

우리 바다의 미래

해상풍력 발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력

2024.04.25 Thu 13:00-17:40

Mozart Hall, 31th Floor, President Hotel, Seoul

(Live on YouTube)

주최

(사)에너지전환포럼, 서울대학교 환경계획연구소, 환경운동연합, 한국해양수산개발원

주관

(사)에너지전환포럼

우리 바다의 미래 해상풍력 발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력

2024.04.25 Thu 13:00-17:40

Mozart Hall, 31th Floor, President Hotel, Seoul (Live on YouTube)

PROGRAM

SESSION
1
해상풍력
인지와
환경영향

13:00-13:30

축사, 인사말

전영환 에너지전환포럼 상임공동대표, 신우용 환경운동연합 사무총장, 박지혜 제22대 총선 국회의원 당선인

13:30-13:50

기조발제 1 - 기후위기 시대, 해양이 마주한 위험과 기회

윤순진 원장, 서울대학교 환경대학원

13:50-14:10

발제 1-1 - 해상풍력 발전 시 해양환경영향평가

정수정 해양수산연구소, 국립수산물품질관리원 해양이용영향평가센터

14:10-14:30

발제 1-2 - 해양 조류(Birds)의 현황과 해상풍력이 조류(Birds)에 미치는 영향

이후승 연구위원, 한국환경연구원 자연환경연구실

14:30-14:50

발제 1-3 (온라인) - 해상풍력발전이 해양생태계 다양성에 미치는 영향

Chih-An Lee, Senior Sustainability Advisor, APAC Branding & Sustainability

14:50-14:55

장내 정리

14:55-15:35

토론 및 질의응답 좌장: 육근형 실장, 한국해양수산개발원

패널: 김동주 차장, RPS / 소윤미 선임연구원, 에너지전환포럼 / 안승혁 연구교수, 서울대 / 최덕환 대외협력실장, 풍력산업협회

15:35-15:50

인터미션

SESSION
2
해상풍력
운영과
환경영향

15:50-16:10

발제 2-1 - 해상풍력 해역이용영향평가 해양생태계 작성 가이드라인

왕순영 연구소장, 이엔씨기술

16:10-16:30

발제 2-2(온라인) - 스코틀랜드 부유식해상풍력발전단지 eDNA 조사 사례

Kari Mettee Murvoll 상임연구원, 에쿠노르

16:30-16:50

발제 2-3 (온라인) - 자연환경 개선과 해상풍력

Marjolein Kelder 책임연구원, The Rich North Sea

16:50-16:55

장내 정리

16:55-17:35

토론 및 질의응답 좌장: 박진희 교수, 동국대 다름마칼리지

패널: 강금석 수석연구원, 전력연구원 / 김정도 정책국장, 제주환경운동연합 / 신재은 캠페이너, 풀씨행동연구소 / 유재원 박사, 연안환경생태연구소

* 각 세션의 토론 및 질의응답에서는 발제자도 토론에 참여합니다. * 위 일정은 다소 변경될 수 있습니다.

인사말

에너지전환포럼 상임공동대표 전영환

안녕하세요, 에너지전환포럼 상임공동대표 전영환입니다. 오늘 <우리 바다의 미래 - 해상풍력발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력>에 참석해주신 귀빈 여러분 환영합니다.

기후위기로 우리 모두의 지속가능성이 위협받고 있습니다. 우리나라 뿐 아니라 전 세계가 기후위기와 에너지 전환에 큰 관심을 갖고 대응해야 하는 상황입니다.

또 해양과 생물다양성의 위기도 함께 닥쳐오고 있습니다. 그동안 과도한 인간 활동으로 해양 오염과 어획량 감소의 문제가 지속돼 왔는데, 지구 평균 기온이 상승하면서 해수면 온도도 연달아 상승하고 용존 CO2 농도 상승으로 인한 해양 산성화로 우리 바다가 해양생물들이 살아가기 어려운 환경으로 빠르게 변화되고 있습니다. 해양의 위기를 함께 유발하고 있는 기후위기를 막기 위해 에너지전환, 특히 해상의 강력한 바람을 이용할 수 있는 해상풍력이 반드시 필요한 상황입니다.

다만, 해상풍력은 대형 발전기를 해양 공간에 건설해 장기간 운영하는 것인 만큼 해양생태 영향이 적은 곳에 자리잡을 수 있도록 해야 하고, 운영과정에서의 관리도 필요합니다. 우리 사회의 궁극적인 목표인 지속가능한 지구를 위해, 해양생태를 보호하면서도 해상풍력을 조성하기 위한 노력이 필요한 것입니다.

이에 오늘 행사 <우리 바다의 미래>를 마련했습니다. 오늘 이 중요한 논의를 위해 심포지엄을 공동 주최한 환경운동연합에서, 신우용 사무총장님의 인사말이 준비돼 있습니다. 또 이번 22 대 총선 당선인이자 기후환경 분야 전문가 박지혜 변호사께서 축사로 함께해주셨습니다.

또한 오늘 행사의 부제목이 '해상풍력과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력'인 만큼, 다양한 분야에서 이 문제를 연구하고 고민해온 분들을 국내와 해외에서 모셨습니다. 현재 한국에서 시의적으로 매우 중요한 연구를 진행하고 계신 국내 연구자분들 세 분과, 대만·노르웨이·네덜란드의 사례를 각각 다뤄 주실 발제자 세 분이 함께해주셨습니다.

시간 관계상 모든 분들을 소개해 드리기 어려우나, 앞으로의 발제와 토론을 관심 깊게 살펴봐주시기 바랍니다. 이 자리가 대한민국의 해상풍력 발전을 활성화하면서도 해양생태를 보전할 수 있는 방향을 제시하는, 하나의 큰 걸음이 되기를 바랍니다. 이 자리에 함께해 주신 여러분 모두 감사드립니다.

인사말

환경운동연합 사무총장 신우용

안녕하십니까

환경운동연합 사무총장 신우용입니다.

오늘 "해상풍력 발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 여론" 국제 심포지움 개최를 환영합니다. 뜻깊은 자리를 함께 마련해주신 사단법인 에너지전환포럼, 서울대학교 환경계획연구소, 한국해양수산개발원 그리고 이 심포지움의 발제 및 토론을 맡아주신 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

세계 풍력 에너지 위원회에 따르면, 2022 년 말까지 전 세계에 총 64.3GW 의 해상 풍력 발전 용량이 존재합니다. 또한 지난해 COP28 의 재생에너지 3 배 서약의 기초가 된, IPCC 의 조사에 따르면 2010 년 이후 10 년간 해상풍력의 누적 보급량은 8 배 증가했습니다. 이러한 세계 추세를 넘어, 몇 선진국들은 아예 2050 년도까지 탄소중립을 위해서 화석연료 발전소를 더 빠른 속도로 폐쇄하고, 더 많은 재생에너지 발전에 대한 의지를 다지며 발전 목표치를 상향할 계획을 세우고 있습니다. 이러한 전 세계의 흐름과 다르게 우리나라의 현실은 제자리에 머물고 있습니다.

2022 년 한국의 재생에너지 발전 비중은 8.1%에 불과하고, 2030 년 재생에너지 비중 목표치(21.6%)는 현재 G20 회원국들의 평균에도 미치지 못하는 수준입니다. 2024 년에 산업통상자원부 및 한국풍력산업협회의 발표에 따르면 한국에서 상업 운전 중인 해상풍력 발전용량은 0.15GW 에 불과합니다. 또한, 국내 바다에는 이미 20GW 가 넘는 해상풍력 사업들이 발전사업허가를 취득한 상황이라, 윤석열 정부의 2030 년 해상풍력 보급 목표인 14.3GW 를 이미 달성할 수 있는 충분한 사업들이 존재합니다. 기술과 자본이 부족하지 않은 한국의 상황을 고려해보면, 결국 이런 결과가 나온 원인 중 하나는 해상풍력 관련 법과 제도 그리고 사회의 변화가 미흡했기 때문이라고 추측해볼 수 있는 것입니다. 그 미흡한 변화로 인해 결국 6 년 동안 14GW 이상의 목표치를 달성해야만 하는 것입니다.

한편, 우리 앞바다의 생태계도 무분별한 남획과 개발로 처참하기는 마찬가지입니다. 이러한 상황은 전 세계도 마찬가지였는지, 작년 3 월에 2030 년까지 전 세계 바다 30%를 보호구역으로 지정하는 국제해양조약을 합의했습니다. 한국이 이 조약에 참여해 서명한 것은 참으로 다행이나, 설악산 국립공원에 케이블카 건설을 시도하고 있고, 해양에서는 낚시가 불가능한 영역이 거의 없는 한국 현실에 과연 얼마나 많은 구역을 지킬 수 있을지 회의가

됩니다. 또한 어떤 해상풍력 사업들은 급하게 추진되고 공공성이 보장되지 않으며 진행되다 보니, 기본적인 환경영향평가도 제대로 이루어지지 않고, 비민주적으로 이루어지는 사례도 발생되었습니다. 결국 이러한 현실에 제대로 대처하지 못한 정부에 대하여 생태 전문가들과 지역주민들은 한국 해상풍력 상황에 대한 끊임없는 문제를 제기했습니다.

이러한 해상풍력 문제는 에너지전환뿐만 아니라 생태계 그리고 국내의 법과 제도 등에서 얽혀 있는 복잡한 문제입니다. 이를 풀기 위해서는, 모든 이해 당사자들이 적극적이고 꾸준한 노력이 필요합니다. 따라서, 해상풍력 설치에 필요한 요소를 포함하여 해양 생물 다양성의 유지와 보호, 주민 수용성 등 다양한 요소를 연구하고 조사하는 것이 요구됩니다. 그 중에서 오늘은 '해상풍력 입지와 환경영향', '해상풍력 운영과 환경영향'을 주제로 논의하고자 합니다. 특히 이에 대해 먼저 고민하고 대처했던 유럽의 해양생태계와 해상풍력의 공존 사례를 보고자 합니다. 또한 해상풍력이 해양생물에 미치는 영향에 대한 연구와 해양 복원 및 보존을 위해 다양한 기관들이 진행하는 프로젝트나 케이스 스터디 등에 대한 발표와 토론을 통해 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하고자 합니다.

앞에서 살펴보았던 한국의 생태계와 해상풍력 현실은 정말 녹록지 않으나, 그럼에도 이 현실을 타파할 계기는 꼭 만들어야 한다고 생각합니다. 환경운동연합은 오래전부터 생태계와 재생에너지가 공존할 수 있는 길을 찾고자 하는 공론장을 진행하고 있습니다. 해상풍력이 나아가야 할 방향은 정부의 주도적인 역할에 기초하여 보다 과학적이 방법의 입지 선정으로 우리의 바다가 입을 피해를 최소화하는 것입니다. 환경수용성과 주민수용성에 기반해야 한다는 것입니다. 재생에너지는 미래의 탄소중립을 위해 반드시 필요합니다. 또한 해양 생태계도 미래세대에게 물려주어야 할 소중한 자산입니다.

오늘 이 자리가 그러한 계기가 되어 해상풍력과 생태계의 공존 방법에 대한 건설적 논의와 함께 합의점을 발견할 수 있는 자리가 되면 좋겠습니다. 오늘 국제 심포지엄에 참석해주신 여러분께 다시 한번 진심으로 감사드립니다.

기후위기 시대 해양이 마주한 위험과 기회

2024. 4. 25

윤순진

서울대학교 환경대학원

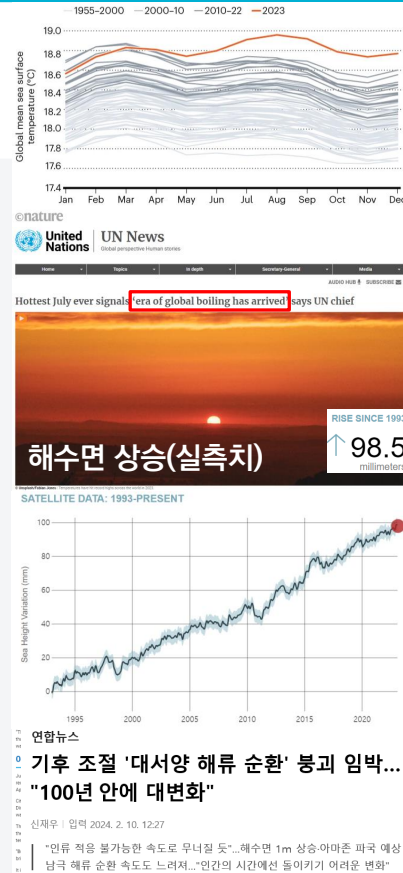
해양을 위협하는 기후위기

❖ 해양의 중요성

- 지구 표면의 70%인 해양은 탄소 저장소이자 열 저장소로 기후변화 속도를 늦춰 줌
- 지금까지 인류의 화석연료 연소로 배출된 CO₂의 1/4 흡수
- 1970년대 이래 온실가스 배출로 인한 열의 93% 흡수
- 지구 탄소 주기(carbon cycle)에서 83%가 해양을 통해 순환

❖ 해양의 위기

- 안토니오 구테흐스 유엔 사무총장: 2023년 7월 27일, 지구 온난화(Global Warming) 시대는 지고 지구열탕화(Global Boiling) 시대가 도래했다!
- 매년 최악의 기록 경신: 해양 온도와 열 함량 증가, 해양 산성화, 해수면 상승, 산소 감소, 조류 변화 등의 문제 발생
- 해양생태계와 생명을 지탱하는 바다의 미래 역량 감소
- 2023년 세계 해양에 저장된 열 역대 최대폭으로 증가



해양 변화에 따른 지역 영향

온실기체	해양	지역												물리적 변화	
		북극	동부경계 업웰링 체계	북 대서양	북 태평양	남 대서양	남 태평양	남극해	온대 인도양	열대 대서양	열대 인도양	열대 태평양	열대 태평양		범례
온실기체	물리적 변화	기온	●●	●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	<ul style="list-style-type: none"> ●●● 높음 ●● 중간 ● 낮음
		산소		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		해양 산성도	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	
		해빙 범위	●●●												
기후변화	생태계	해수면	●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	<ul style="list-style-type: none"> ●●●● 증가 ●●●● 감소 ●●●● 증가/감소 	
		상부 물기둥 산호	●●	●	●●●	●●	●●	●●	●●	●	●●●	●	●●		
		해안 습지			●●	●●	●●	●●		●●	●●	●●	●●		
		다시마 숲	●●	●●	●●	●●	●	●		●			●		
		바위 해안 심해			●●●	●●				●					
		극지 저서생물 해수면	●●			●			●●						
인간체계와 생태계 서비스	생태계 서비스	수산	●●	●	●●●	●	●	●	●	●●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ●●●● 긍정적 ●●●● 부정적 ●●●● 긍정/부정 □ 평가 없음 	
		관광	●●	●		●	●	●	●	●		●	●		
		서식지 서비스	●●	●	●●	●●	●	●	●	●	●●	●●	●●		
		수송/배송	●●												
		문화 서비스	●●		●	●		●							
		해안 탄소 격리			●●	●●	●	●		●	●	●●	●		

Source: IPCC, (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

기사들이 다룬 제주 바다에 나타난 기후변화 영향

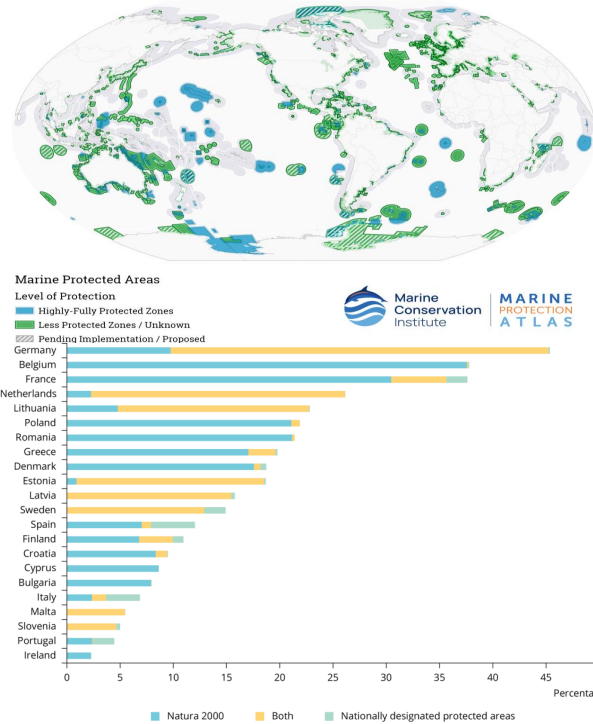
이 페이지는 제주 바다에 나타난 기후변화 영향을 다룬 다양한 뉴스 기사를 모아놓은 콜라주입니다. 기사들은 제주도의 해양 생태계 변화, 예를 들어 산호 백화, 해수면 상승, 그리고 다양한 해양 생물(예: 젤리피쉬)의 증가에 초점을 맞추고 있습니다. 또한, 제주도의 관광 및 수산업에 미치는 영향과 기후변화 대응 전략에 대한 논의도 포함되어 있습니다. 기사들은 다양한 출처에서 왔으며, 제목과 주요 내용을 요약하여 보여줍니다.

