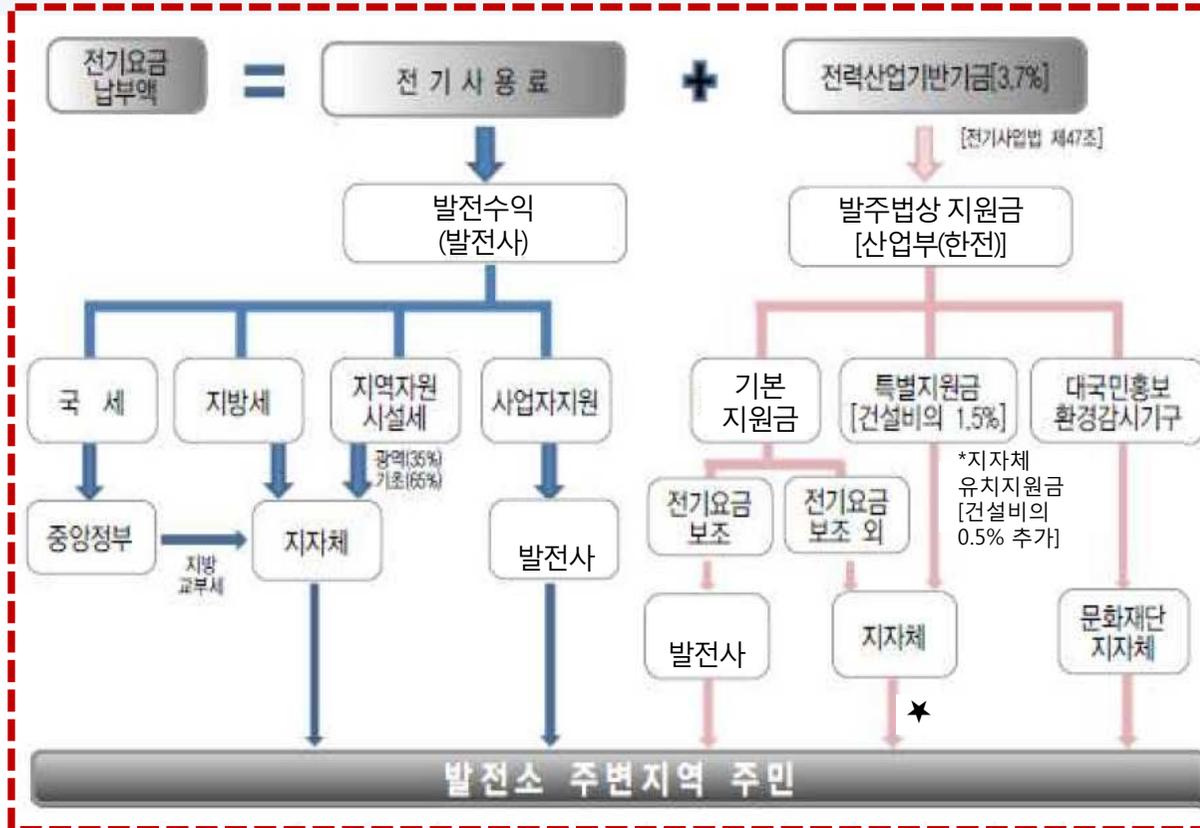
- ✓ 어민, 지역사회, 지자체 등 모든 이해관계자 참여
- ✓ 지자체 리더십 중요



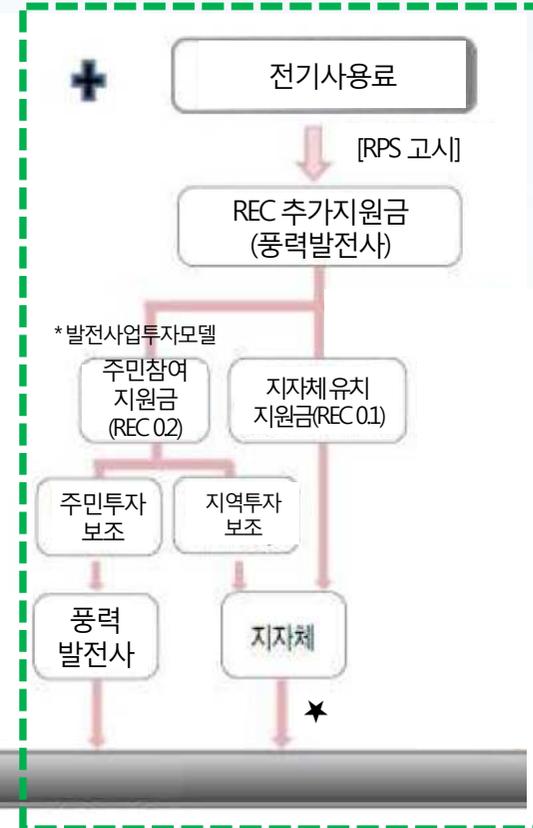
국내 해상풍력 지원 예시



원자력/화력/신재생 공통 지원



재생에너지 계획입지 지원



★ Community Fund



Orsted East Coast Hub Community Fund

- 대상 OWF : Race Bank, Hornsea Project one
- CF 운영 : GrantScape (www.grantscape.org.uk)

Ørsted Awards Third Round East Coast Community Fund Grants



Image source: Ørsted

Ørsted has awarded nineteen organizations from Yorkshire, Lincolnshire and North Norfolk in the UK with grants from the third round of its East Coast Community Fund.