해양보호구역 현황

해외 해양보호구역 현황

- 전 세계 해양보호구역은 2000년에 약 200만 km²(전체 바다의 0.7%)에 불과했으나, 2021년에는 28,714,608 km²(17,959개 구역)으로 확대되는 등 국제사회는 해양보호구역 범위를 지속적으로 넓혀오고 있음
- 2020년 EU는 2030년까지 육지와 바다의 최소 30%를 보호구역으로 지정하는 '2030 EU 생물다양성 전략' 을 발표함
- 2023년 유엔 해양생물다양성보전협약에서는 공해의 2%에 불과한 해양보호구역을 2030년까지 최소 30%까지 늘리는 것에 합의함
- EU에서는 지난 10년 동안 Natura 2000 지정 구역이 확대되면서, 해양보호구역이 2012년 5.9%에서 2021년 12.1%로 크게 증가했음
- 가장 최근 통계인 2022년 기준, OECD 국가들의 해양보호구역 지정 비율은 독일 45.3%, 영국 41.3%, 호주 41.2%, 칠레 41.1%, 한국 1.9% 등이며, OECD 전체 평균은 21.9%에 달함

* OECD 통계는 UNEP과 IUCN에서 정한 보호구역 분류 체계를 따르며, 국내 해양보호구역 분류와 차이가 있음



해양보호구역 현황

국내 해양보호구역 지정 논의

- 2010년 우리나라는 “2020년까지 관할권 바다면적 10% 이상을 해양보호구역으로 지정한다”는 내용이 담긴 나고야의정서에서 서명함
- 2021년 발표된 '제5차 해양환경 종합계획(2021-2030)'에서는 2030년까지 전체 해역의 20%를 해양보호구역으로 지정하겠다는 목표를 수립

국내 해양보호구역 현황과 문제점

- 2023년 12월 기준, 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률에 따른 해양보호구역은 습지보호구역(17개소), 해양생태계보호구역(16개소), 해양생물보호구역(2개소), 해양경관보호구역(1개소)을 합쳐 총 36개소(1,866km²)가 지정되어 있음
- 이는 우리나라 관할 해역(443,838 km²) 대비 약 0.42%에 불과한 수준이며, 목표 지역의 산업적 활용을 금지하는 No Take Zone은 존재하지 않음
- 현재 지정된 해양보호구역 중 80.5%(1,500.93km²)는 습지보호구역으로 국제사회에서 주장하는 바다생태계를 보호하는 해양보호구역과 차이가 있음



■ 해상풍력과 해양보호구역

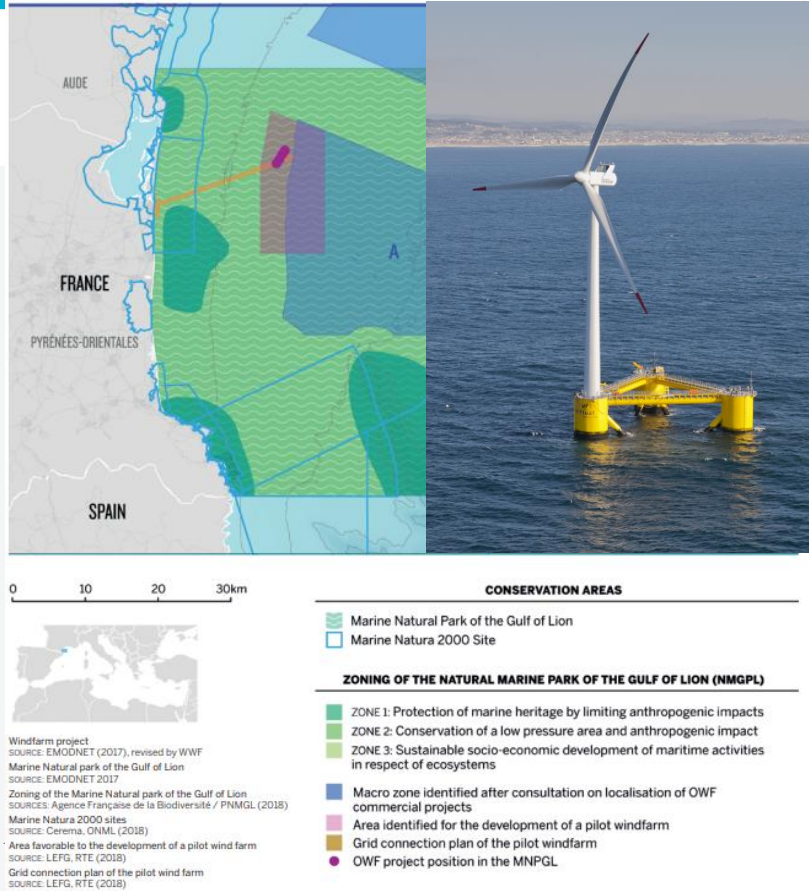
출처: : WWF-France, 2019

❖ 해상풍력발전단지를 해양보호구역으로 지정하는 방안 고려 가능

- 개발 이후 No Take Zone으로 설정하고, 해상풍력 이외 인간의 활동을 금지하는 방안을 고려할 수 있음.

❖ 해양보호구역에 해상풍력발전단지 건설 사례

- 프랑스 정부는 2015년에 해양공간계획을 수립하는 과정에서 라이언만 자연해양공원 (2011년 지정)에 해상풍력발전단지 건설을 결정함.
- NGO, 어민단체, 레저단체, 주정부 기관, MPA 관리부서, 사업자, 전문가 등 이해관계자 20명으로 구성된 관리위원회에서 환경영향이 최소화되는 입지를 선정함.
- 해안에서 16km 떨어진 위치에 30MW 규모 부유식 해상풍력을 2024년 건설 완료 및 운영 시작 예정

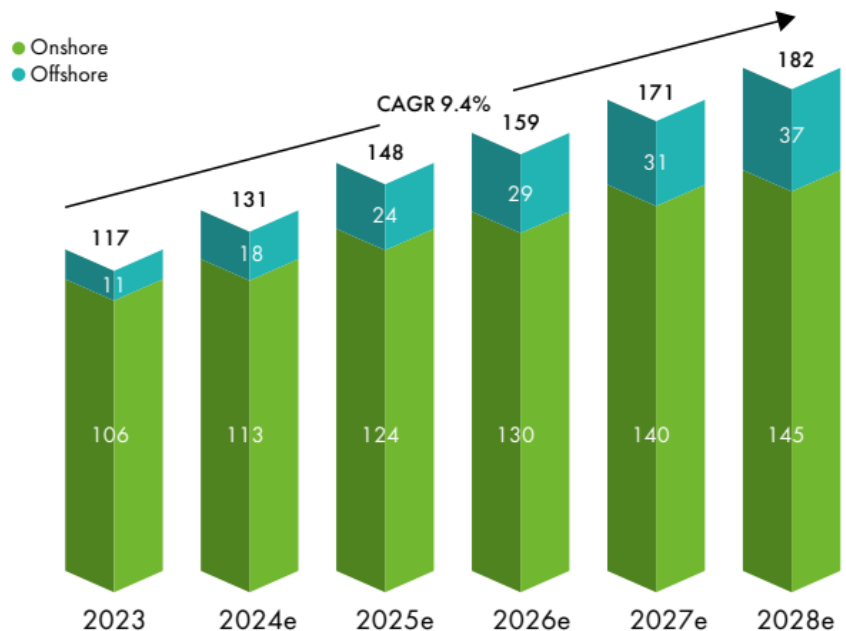


■ 해상풍력 산업 성장 기회

❖ 풍력 발전의 지속적인 증가

- 기후위기 대응을 위한 에너지전환은 국제사회가 공통으로 추진하는 정책이며, 환경문제를 넘어 경제문제로 기회를 적극 포착할 필요가 있음.
- 육상 풍력 터빈의 발전 용량은 2030년까지 현재보다 2배, 해상풍력은 3배 증가 예상
- 삼면이 바다인 한국은 해상풍력 산업 성장을 통해 재생가능에너지 시장을 선도할 수 있는 유리한 여건이라고 할 수 있음.
- 해상풍력 추진 과정에서 해양생태계 보호, 어민 생계 보호와 조화가 필요함.

New installations outlook 2024–2028 (GW)



출처: GWEC, 2024

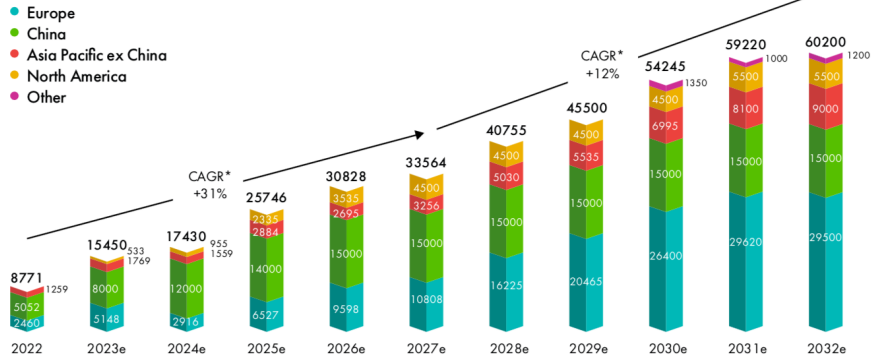
■ 해상풍력 산업 성장 전망

❖ 세계 해상풍력 현황과 잠재력

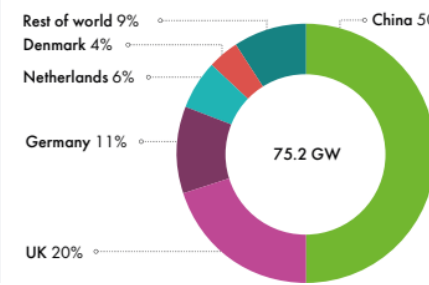
- 세계 해상풍력 시장은 국가별 목표 상향과 새로운 참여국가들로 인해 지속적으로 성장하고 있음.
- 2023년 말 기준 세계 해상풍력 설치용량은 75.2GW이며, 중국 37.7GW, 영국 14.8GW, 독일 8.3GW, 네덜란드 4.8GW, 덴마크 2.7GW, 벨기에 2.3GW, 대만 2.1GW 순임(한국 146MW).
- 2028년까지 앞으로 5년 동안 유럽에 해상풍력이 42GW 이상 설치되고, 아시아에서는 중국 72GW, 대만 6.9GW, 한국 3.1GW, 일본 1.7GW가 추가될 것으로 예상됨.

출처: GWEC, 2024; GWEC, 2023

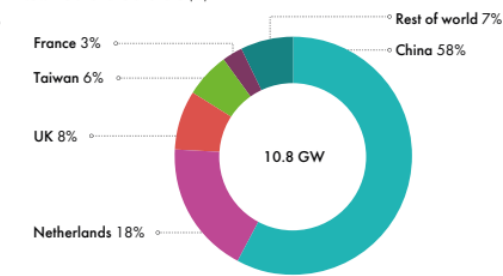
New offshore wind installations, global (MW)



Total installations offshore (%)



New installations offshore (%) 2023년



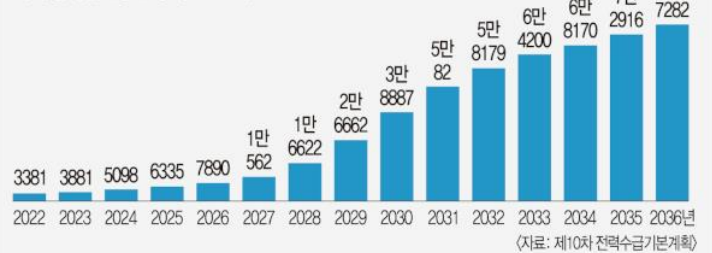
■ 국내 해상풍력 산업 성장 전망

❖ 국내 해상풍력 현황과 잠재력

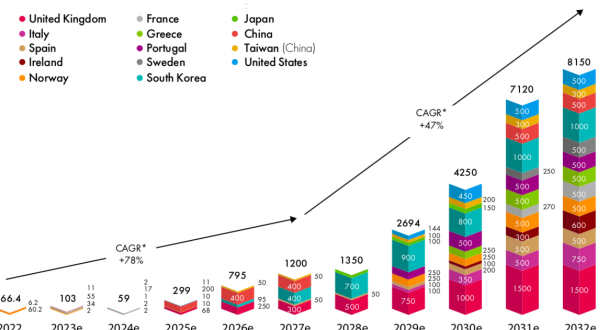
- 국내 해상풍력 설치용량은 2023년 말 기준 146MW임.
- 정부는 2030년까지 14.3GW의 해상풍력 발전시설을 국내에 보급할 계획임.
- 한국의 해상풍력 잠재력은 624GW임.
- 부유식해상풍력은 수심과 해저 지반에 대한 제약이 적고 더 좋은 풍황자원을 활용할 수 있다는 점에서 특히 주목받고 있음.
- GWEC(세계풍력에너지협의회)는 2030년까지 세계 부유식 해상풍력 설치량은 10.9GW까지 늘어날 것이며 많은 국가들 중 한국이 그러한 성장을 주도할 것이라 보고함.

출처: GWEC, 2024; GWEC, 2023

국내 풍력발전량 전망 (단위: GWh)



New floating wind installations, Global (MW)**



국내 해상풍력 영향



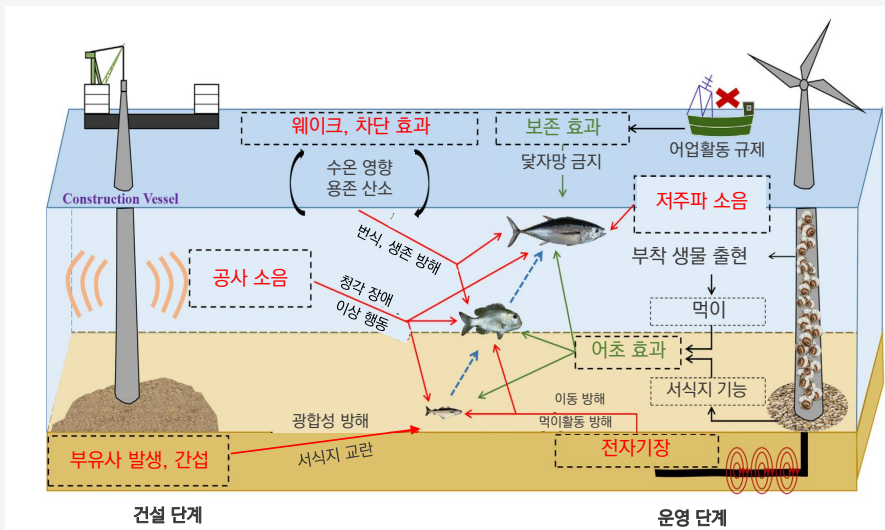
해상풍력 영향

❖ 해양 생태계 영향

- 건설단계와 운영단계에서 상이한 해양 생태계 영향이 발생함

건설단계

- 소음: 높은 데시벨, 청각 장애와 이상행동 유발
- 부유사: 서식지 직접 교란 및 플랑크톤의 광합성 방해



운영단계

- 웨이크, 차단: 단지 내 대기과 해양의 교환이 감소하여 수온과 용존 산소 정도에 영향
- 소음: 블레이드, 구조물 진동
- 전자기장: 케이블 주변
- 어업 제한: 보존 효과
- 어초 효과에 따른 새로운 서식지 형성: 개체 수 증가, 생물다양성 증대

■ 해상풍력 영향

❖ 조류 생태계 영향

- 바다를 건너 이동하는 조류에게 해상풍력 터빈이 장애물로 작용할 수 있음
- 직접적으로 충돌하여 폐사하거나, 블레이드가 장벽으로 작용하여 우회하여 비행하거나, 비행 경로가 교란되는 상황이 발생함
- 영국, 독일, 덴마크 등 주요국 전략환경평가서에서는 해상풍력은 조류충돌 위험성이 중대한 수준은 아니라고 추정
- 수조류(water birds)는 인공어초 효과로 해상풍력 단지에서 먹이활동이 더 쉬워질 수 있음

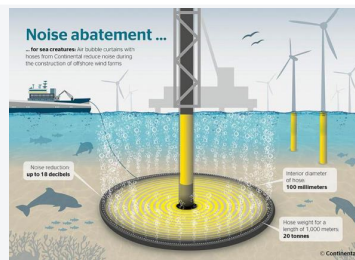


13

■ 해상풍력 생태계 보호 방안

❖ 해양 생태계 보호 방안

- 건설 소음 저감 공법 '버블 커튼' - 물 속에 공기 분사, 물의 밀도 변화시켜 소음 전파 방해
- 발전소 주변으로 인공어초를 배치하여 건설 과정에서 훼손된 서식지를 인공적으로 복구함
- 해양 생물을 직접 보호하는 대신, 모래 사구를 형성하거나 잘피를 대량 이식하여 서식지를 만드는 접근법도 있음
- 발전소 부지가 아니더라도 환경적 가치가 더 높은 곳에 환경 보전 활동을 하여 해양 발전소 해양 영향을 상쇄하거나 더 높은 가치 창출 효과



버블 커튼 공법 (source: BBC, Osted)



인공어초 배치 (source: Osted)



모래사구 형성, 인공어초 (source: Osted)

14

■ 해상풍력 생태계 보호 방안

❖ 조류 생태계 보호 방안

- 서식지 직접 관리: 발전단지 인근에 조류 서식 환경을 변화시켜 다른 곳으로 조류 이동을 유도함
- 페인트: 한 쪽 블레이드를 페인트칠하여 조류 이동시 모션블러 효과를 감소시켜 조류의 회피 이동을 유도
- 감발 운전: 조류 이동 감지하거나 철새 이동 시즌에 감발 운전하여 충돌 위험 감소
- 인공 소음: 조류 이동이 감지되면 기피 소음을 발생시켜 조류의 회피 이동을 유도
- 한편, 현재의 생태계 영향은 주로 건설과 운영 단계만 주로 고려하고 있으므로 철거 단계에서 발생할 영향에 대해서도 준비 필요



Source: Garcia-Rosa & Tande, 2023

■ 유럽의 생태계 영향평가 제도 주요 특징

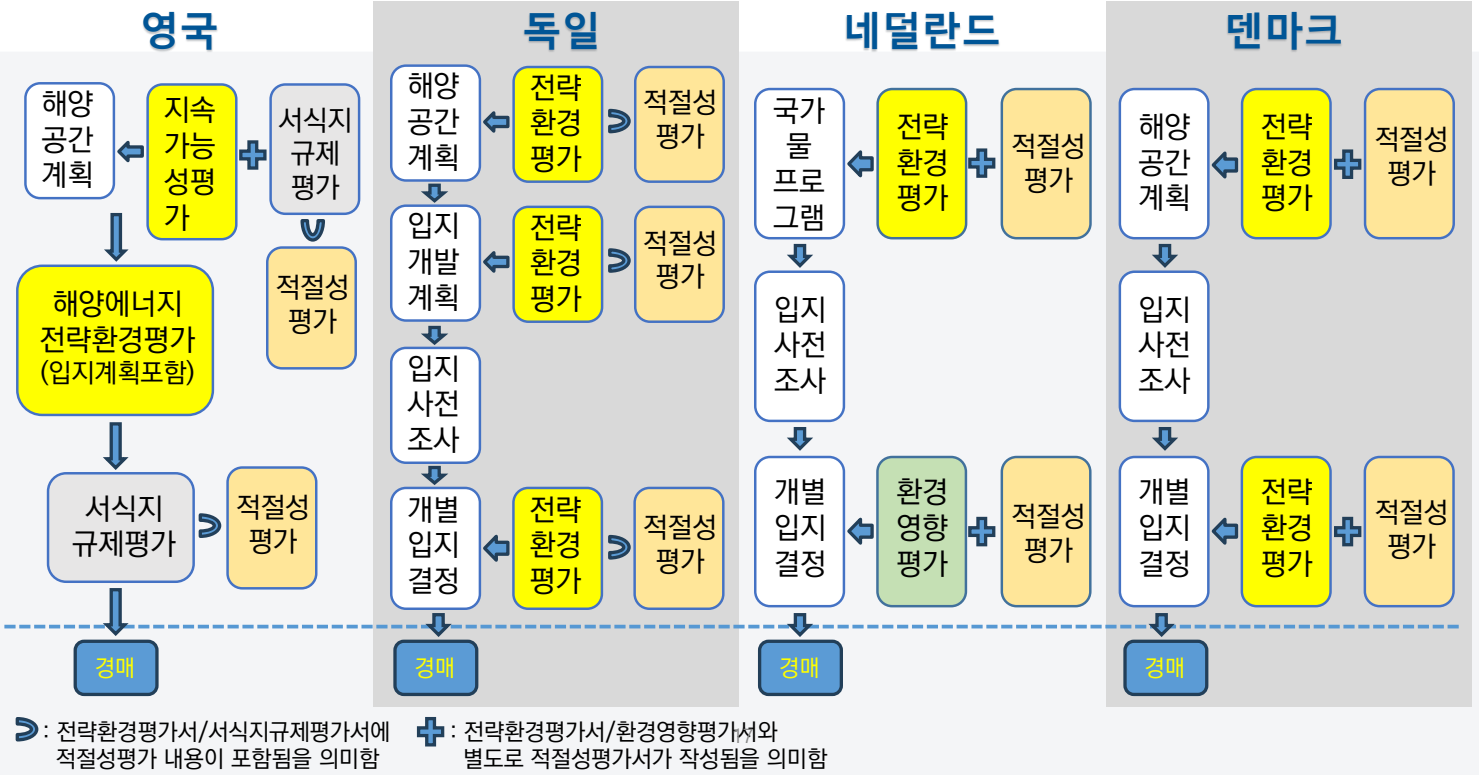
❖ 입지선정과 전략환경평가

- 해상풍력 설치 상위국인 영국, 독일, 네덜란드, 덴마크는 공통적으로 국가의 전체 해상풍력 입지계획 수립 및 사업자들을 대상으로 경매 입찰을 실시하기 위한 개별 입지 결정을 중앙정부가 수행함.
- 해상풍력 입지 선정 과정에서 생태계 영향을 최소화하기 위해 전략환경평가와 적절성평가를 수행함.
- 입지선정 과정은 해양공간계획 수립 단계와 개별 입지 결정 단계로 구분되며, 각 단계마다 전략환경평가를 실시하고, 이와 별도로 적절성평가를 실시함.
- 전략환경평가는 공간 이용 계획 및 환경 전반에 미칠 다양한 영향에 대한 평가를 실시하며, 생태계 영향으로는 조류, 해양 포유류, 박쥐, 어류, 저서생물 등이 포함됨.

❖ 생태계 영향과 적절성평가

- 해양보호구역은 대부분 나투라 2000에 포함되고, 일부 추가적으로 각 국가에서 지정함.
- EU 차원의 생태계 보호 지역인 나투라 2000에 영향을 줄 수 있는 계획이나 사업을 대상으로 하는 적절성평가는 특정 생물종과 서식지에 대한 평가가 이루어짐.
- 적절성평가는 전략환경평가 항목 중 생태계 영향과 저감방안을 보다 집중적으로 평가하는 제도임.
- 적절성평가 항목은 조류와 해양포유류가 필수이고, 박쥐, 어류, 저서생물 등에 대한 영향을 포함하는지 여부는 입지 선정 단계별로, 국가별로 차이가 있음.

유럽의 해상풍력 입지선정 과정과 생태계 영향평가 절차



한국의 제도 개선을 위한 정책 제언

❖ 한국의 생태계 영향 평가 현황

- 현재 해상풍력에 대한 전략환경평가는 실시되지 않고 있으며, 예비지구의 기본설계를 수립하는 입지 선정 과정에서 해양공간적합성협의를 실시하는 방안이 해상풍력특별법(안)으로 검토되고 있음.
- 해양공간적합성협의를 어업, 군사 등 다른 활동과의 영향 관계를 검토하는 제도로, 필요한 경우 환경영향평거나 해역이용영향평가의 항목을 이용하여 환경영향을 검토할 수 있으나 생태계 영향에 대한 체계적인 평가 시스템은 아님.
- 지정된 보호종과 서식지 영향을 최소화하기 위한 적절성평가 제도는 운영하지 않고 있음.

❖ 개선 방향

- 해상풍력이 해양생태계에 미칠 수 있는 영향을 입지 계획 수립 단계부터 적절하게 평가하여 대응방안을 마련할 수 있도록 해양공간계획 수립 및 발전지구 지정 각 단계에 전략환경평가를 수행할 것을 제안함.
- 현재 검토되는 해상풍력특별법(안)에는 전체 해상풍력 입지에 대한 검토를 포함하는 해양공간계획에 대한 규정이 없기 때문에, 이에 대한 내용이 추가될 필요가 있음.
- 국내에 적절성평가 절차를 별도로 도입할 필요는 없으나, 전략환경평가 항목으로 해양보호구역을 추가하고 이에 대한 영향을 보다 체계적으로 평가할 필요가 있음.

■ 생태계 영향 이외 중요한 요소

❖ 해상풍력의 어업 영향과 사회적 수용성

- 어업 비중이 높은 한국에서 해상풍력 입지는 대부분 조업 구역과 겹치기 때문에 어민 피해가 발생할 수밖에 없고, 어업의 축소가 불가피함.
- 입지 선정 과정에서 정보 공유 및 대화 부족, 영향을 받는 전체 어업인에 대한 고려 미흡으로 인한 사회적 갈등이 해상풍력 확대의 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있음.
- 해상풍력이 미칠 수 있는 사회·경제·환경 영향에 대한 균형 잡힌 정보를 주민에게 제공하고 주요 해상풍력 이슈에 대해 논의하고 숙고할 수 있는 기회를 제공함으로써 주민들의 인식 개선 효과를 도모할 필요가 있음.
- 정부 자원과 사업자 자원으로 해상풍력 상생기금을 조성하여 해상풍력 입지로 인해 피해를 입을 수 있는 어민을 대상으로 재취업 훈련, 취업 알선, 관련 기업 유치, 어업인복지 사업 등 정의로운 전환 프로그램을 제공하는 것이 바람직함.
- 해상풍력 입지선정 과정에서 전략환경평가를 수행하고, 관련 정보들을 공개적으로 제공하여 어민을 포함한 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴하는 것이 중요하며, 향후 이에 대한 심도 깊은 공론장을 기대함.

감사합니다.



해상풍력발전 시 해양환경영향평가

- 울산부유식 해상풍력을 중심으로 -

국립수산과학원 해역이용영향평가센터

발표순서

- I. 해상풍력 발전사업 현황
- II. 해상풍력과 해양환경영향평가
- III. 울산 부유식해상풍력 해양환경영향평가

I. 해상풍력 발전사업 현황



서남권역

사업명	위치	진행상황	발전용량(MW)	공유수면 면적(㎡)
서남해 해상풍력	전북 부안군 위도 및 고창군 해역 일원	운영 중	60MW	248,916
새만금 해상풍력	전북 군산시 새만금 방조제 내측		3.0MW급 20기 98.8MW	387,950
군산 해상풍력	전북 군산시 군현상 황계내 일부		68MW	7,683
전남 해상풍력	전남 신안군 자은면 자은도 북서측 해상 일원		95MW 8MW급 12기	635,015
영광·낙월 해상풍력	전남 영광군 낙월면 안남도 송이도 중간 해역		350MW 4.2MW급 84기	33,265,510
태안 해상풍력	태안군 근흥면 격렬비열도 인근 해상	계획 중	546MW 13MW급 42기	80,000,000
천사 어의 해상풍력	신안군 지도읍 어의리 북서측 및 동측 해상		99MW 9.9MW급 10기	15,000,000
신안 어의 해상풍력	신안군 지도읍 어의리 북서측 해상		99MW 9.9MW급 10기	15,000,000
신안 우이 해상풍력	신안군 다초면 우이도로 인근 해상		400MW 4.2MW급 95기	36,500,000
압해 해상풍력	신안군 압해읍 가봉리 전면		83MW 6.45MW급 13기	1,900,000

울산 동남권역

사업명	위치	진행상황	발전용량(MW)	공유수면 면적(㎡)
반딧불 부유식 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 70km 떨어진 태안리 경제수역		0.810GW 15MW급 54기	154,000,000
울산 근산도 1,2,3호 부유식 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 60~70km 떨어진 태안리 경제수역		1,500GW 15MW급 100기	240,000,000
울산 해동리 1,2,3호 부유식 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 75~95km 떨어진 태안리 경제수역	계획 중	1,500GW 15MW급 100기	240,000,000
울산 한국투자 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 80km 떨어진 태안리 경제수역		1,125GW 15MW급 75기	240,000,000
이스트뉴에너지 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 65km 떨어진 태안리 경제수역		1,500GW 15MW급 84기	240,000,000
문무리부유식 해상풍력	울산광역시 동북으로 약 70km 떨어진 태안리 경제수역		1,500GW 15MW급 84기	240,000,000



제주권역

사업명	위치	진행상황	발전용량(MW)	공유수면 면적(㎡)
탐라 해상풍력	제주특별자치도 제주시 한림면 일원	운영 중	30MW 3.0MW급 10기	541,421
대정 해상풍력	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 일원		100MW 5~6MW급 17~20기	29,000,000
한림 해상풍력	제주특별자치도 제주시 한림읍	계획 중	100MW 5.56MW급 18기	5,469,687
한동·평대 해상풍력	제주특별자치도 제주시 구좌읍 일원		104.5MW 5.5MW급 19기	5,630,000

전남/경남권역

사업명	위치	진행상황	발전용량(MW)	공유수면 면적(㎡)
완도 금일 해상풍력	전라남도 완도군 금일읍 평일도 남쪽 해상	계획 중	600MW 15MW급 40기	42,400,000
육지 해상풍력	충청남도 목천읍 남해 이도면 인근 해상		384MW 14MW급 28기	31,900,000