The Denmark-based company launched the fund in December 2016 as part of its community engagement program, committing to make up to GBP 9.3 million available for local residents to benefit from the Race Bank and Hornsea Project One offshore wind farms.

Approximately GBP 390,000 will be available from the main fund to support a wide range of community and environmental projects every year until

2037, with an additional GBP 75,000 per year for a skills fund, designed to support a range of educational and training initiatives.

. 20년 동안 매년 GBP 465,000 이용 가능

(매년 GBP 390,000는 지역사회 및 환경 보호에, 매년 GBP 75,000는 교육 및 훈련 프로그램인 기술기금으로 활용)

- 지금까지 50개 이상의 사업에 GBP 500,000 이상을 기부함

풍력 찬성 NGO



지속가능에너지연합(Sustainable Energy Alliance, SEA)는 North Wales 지역의 환경운동가
를 중심으로 2005년 5월에 설립된 풍력, 신재생 및 기후 관련 비영리 기관으로 North Wales
연안에서 9mile 떨어진 Gwynt y Mor 해상풍력단지 건설을 촉구하는 캠페인을 시행하기 위
하여 처음 발족되었음.

SEA는 이후 5개 터빈으로 구성된 Lindhurst 육상풍력단지를 비롯하여 다수개의 풍력건설 프
로젝트에 사회적 수용성 관련 업무에 참여하였음. SEA는 단순히 풍력촉구 거리 캠페인을 전
개하는 것 뿐만 아니라, 미디어 홍보, 정치적 제안, 관계자 협의도출, 거리서명 등 다양한 방
법으로 영국 내 풍력단지의 건설적 확산을 위해 노력하고 있음

SEA has actively campaigned in support of the following projects....

Gwynt-Y-Mor offshore wind farm - North Wales www.npower-renewables.com/gwyntymor

Planning status - Consented

Lindhurst wind farm - near Mansfield Notts www.npower-renewables.com/lindhurst

Planning status - Consented

Rhyl Flats offshore wind farm North Wales www.npower-renewables.com/rhylflats

Planning status - Consented



London Climate demo Dec 2008



Coordinator - Jonathan Lincoln



해양공간계획과 해상풍력 : Multi-use Matrix



▶ 해상풍력과 해양활동의 공존가능성 분석

user/infrastructure is in planning stage

= combination possible
 = combination may be possible but more information/research is needed
 = combination impossible
 = no decision yet/blanks

		user/infrastructure is in planning stage																																
		Renewables					Marine Resources & Environment								Monitoring, Surveillance & Communication					Recreation, Presentation & Training			Maritime Traffic			Others								
		(1) Wind Energy	(2) Wave Power	(3) Current Energy	(4) Tidal Power	(5) Solar Energy	(6) Marine Aquaculture	(7) Fishing	(8) Ecosystem Protection	(9) Ecosystem Services	(10) Restoration	(11) Desalination	(12) Oil/Gas/Petroleum	(13) Mining	(14) Sediment Extraction	(15) Water Parameters	(16) Ecosystem Parameters	(17) Security	(18) Weather Forecast	(19) Research	(20) Navigation	(21) Communication	(22) Tourism	(23) Sports & Leisure	(24) Education & Training	(25) Promotion	(26) Shipping	(27) Anchoring Areas/Roads	(28) Offshore Terminals	(29) Marine Missions	(30) Pipelines & Cables	(31) Dumping Zones		
one user/infrastructure is already in place	Renewables	Wind Energy (1)	Wave Power (2)	Current Energy (3)	Tidal Power (4)	Solar Energy (5)	Marine Aquaculture (6)	Fishing (7)	Ecosystem Protection (8)	Ecosystem Services (9)	Restoration (10)	Desalination (11)	Oil/Gas/Petroleum (12)	Mining (13)	Sediment Extraction (14)	Water Parameters (15)	Ecosystem Parameters (16)	Security (17)	Weather Forecast (18)	Research (19)	Navigation (20)	Communication (21)	Tourism (22)	Sports & Leisure (23)	Education & Training (24)	Promotion (25)	Shipping (26)	Anchoring Areas/Roads (27)	Offshore Terminals (28)	Marine Missions (29)	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)		
	Marine Resources & Environment	Marine Aquaculture (6)	Fishing (7)	Ecosystem Protection (8)	Ecosystem Services (9)	Restoration (10)	Desalination (11)	Oil/Gas/Petroleum (12)	Mining (13)	Sediment Extraction (14)	Water Parameters (15)	Ecosystem Parameters (16)	Security (17)	Weather Forecast (18)	Research (19)	Navigation (20)	Communication (21)	Tourism (22)	Sports & Leisure (23)	Education & Training (24)	Promotion (25)	Shipping (26)	Anchoring Areas/Roads (27)	Offshore Terminals (28)	Marine Missions (29)	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)							
	Monitoring, Surveillance & Communication	Water Parameters (15)	Ecosystem Parameters (16)	Security (17)	Weather Forecast (18)	Research (19)	Navigation (20)	Communication (21)	Tourism (22)	Sports & Leisure (23)	Education & Training (24)	Promotion (25)	Shipping (26)	Anchoring Areas/Roads (27)	Offshore Terminals (28)	Marine Missions (29)	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)																
	Recreation, Presentation & Training	Tourism (22)	Sports & Leisure (23)	Education & Training (24)	Promotion (25)	Shipping (26)	Anchoring Areas/Roads (27)	Offshore Terminals (28)	Marine Missions (29)	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)																							
	Maritime Traffic	Shipping (26)	Anchoring Areas/Roads (27)	Offshore Terminals (28)	Marine Missions (29)	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)																											
	Others	Pipelines & Cables (30)	Dumping Zones (31)																															