II. 해양환경영향평가



개발행위로 인해 예상되는 해양환경영향 사전에 검토·평가하는 제도
사업계획의 수립단계부터 환경적 측면이 고려될 수 있도록 사전예방적 환경관리 정책수단

우리나라의 환경영향 관련 평가제도

- 해양수산부 : 해역이용영향평가, 일반해역이용협의, 간이해역이용협의
- 환경부 : 전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모환경영향평가

해양환경영향평가의 기능

해양환경 훼손, 오염원인 등의 제거 또는 최소화 유도



해역이용자 간의 갈등발생 최소화에 기여

해양환경정책 의사결정을 위한 다양한 자료제공

환경변화에 대한 적정한 저감방안 수립

II. 해상풍력 해양환경영향평가



해상풍력 해양환경영향평가

- 해양수산부 : 일반해역이용협의(~5만 kW), 해역이용영향평가(5~10만kW)
- 환경부 : 환경영향평가(10만 kW~)

해상풍력 발전사업 해역이용영향평가 평가항목

환경요인 Environ- mental factors	해양물리 & 화학 (Marine physics & chemistry)					환경 위해 (Environmental Risk)			
	해양물리 Physics	해양수질 Water quality	해양 퇴적물 Sediment	지형·지질 Topography · Geology	대기질· 기상 Air· Weather	경관·빛 Landscape · Light	소음·진동 Acoustic· noise	전자기장 Electromagneti c fields	
피영향 요인 Affected factors	해양생태계 (Marine ecosystem)					인문 사회 (Humanities Society)			
	부유 생태계 Plankton	저서 생태계 Benthos	유영 생태계 Nekton	해양 포유류 Marine mammal	조류 Birds	공간이용 Space	수산업 Fishery	사회경제 Sociology Economy	주민건강 Resident health

II. 해상풍력 해양환경영향평가



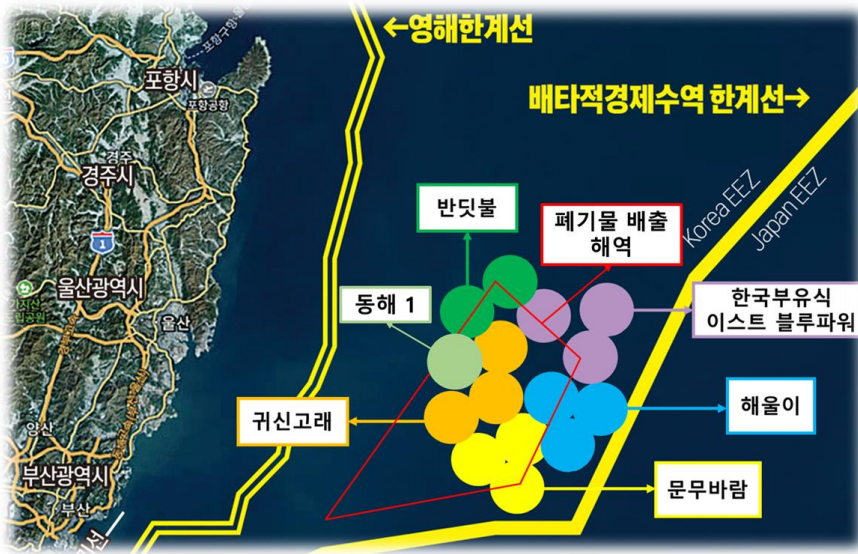
해상풍력 발전기 유형



수심 60 m 이하,
제주해역, 서해, 남해

수심 60~150 m
동해안

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가(초안)



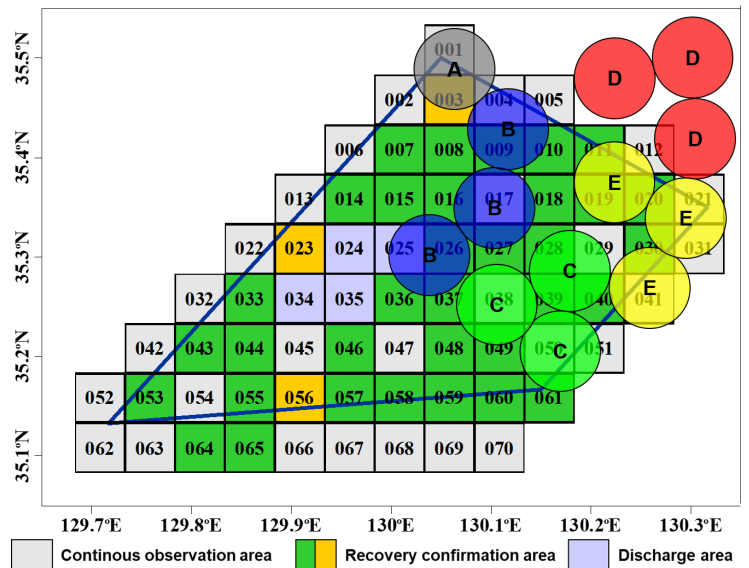
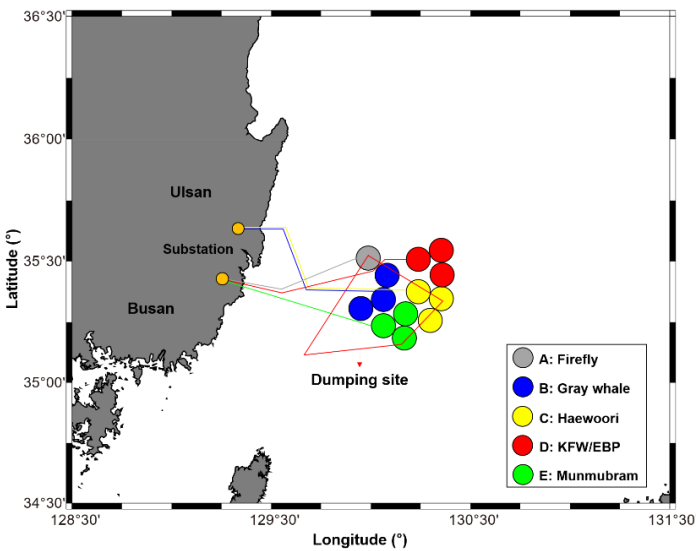
ID	Project Name	Capacity	Area
A	Firefly (반딧불)	810MW(15MW×54)	154 km ²
B	Gray whale (귀신고래)	1,500MW(15MW×100)	240 km ²
C	Haewoori (해울이)	1,500MW(15MW×100)	240 km ²
D	KFW/EBP (한국 부유식 이스트 블루파워)	1,125MW(15MW×75)	240 km ²
E	Munmubaram (문무바람)	1,260MW(15MW×84)	240 km ²

ID: project ID

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가(초안)



입지의 타당성



구역	사업명	반딧불 (A)	귀신고래(B)	해울이(C)	한국부유식/ 이스트블루파워(D)	문무바람(E)
배출구역 (Discharge area)		X	O	X	X	X
회복구역(Recovery Confirmation area)		O	O	O	X	O
지속관찰구역(Continuous Observation area)		O	O	O	X	O

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



해양 수질·퇴적물

구분	반딧불	귀신고래	해올이	KFW/EBP	문무바람
• 조사방법	해양환경공정시험기준	해양환경공정시험기준	해양환경공정시험기준	해양환경공정시험기준	해양환경공정시험기준
• 해양수질 정점수	34지점 (표·중·저층)	35지점 (표·중·저층)	30지점 (표·중·저층)	32지점 (표·중·저층)	40지점 (표·중·저층)
• 해양퇴적물 정점수	34지점	35지점	30지점	47지점	40지점

부유생태계(동·식물플랑크톤)

• 식물플랑크톤 조사방법	Niskin 채수기	Van Dorm	Niskin 채수기	Niskin 채수기	Niskin 채수기
• 동물플랑크톤 조사방법	Plankton Net (60cm / 200 μ m)	Plankton Net (45cm / 300 μ m)	Open-Closing형 net (60cm / 300 μ m)	Plankton Net (60cm / 200 μ m)	Open-Closing형 net (60cm / 300 μ m)
• 정점수	34정점	35정점	30정점	32정점	40정점

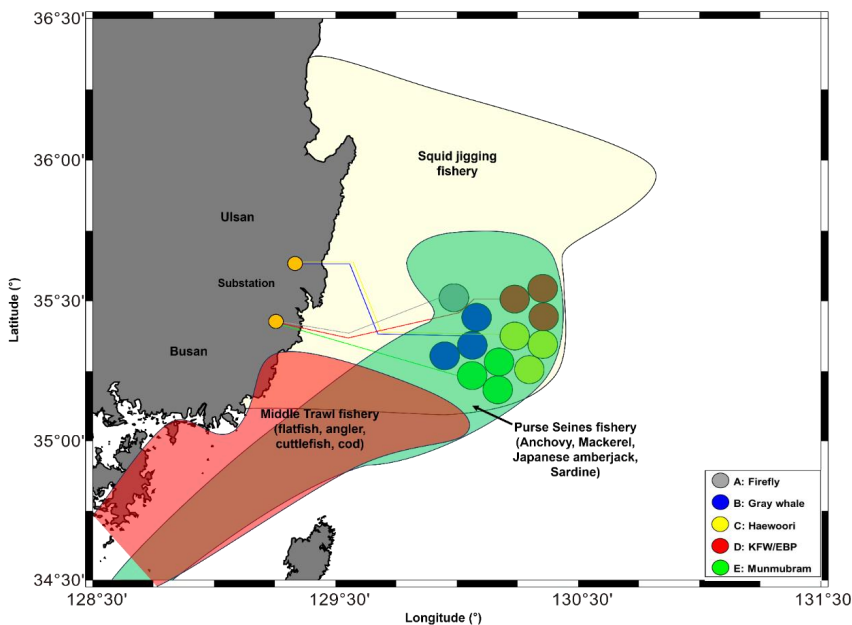
저서생태계(조하대·조간대 저서생물)

• 조하대 저서생물 조사방법	Smith-mcintyre grab	Smith-mcintyre grab	Smith-mcintyre grab	Smith-mcintyre grab	Smith-mcintyre grab
• 조간대 저서생물 조사방법	방형구(0.5×0.5m)	방형구(0.5×0.5m)	방형구(0.5×0.5m)	방형구(0.5×0.5m)	방형구(0.5×0.5m)
• 정점수 (조하대 / 조간대)	34정점 / 4정점	35정점 / 4정점	30정점 / 5정점	34정점 / 3정점	40정점 / 3정점

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



어류 및 수산자원



구분	반딧불	귀신고래	해올이	KFW/EBP	문무바람
• 어란 및 자치어 조사방법	원추형 플랑크톤 네트	자치어 네트	Ring Trawl net	Ring Trawl net	Ring Trawl net
• 해산어류 조사방법	자망, 통발	자망	자망, 통발	자망, 통발	자망, 통발
• 정점수 (어란 및 자치어/해산어류)	34정점 / 10정점	35정점 / 8정점	30정점 / 11정점	32정점 / 12정점	40정점 / 12정점

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



해양 포유류·조류

구분	반딧불	귀신고래	해일이	KFW/EBP	문무바람
• 해양 포유류 조사방법	목시조사, 드론	목시조사, 드론	목시조사	목시조사, 드론, 영상촬영장비	목시조사, 드론
• 해양 조류 조사방법	선상조사	선상조사, GPS 위치추적기	선상조사, GPS 위치추적기	선상조사, GPS 위치추적기	선상조사, GPS 위치추적기
• 대조구 유무	X	O	X	O	O
• 조사범위 (반경)	5km (조류, 포유류 동시조사)	5km (조류, 포유류 동시조사)	5km (조류, 포유류 동시조사)	4km (조류, 포유류 동시조사)	5km (조류, 포유류 동시조사)
• 조사주기	19개월 조사	12개월 조사	11개월 조사	12개월 조사	12개월 조사

해양보호생물(잘피류)

• 조사방법	ROV 조사	ROV 조사	잠수조사	잠수조사	잠수조사
• 정점수	4정점	6정점	5정점	3정점	3정점

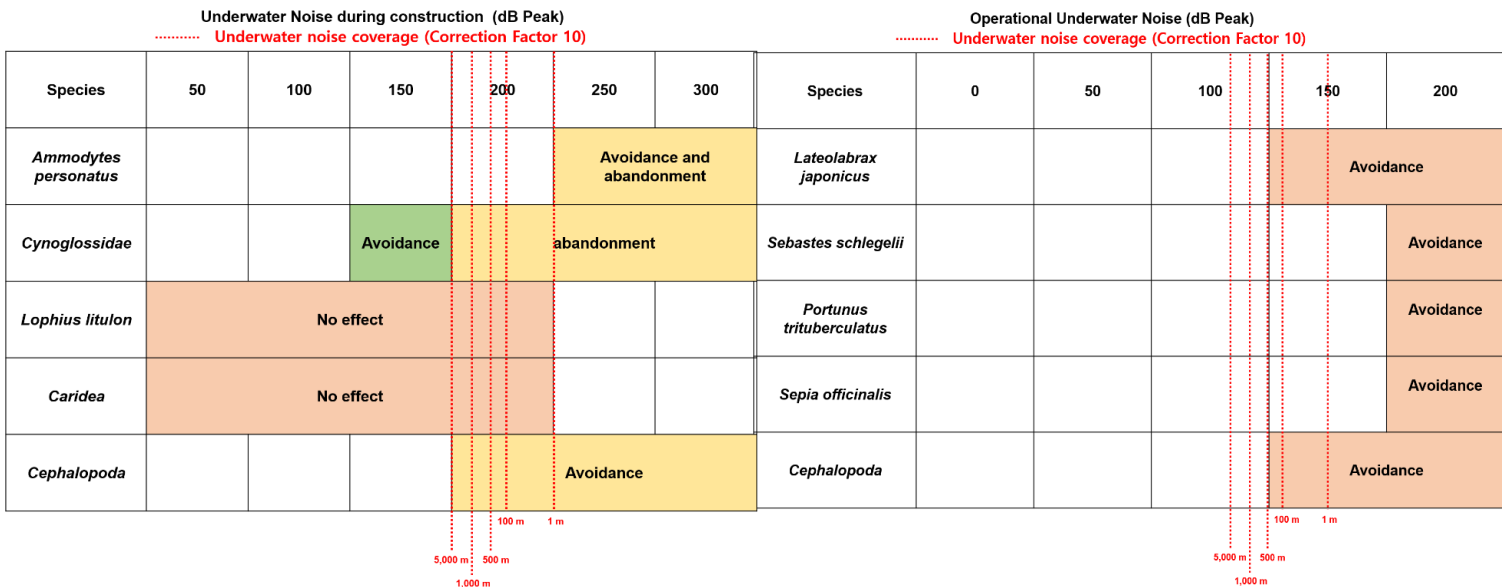
수중소음

• 조사방법	수중 청음기 (SoundTrap, ST600 v1) 10m 아래(중층, 저층) 1시간 자료수집	수중 청음기 (hydrophone, TC-4032) 51.2KHz 설정 15, 30, 80m 측정	수중 청음기 (hydrophone, TC-4032) 51.2KHz 설정 70, 100m 측정	수중 음압계 (SW1020, OKI, Japan) 1,2,5,10m 수심 조사	수중 음압계 (SW1020, OKI, Japan) 1,2,5,10m 수심 조사
• PAM 제시여부	O	X	X	O	O
• 정점수	30정점	5정점	15정점	16정점	11정점
• 조사주기	수중소음 4계절 PAM 4계절 조사 (계절별 30일 이상)	수중소음 4계절	수중소음 4계절	수중소음 4계절 PAM 12개월 조사	수중소음 4계절 PAM 12개월 조사

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



수중 소음이 어류에 미치는 영향평가

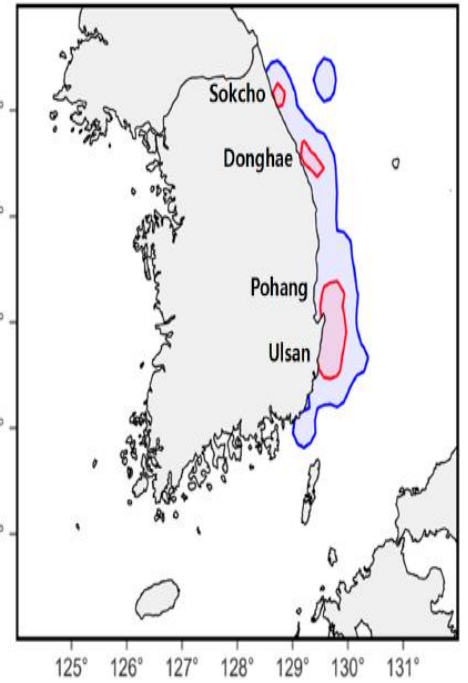
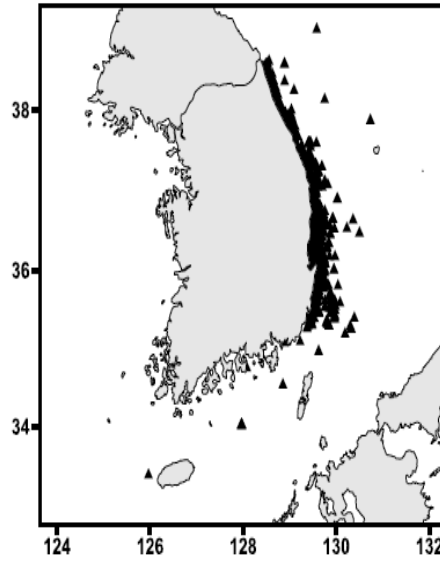
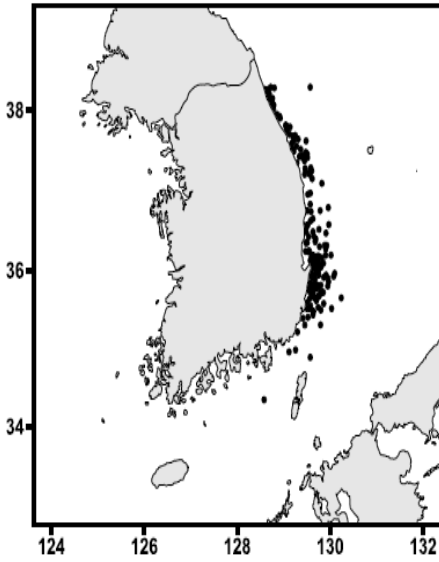


▷ 주요 출현 생물별 청각역치(민감도) 및 주파수 대역을 고려하여 예측평가 필요

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



해양포유류 분포



돌고래류 목시 확인(왼쪽), 돌고래류 혼획 구역(오른쪽)

고래류 출현의 핵심구역
(Yoo et al., 2023)





III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



저감방안

분야	저감 방안	적용 여부				
		반딧불	귀신고래	해울이	KFW	문무바람
해양조류	실시간 모니터링 시스템 적용	✓	✓	✓	✓	✓
	조류회피 유도시스템 적용	✓	✓	✓	✓	✓
	Ultraviolet paint(자외선 페인트) 적용	✓	-	-	✓	✓
	Airgap 확보	21m	23m	27m	22m	17m
해양포유류 및 파충류, 수중소음	공사 전 사전 경고음 발생 (Acoustic Deterrent Devices, ADD)	-	✓	-	✓	-
	항타시 Soft Start 절차 적용	-	✓	✓	✓	✓
	케이블 매설 깊이	-	-	2.0m	1.0m	2.0m
부유사	공사 시 ROV 사용	-	✓	✓	✓	✓
	공사 시 오탁방지막 적용	-	-	✓	✓	✓

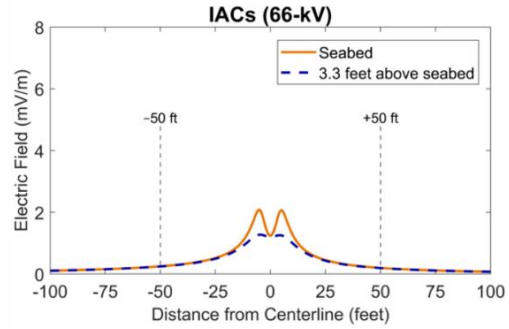
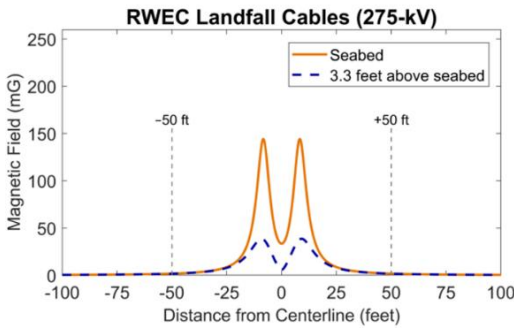
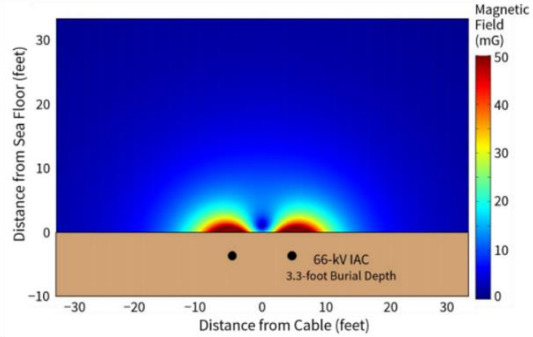
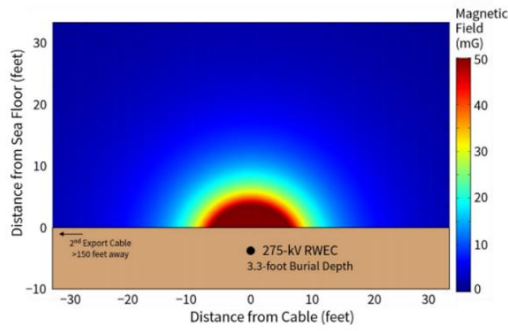
해양포유류 사전 경고음 발생 장치

Type	Frequency range	Marine mammal	Figure
NCT Guard	60 ~ 120 kHz	Dolphin	
NCT Shield	60 ~ 120 kHz	Dolphin	
NCT Shield	3 ~ 12 kHz	Whale, Dolphin	
NCT Shield	3 kHz	Whale	

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



전자기장



- ▷ 전자기장 발생으로 인해 지구자기장을 이용하여 이동하는 어류나 해양포유류의 행동 및 회유에 교란 가능성
 - > 사업 전 배경 전자기장 측정 및 운영 시 전자기장을 비교분석을 통한 영향 파악 필요
 - > 전자기장 감쇠 효과에 대한 근거를 명시 필요
 - > 해양송전선로와 해양변전소 주변에서 발생하는 전기장 노출을 최소화할 수 있는 차폐장치 설치 필요

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



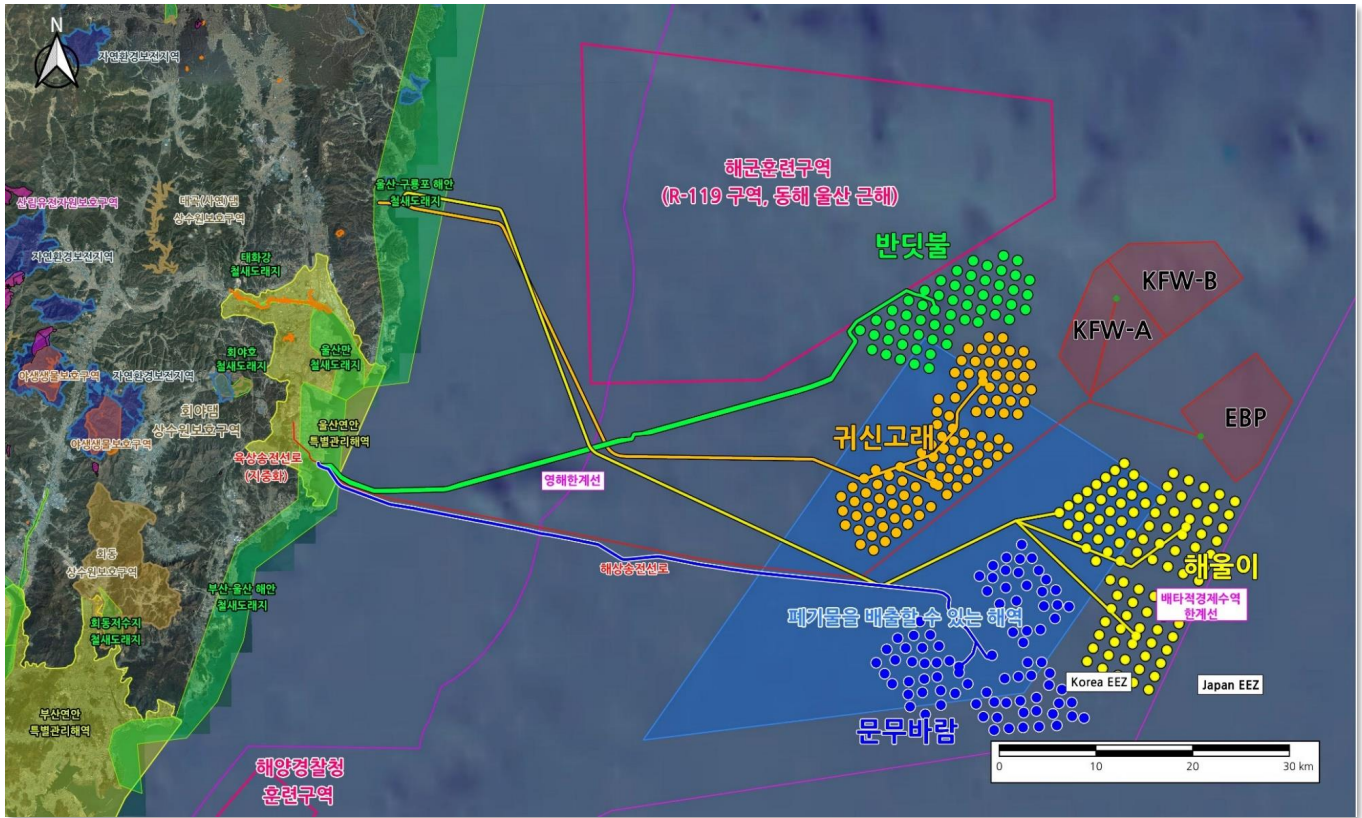
환경영향평가서 초안과 달라진 사항

구 분	환경영향평가서(초안)	환경영향평가서(본안)
위치도		
검토 개요 및 특징	▷ 사업지구 주변 발전단지(반딧불, 귀신고래) 경계부로 해상 송전선로 북측 배치 - 환경영향평가서 초안 시 제시(안)	▷ 해상교통안전진단에 따른 주통항로 경계로 해상송전선로 남측배치 - 사업지구 주변 사업자의 해상교통안전진단 결과와 지형조사 결과반영 - 배타적 경제수역(EEZ) 경계와 약 1km 이격 배치
장 점	▷ (KFW) 환경영향평가서 초안 시 해상교통 안전진단결과 선 반영 - 조사지점 및 조사결과 신뢰성 확보	▷ 해상교통안전진단 결과 반영에 따라 해상송전선로 공간 확보 용이 ▷ 인근 사업자(문무바람)과 평행한 선로계획으로 해저면 저축 범위 최소화 ▷ 인근 사업자간 송전선로 선형 교차 최소화(1회)
단 점	▷ 인근 사업자 해상교통안전진단 결과 미 반영 ▷ 인근 사업자간 송전선로 선형 교차(3회 이상)	▷ 해상송전선로 선형 변경으로 인한 추가조사 필요 - 남측 해상 송전선로에 대한 추가 조사 실시 (해양수-저질, 해양생태계, 해산어류 등)
선정(안)	-	◎

III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



환경영향평가서 초안과 달라진 사항



III. 울산 부유식 해상풍력 해양환경영향평가



국내 부유식 해상풍력 발전사업의 해양환경영향평가의 시사점

- ▷ 동해 부유식 해상풍력 발전단지는 폐기물 배출해역, 어업권, 해양보호생물 서식처와 공간적인 입지가 상충되므로 이에 대한 **입지 타당성 및 저감대책** 제시 필요
- ▷ 해양환경에 대한 영향을 평가할 때, 해역이용영향평가서 작성 가이드라인을 이용한 **표준화된 방법을 활용**하여 공동조사를 통해 누적영향을 파악하는 등 조사방법의 효율화 필요
- ▷ **실제 어업에 활용하는 어구와 어업**을 사용한 어류 및 수산자원에 대한 출현량 조사 필요
- ▷ **수중소음과 전자기장**의 경우 연구 사례가 충분하지 않고 국내 기준이 마련되어 있지 않은 실정으로 과학적 연구를 통해 **국내 기준 마련** 필요

사후환경영향조사 통합 시행

- ▷ 대규모 해상풍력발전단지 조성으로 인한 **실질적인 누적영향 파악**
- ▷ 종합적이고 일관된(조사방법, 조사시기 통일 등) 조사결과를 통해 **신뢰성 높은 기초자료 확보**
- ▷ 통합 시행시 **조사결과 활용의 증대, 통합보고서 작성** 필요
- ▷ 선결과제: 사업자별 대행업체 선정, 각 개발사간에 공사 및 운영 시기 상이한 점을 일치시켜야 함