Bela H. Buck, Richard Langan (editors) (2017) Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean. The Untapped Potential for Marine Resources in the Anthropocene

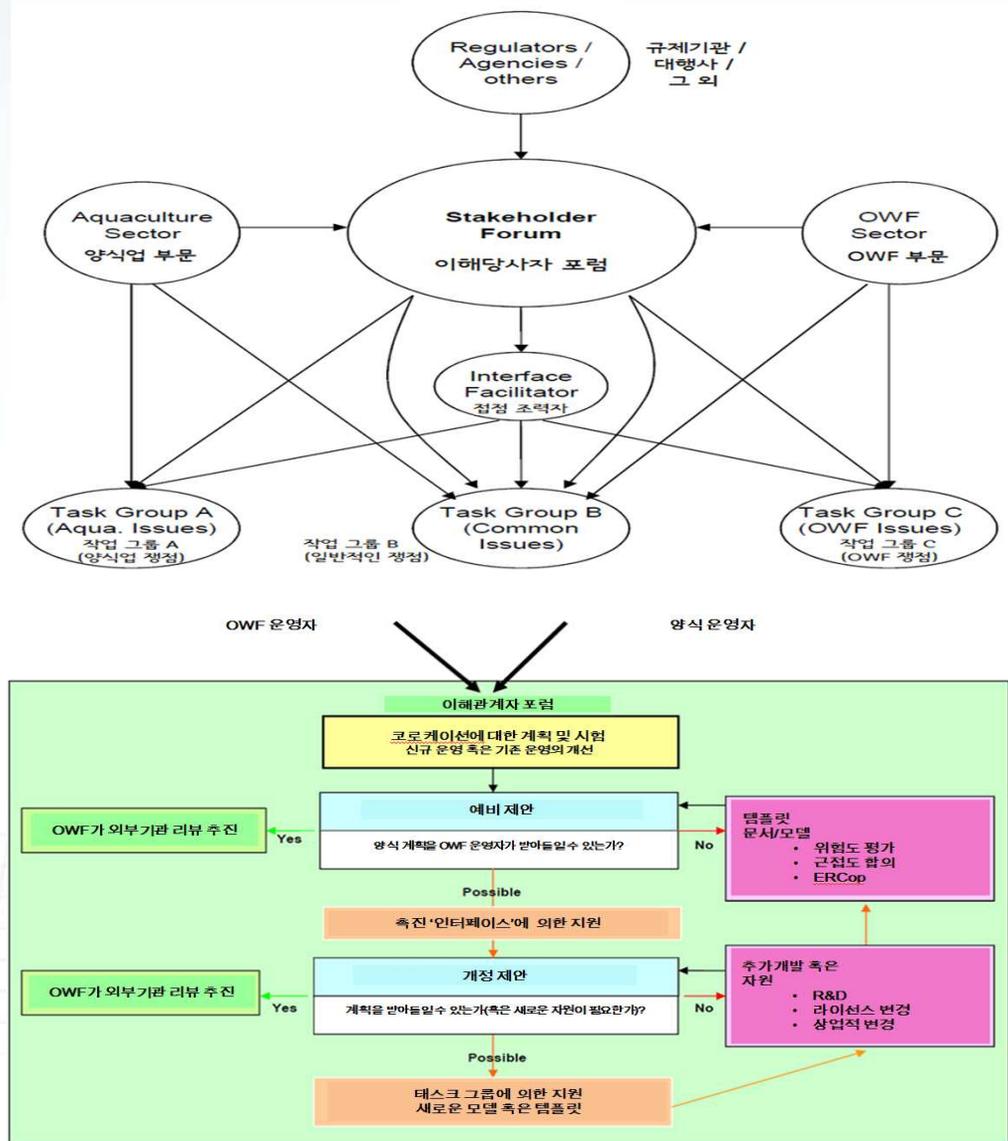
어업인과 소통 방안



▶ FLOWW : The Fishing Liaison with Offshore Wind and Wet Renewables Group

FLOWW Best Practice Guidance for Offshore Renewables Developments: Recommendations for Fisheries Liaison

JANUARY 2014



▶ 이해관계자 포럼



감사합니다