감사합니다

해양 조류의 현황과 해상풍력이 조류에 미치는 영향

에너지전환포럼 국제세미나

2024. 4. 25. 13:00~17:40 프레지던트 호텔

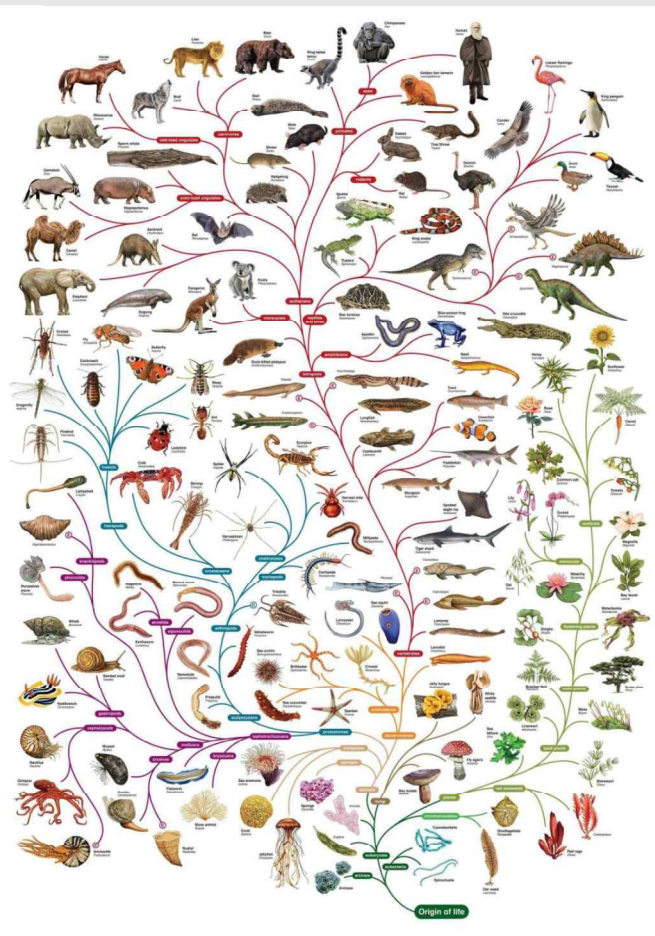
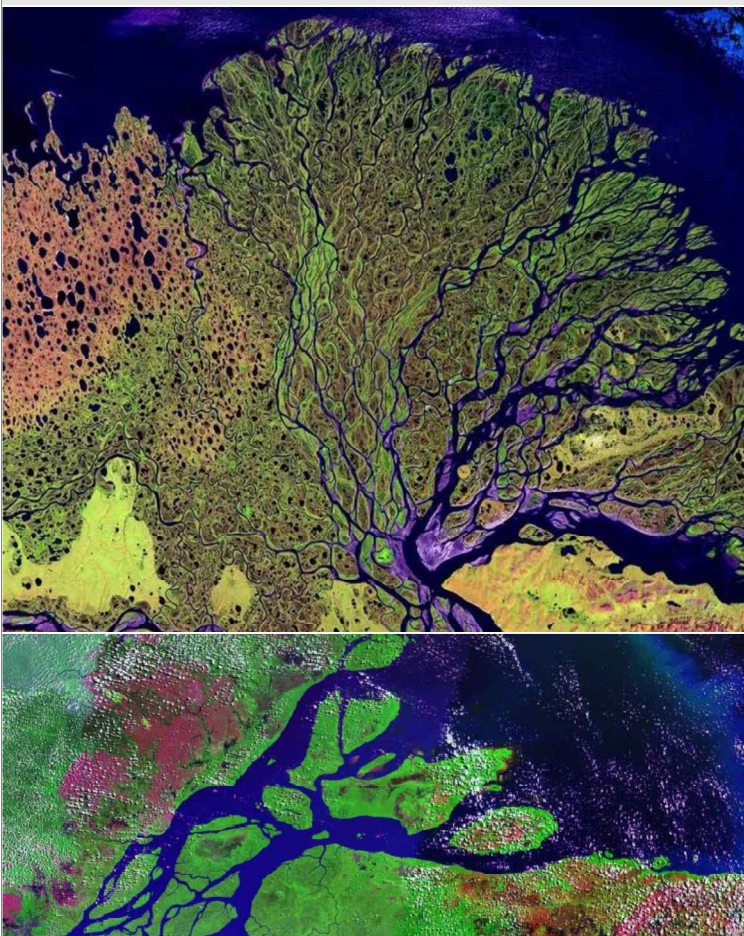
물국토연구본부 자연환경연구실

이후승 연구위원

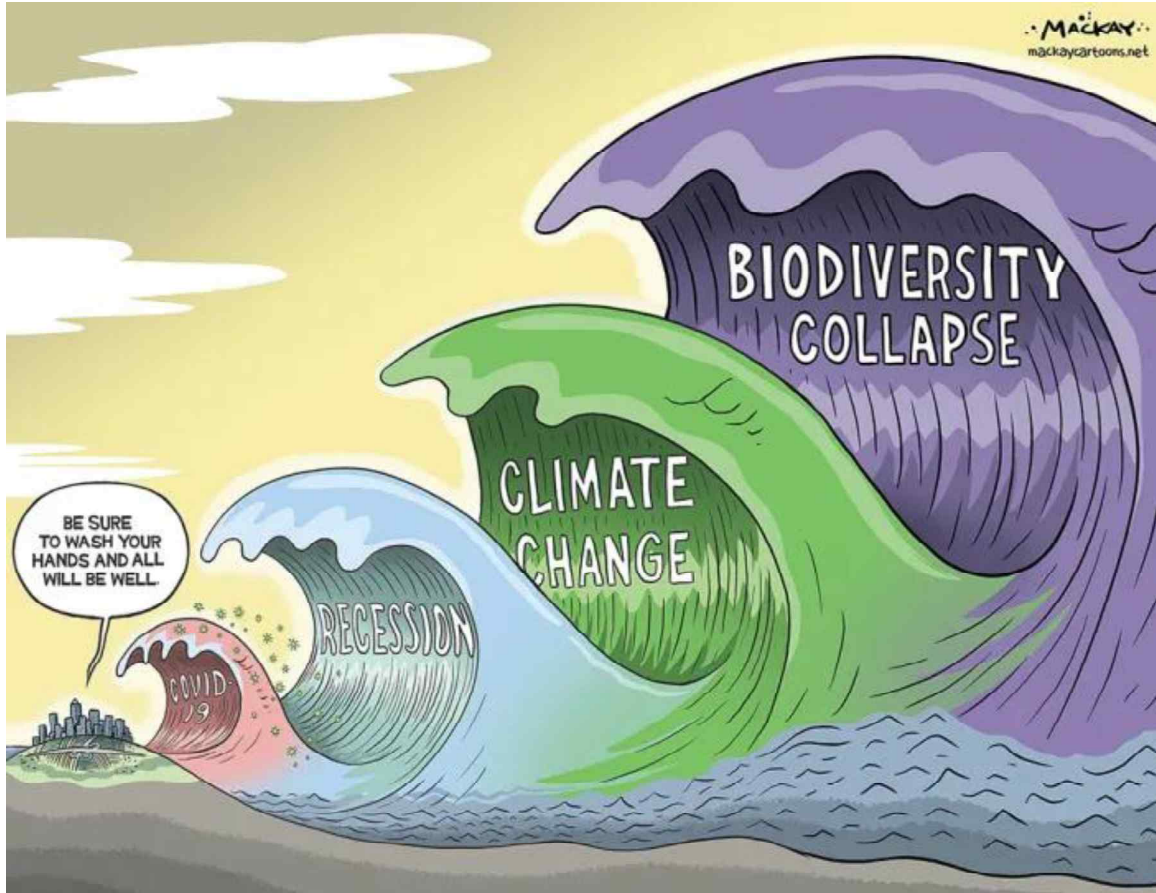
wslee@kei.re.kr



생물자원의 다양성

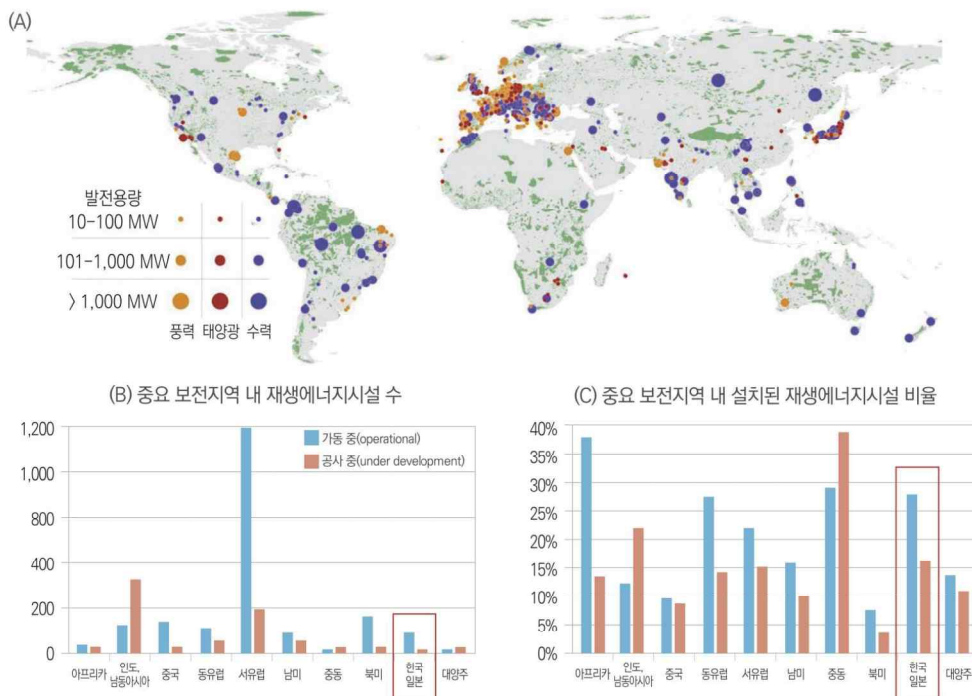


기후변화와 생물다양성의 위기



자료: <https://mackaycartoons.net>

재생에너지 확대 우선이 초래한 생물다양성 악화

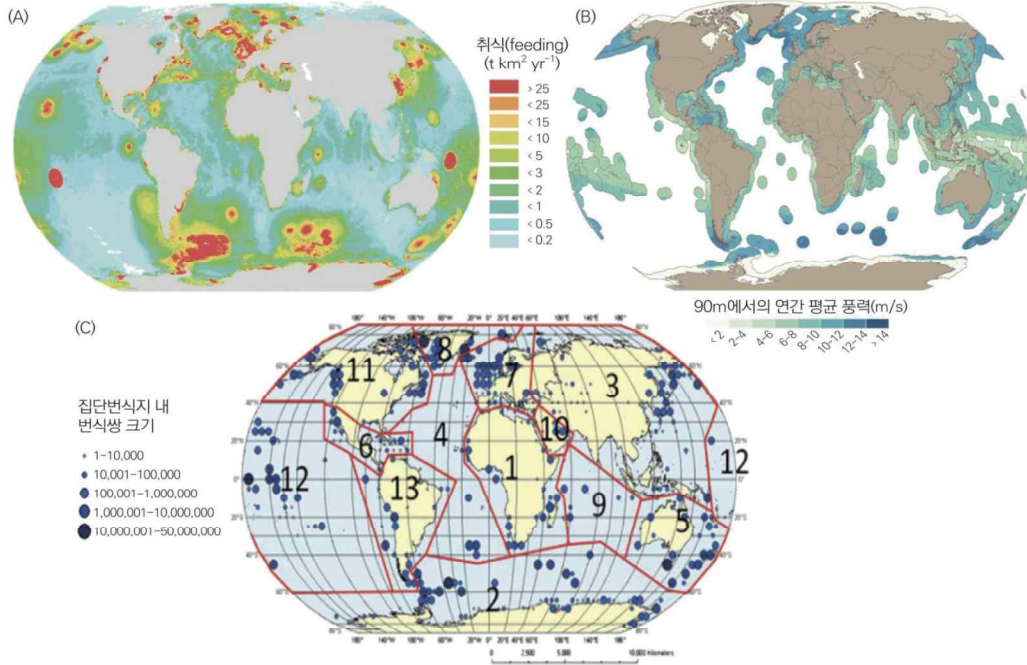


- 전 세계적으로 설치된 12,658 개소의 대규모(10MW 이상) 신재생에너지 시설 중 **2,206개소 (17.4%)가 주요 보호지역에서 운영중**이며, 3,129개소가 공사 중 또는 운영 예정으로 서식지 기반의 생물다양성 측면의 부정적 영향이 증가
 - 풍력발전의 경우 1,047개소(8.3%)가 주요 보호지역에서 운영 중이며, 309개소가 공사 중 또는 운영 예정임
 - 재생에너지 확대 우선의 정책방향으로 인한 생물다양성에 대한 영향이 심화
 - 사업추진의 “불가피성” 우선에 따른 영향 악화 초래

갈등의 시작: 해상풍력발전과 조류의 높은 공간적 연계성



- 조류에 미치는 영향은 **풍력발전단지가 건설되는 순간부터 발생**
 - 발전기와의 직접적인 충돌과 장벽효과 등에 따른 이동경로 변경 등 간접적인 영향 초래
- 해양의 공간적 특성으로 인하여 **충돌 사망률에 대한 정보는 제한적임**
 - 바다에서의 탐지가 매우 어렵기 때문에 현황자료 확보의 한계성 존재



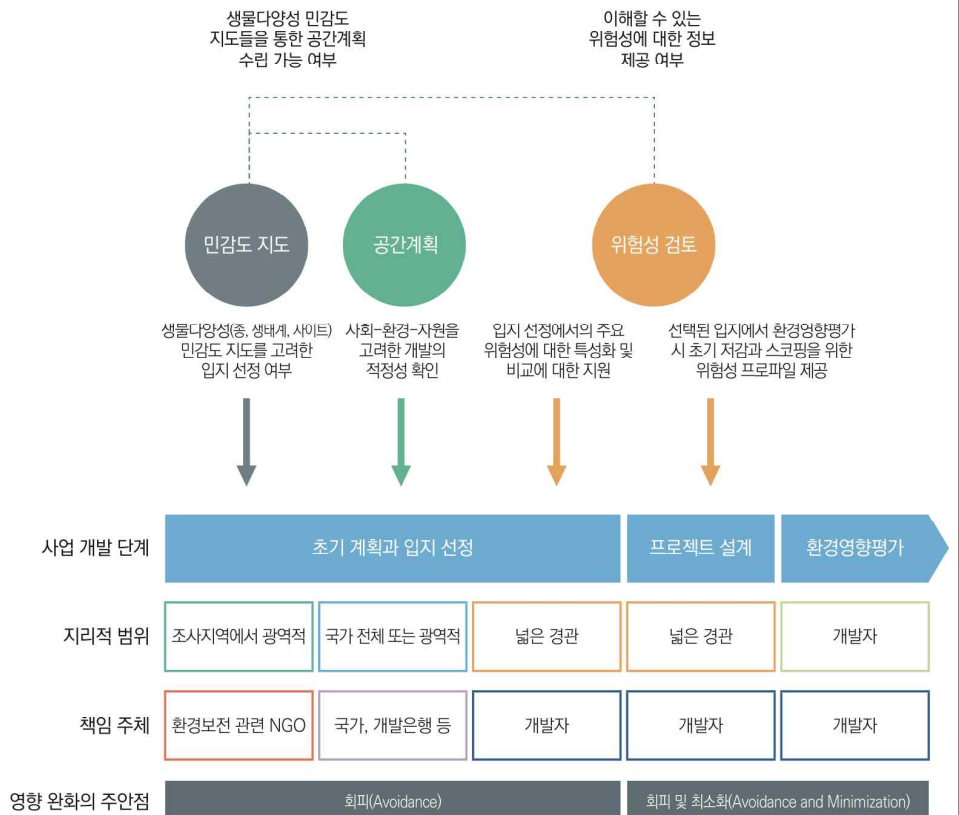
자료: 이후승, 정승기(2021)

재생에너지 확대와 생태계 보전을 위한 사전예방적 노력



• 국제자연보전연맹(IUCN)에서는 해양성 조류의 서식역과 해상풍력발전의 **입지 조건이 서로 동일** 하기 때문에 **계획 수립 단계에서부터 생태환경적 요소를 고려해 야함을 제시함**

- 탄소중립을 위한 해상풍력발전 등 재생에너지 전환 추진 과정에서 설치, 운영이 미흡할 경우, **재생에너지 확장이 오히려 생물다양성의 추가적인 손실과 생태계 서비스의 붕괴를 초래**할 수 있기 때문에 환경영향을 방지, 최소화 및 상쇄하기 위한 방안 마련이 필요
- 특히 해상풍력발전사업의 환경영향 회피, 저감방안 마련 단계에서 지속 가능한 에너지 및 생물다양성 목표를 달성하기 위해서는 **사업 초기 계획단계에서 위험성 지도 등을 이용한 평가를 함께 고려**하는 것을 제안

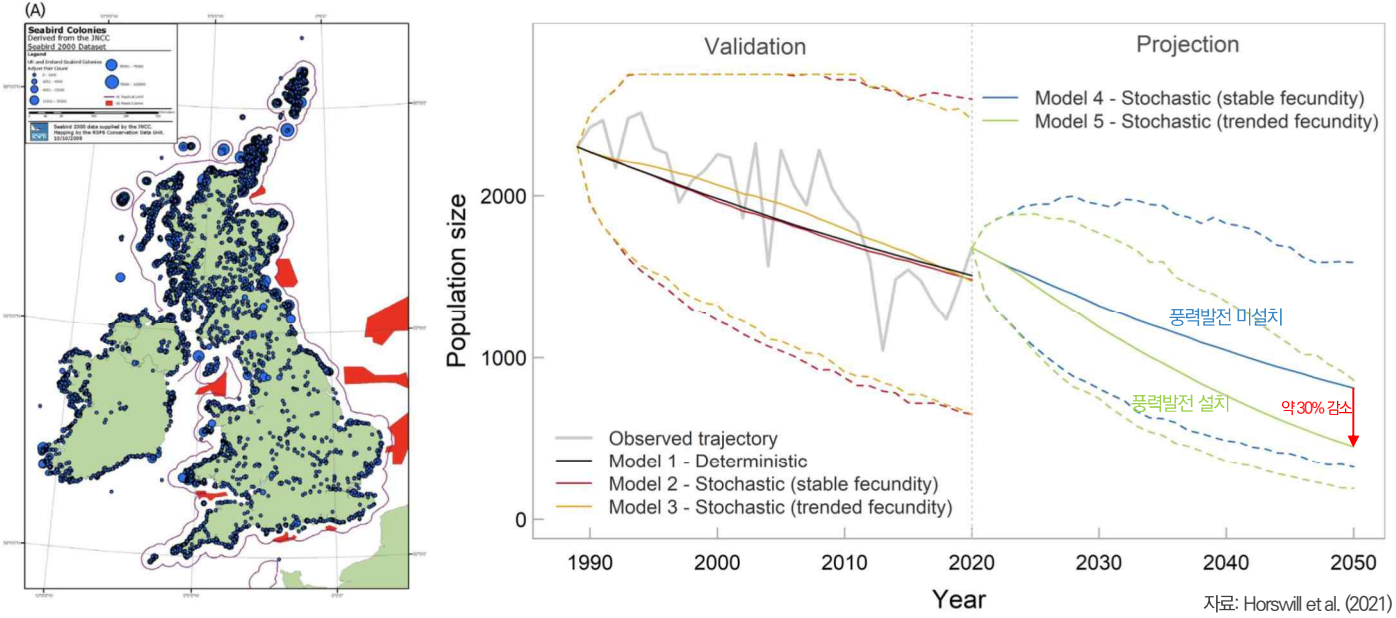


자료: KEI포커스(KEI, 2021)

해양성조류 번식지에 대한 사전예방적 입지 제한 노력



- 해상풍력발전 선도국(덴마크, 독일 등)의 경우, 해상풍력발전단지를 **영해(12해리) 보다 먼 바다에 우선적으로 설치**하고 있어 자국내 해양생태계에 미치는 영향을 최소화함
 - 영국은 해양성 조류의 번식도서에서 **최대한 이격된 공간을 입지역으로 선택**함으로써 영향을 최소화
 - 번식도서에 인접하여 설치된 일부 발전기는 해상풍력발전 기술개발 초기(국가계획 수립 이전)에 설치된 것으로 사료



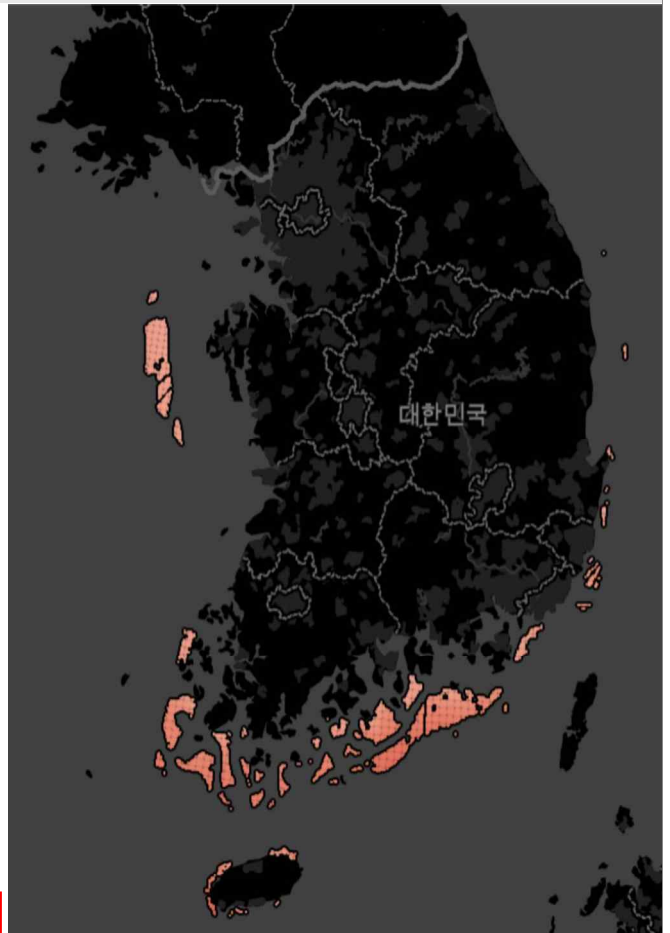
국내의 경우 법적 규제만을 고려한 해상풍력발전 잠재량 추정



풍력발전 규제정책 배제요인

대분류	소분류
용도지역	자연환경보전지역, 경관지구, 미관지구, 방화지구, 방재지구, 보존지구, 취락지구, 공항, 도심지
문화재지역	문화재보호구역, 국가지정, 시도지정, 등록문화재
생태자연도, 백두대간 보호구역	생태자연도 1등급, 생태자연도 별도관리지역, 백두대간 보호구역
개발불가지역	야생동물보호구역, 천연기념물서식지, 휴전선, 민간인통제지역, 환경보전해역, 자연공원, 갯벌, 항로, 케이블, 해저케이블, 항만, 수자원보호구역, 지역계획절대보전, 특별관리해역, 어장, 어초, 사격훈련/연평도/NLL

도로, 철도 이격거리, 국토환경성평가표 1등급



해상풍력 지자체별 이론적-기술적-시장 잠재량 산정 결과	지역	설비용량 (GW)		
		이론적	기술적	시장
	전라남도	125.6	125.0	12.0
	인천경기	70.2	69.1	6.2
	제주특별자치도	54.9	54.9	1.4
	경상북도	44.5	18.7	1.5
	충청남도	41.4	41.3	6.7
	경상남도	32.3	32.3	6.6
	전라북도	20.4	20.1	3.4
	강원도	22.8	10.1	0.7
	부산광역시	10.2	10.2	1.5
	울산광역시	4.8	4.8	0.7
	전체	427.1	386.5	40.7

자료: 2020 신재생에너지 백서(산업부, 2020)

국외의 경우, 바닷새 등 주요 종 생태 빅데이터 기반의 입지정보 제공

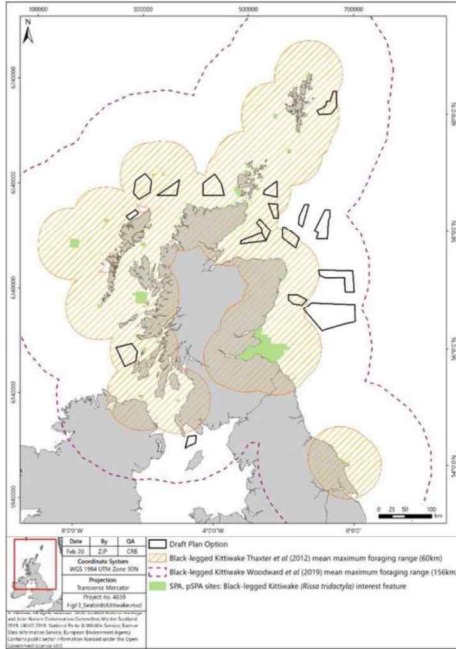


Figure 2. Black-legged kittiwake SPA foraging buffers

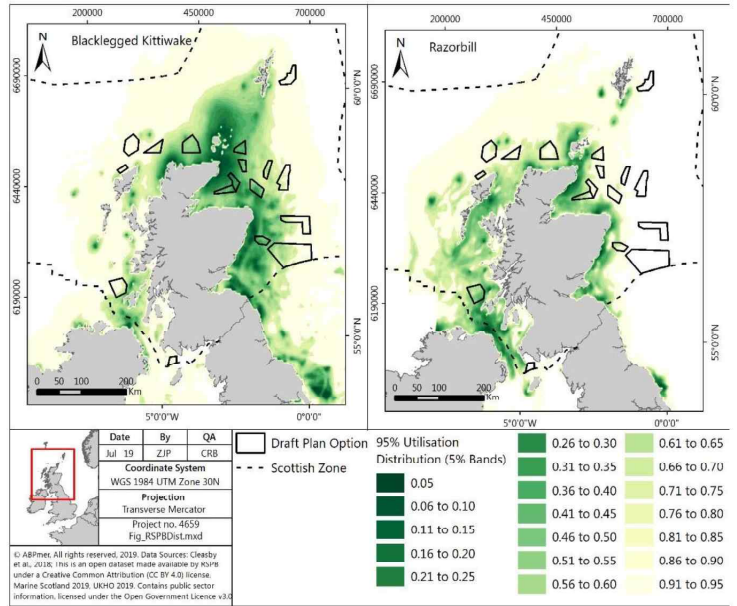
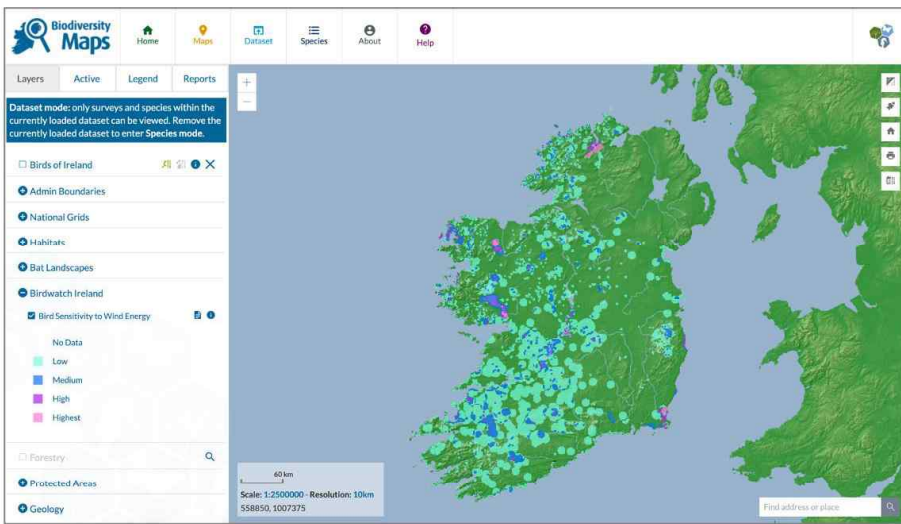


Figure 4. Black-legged kittiwake and Razorbill utilisation distribution data

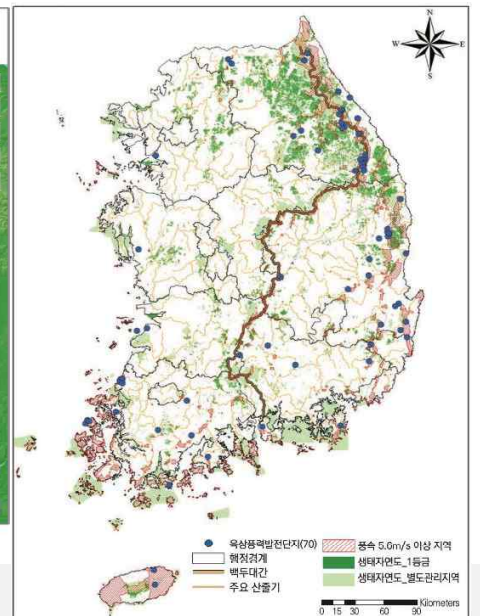
해상풍력발전 사례

- 유럽 등 재생에너지 선진국가에서는 **장기간의 중요 생물상 모니터링을 실시**하고, 결과를 토대로 해상풍력발전 사업 추진에 앞서 영향을 최소화하기 위한 **입지타당성 평가를 실시**
- 조류, 어류, 해양성 포유류, 법정구역 등 각 항목별 **중요 지역을 도출**하고 이를 중첩하여 해상풍력발전 설치로 인한 환경적으로 민감한 지역을 **consideration zone으로 도출**

(갈등사례) 국내의 경우, 생태특성이 충분히 고려되지 못한 정보화



출처: <https://maps.biodiversityireland.ie/Map>, <https://www.energia.ie> 참조



힌거레

사회 환경

산지 풍력발전은 환경파괴·생태교란? 꼭 그런건 아니다

가동 14년째 황성 태기산 풍력발전단지 가보니
 멸종위기종까지 능선부 관리 도로로 이동 활발
 단지 주변 생태자연 1등급지 7년만에 40% → 70%
 "탄소중립 위한 환경훼손 놓고 '그린 빅딜' 필요"

기사 강경순

수정 2021-07-26 16:44 등록 2021-07-24 04:59



태기산 육상풍력발전소 주변 지역 생태자연도 등급이 발전소 설치 이전에 비해 개선됐다. 제공: 환경부

데이터수집 ≠ 정보화

국외에서는 지속가능한 조사체계 기반의 장기모니터링 수행



○ (사례) 장기간(최대 50년 이상)의 선박조사를 통한 해양성 조류 빅데이터 구축

- 기후변화, 생물다양성 정책 및 해상풍력 등의 해양개발 사업에서의 영향예측에서 데이터 기반의 평가와 정책지원 정보제공 체계 운영
- 국내의 경우, 입지선정 과정에서 조류에 대한 **자료와 평가방법의 미흡함으로 갈등 지속**
 - 조사자료의 미흡 vs 정책에 필요한 정보(information) 도출의 한계성

Country	1970-79	1980-89	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019						
Norway - North Sea																																						
UK																																						
Netherlands																																						
Belgium																																						
Germany (North)																																						
Germany (Baltic)																																						
Denmark																																						
Poland																																						
Lithuania																																						
Latvia																																						
Estonia																																						
Russia																																						
Finland																																						
Sweden																																						

유럽 북해 및 발트해 주변의 국가에서 수행중인 선박을 이용한 해양성조류 모니터링 실시(파란색 - 모니터링 수행, 오렌지색 - 국가지원으로 수행)

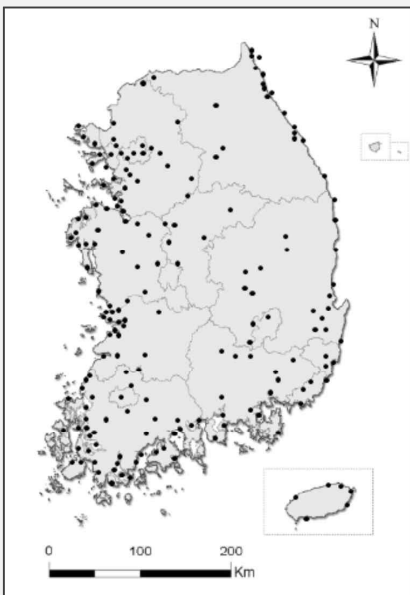
자료: Birdlife International

국내 조류조사는 육상중심으로 추진되어 해양기반은 매우 미흡

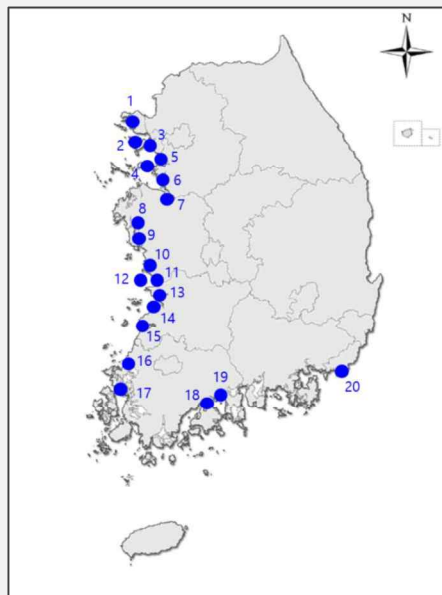


○ 국립생물자원관, 국립생태원 등 환경부에서 수행한 조사자료 이용

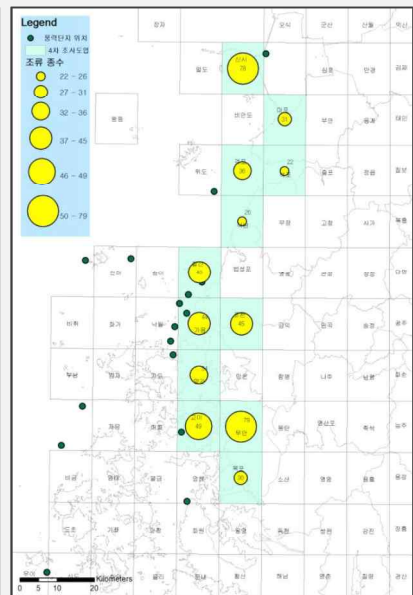
- 최근 해상풍력발전 사업 확대에 따른 현황 분석 객관성 확보 제기
- (한계성) 육상을 기반으로 조사가 수행되어 해양공간에서의 조류현황을 분석하기 어렵고, 육상에 인접한 공간에서의 환경영향을 평가함



(국립생물자원관) 겨울철조류동시센서스



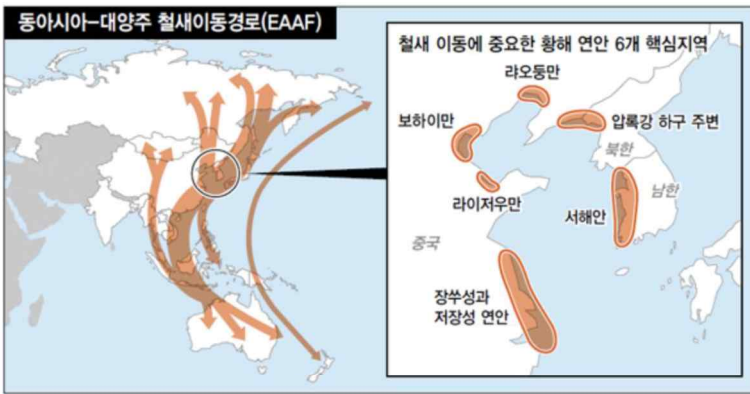
(국립생물자원관) 도요물떼새 도래현황 연구



(국립생태원) 전국자연환경조사

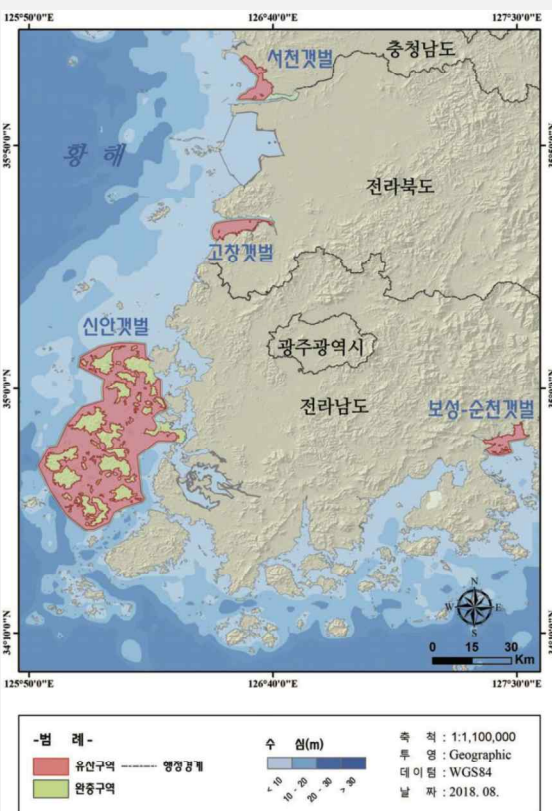
왜 조류(새) 이동과 서식역으로서의 한반도는 중요한가?

- 월동조류, 섭금류 및 여름철새 등의 중요 서식지로서의 한반도
 - 일년내내 다양한 생활사(life-history)를 가지는 조류들이 한반도를 이용
- 육상-해상에서의 개발과 국제적인 철새 이동·번식에 중요한 서식역이 중첩함으로 인한 환경적 갈등 초래



국제사회가 인정한 조류서식지로서 한반도의 중요성

- 국제적으로 인정받은 멸종위기 이동성 조류의 중간기착지로서의 한국의 갯벌



한국의 갯벌, 유네스코 세계자연유산에 등재

- 등재기준(viii)**
생명의 기록이나 지형 발전상의 지질학적 주요 진행 과정, 지형학이나 자연지리학적 측면의 중요한 특징을 포함해 지구 역사의 주요한 단계를 입증하는 대표적 사례여야한다.
문순환경에 놓인 대조차 섬갯벌의 유일한 사례로 지난 8,500년 동안 매우 안정적으로 유지된 지질다양성의 결과 세계에서 가장 두꺼운 홀로세 펄 퇴적층이 집적된 지역이다. 따라서 역동적인 연안 과정으로 생성된 신정유산의 높은 지질다양성은 매우 중요하며 탁월한 가치이다.
- 등재기준(x)**
육상, 민물, 해안 및 해양 생태계와 동식물 군락의 진화 및 발전에 있어 생태학적, 생물학적 주요 진행과정을 입증하는 대표적 사례여야한다.
모래, 펄, 일반 서식지가 다양한 형태로 어우러진 다면생태계로 생물군집이 독특하게 진화되어 온 대표적인 사례이다. 각 서식지의 다른 기질들에서는 독특한 생물군집이 진화하여 현재의 역동적인 군집을 이루고 있고, 이들을 섭식하는 물새가 핵심종인 군집으로 진화되었다.
- 등재기준(x)**
과학이나 보존의 관점에서 볼 때 탁월한 보편적 가치를 지니지만 현재 멸종위기에 처한 종을 포함한 생물학적 다양성이 존재하는 현장을 보존하기 위해 가장 중요하고 의미가 큰 자연 서식지를 포함해야한다.

황해의 생물다양성을 유지하고 전 세계 3대 주요 철새이동로 가운데 가장 큰 위험에 처한 이동로 중 하나인 황해지역에서 국제 멸종위기철새종을 부양하는데 결정적 역할을 담당하고 있다. 넓적부리도요(유급종, CR)와 같은 22종의 IUCN 적색목록 종을 포함한 물새들의 번식, 번식, 휴식을 위한 최적의 장소이다. 따라서 동아시아-대양주 철새이동로의 핵심 중간기착지로서 역할을 하고 있다.

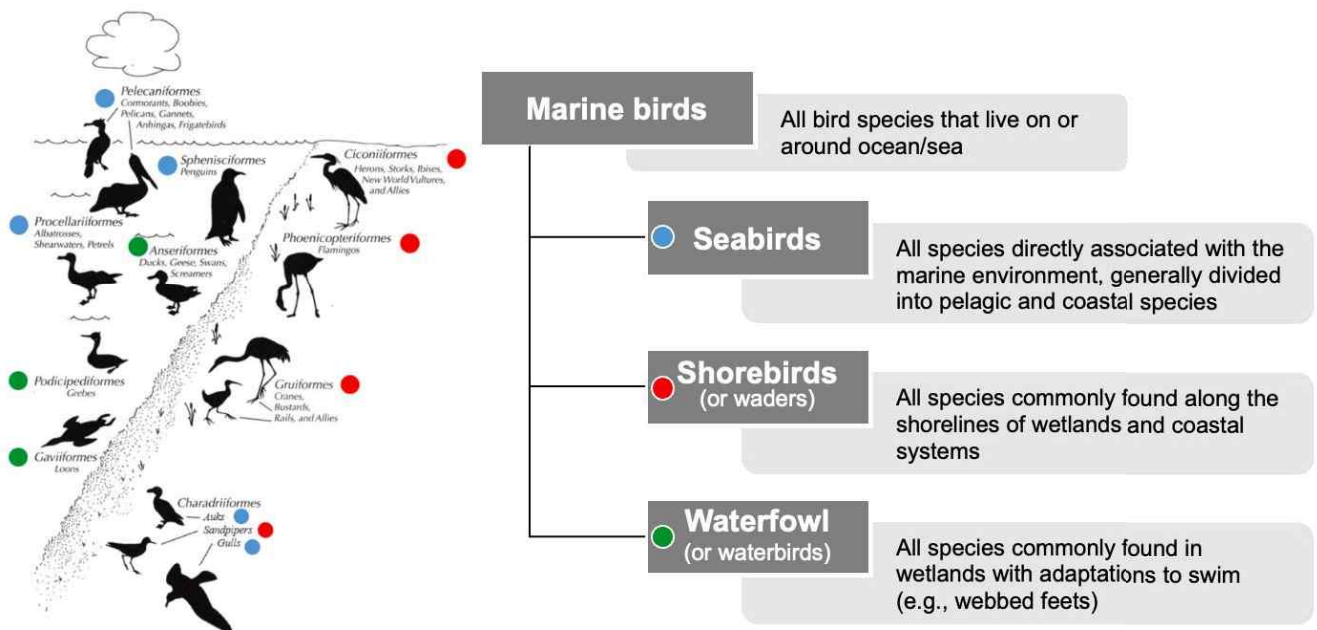
왜 기후변화, 생물다양성 등에 있어 조류(새)가 중요하나?

- 환경적 건강성을 확인할 수 있는 **생태적 바로미터(barometer)** 중 하나임
 - (사전예방) 조류는 환경 변화에 매우 민감하기 때문에 조기 경보 시스템 역할을 할 수 있음
 - (핵심종) 먹이사슬로 연결된 다양한 분류군들의 영향을 파악할 수 있는 중심종
 - (생태계다양성) 육상과 해상 등 모든 서식지, 즉 모든 생태계를 이용하며 계절에 따라 분포범위가 달라짐
 - (이동) 지구내 이동범위가 매우 다양하기 때문에 종내 및 종간의 변화를 반영
 - (주야간) 주간 및 야행성 특성을 모두 가지고 있어 시간적 변화를 파악하는데 유리
 - (행동식별) 환경변화에 개체군의 크기와 행동변화를 바로 확인할 수 있어 유리



해양성조류(Marine birds)에 대한 이해

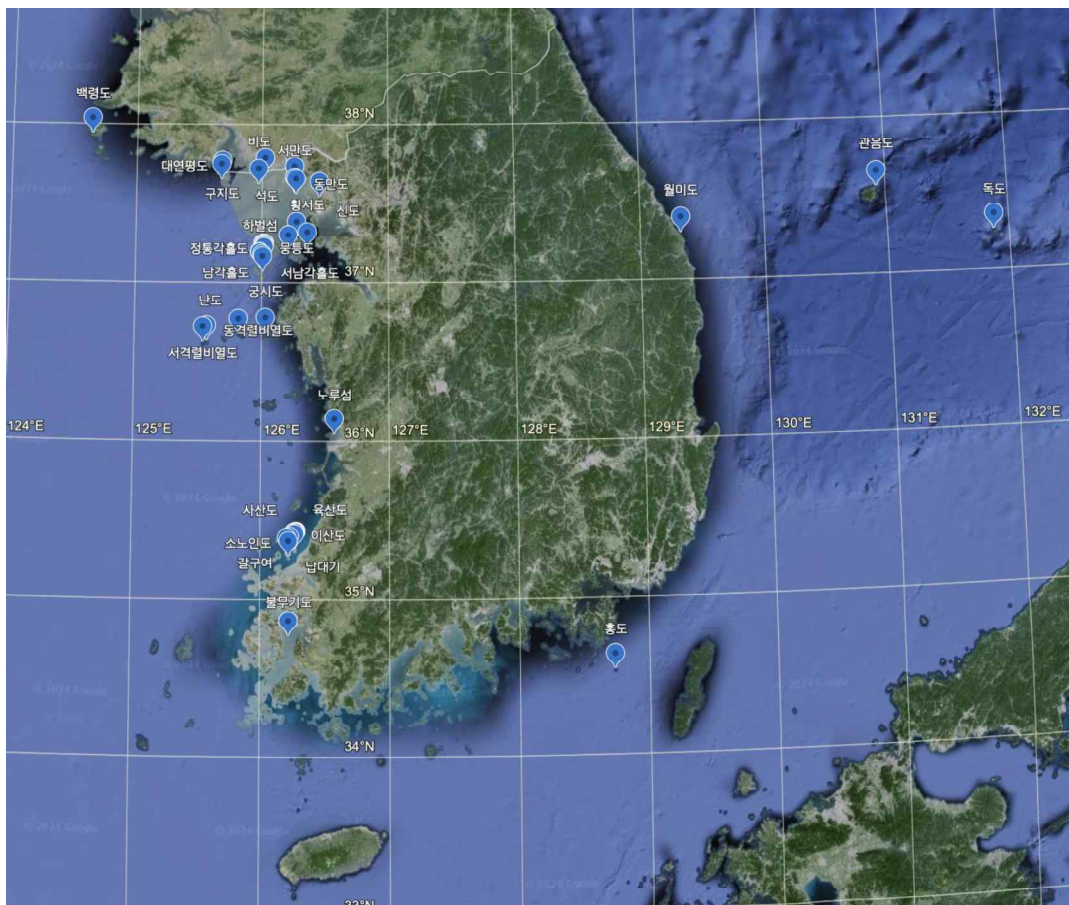
- 조류의 분류체계에 있어 서식역에 따라 크게 육상조류와 해양성조류로 구분함
 - 해양성조류는 해양에서 번식, 서식, 취식, 이동 등 해양공간을 이용하는 모든 조류를 포함
 - **해양성조류 중 하나가 바닷새**이며, **집단번식**을 하는 독특한 생활사적 특성이 있음



왜 해양성 조류(Marine birds)가 중요한가?

- 조류의 분류체계에 있어 서식역에 따라 크게 육상조류와 해양성조류로 구분함
 - 해양성조류는 해양에서 번식, 서식, 취식, 이동 등 해양공간을 이용하는 모든 조류를 포함
 - 해양성조류 중 하나가 바닷새임
- 해양성 조류가 소멸된다면?
 - 해양성 조류의 포식은 소비하는 어류의 개체 수를 조절하는데, 포식압과 배설에 따른 영양입력은 해양 생태계 균형을 유지하는데 기여하기 때문에,
 - (직접적인 기여) 일시적 포식압의 감소는 어류개체군 유지에 긍정적으로 판명될 수 있으나 영향은 지역에 따라 다름
 - (영양순환) 해양성 조류의 배설물은 질소와 인 같은 높은 수준의 영양소를 포함하고 있어 번식개체군 유입에 따른 긍정적 효과로서 강화된 영양소 투입에 따른 식물성 플랑크톤 및 어류개체군에 지원
 - (Tropical Cascade) 어류 개체군 조절 실패로 해양생태계의 잠재적 자원 경쟁 증가와 어류 군집 역학의 변화로 장기적으로는 개체군 지속성에 부정적인 영향 초래
 - 전반적으로 장·단기적인 측면에서 **해양성 조류의 감소/소멸은 해양생태계, 특히 해양어업활동 등에도 부정적인 영향을 초래**
 - 참고로, 해양성 조류가 섭취하는 어류는 전체의 약 7%에 불과하며, 실제 해양생태계에 대한 부정적인 영향은 인간의 수산활동에 따른 것이 높음

국내 주요 바닷새(seabirds) 집단 번식지(breeding colony) 현황



해양성조류 관련 국내 주요 장기 조류조사의 공간적 한계



○ 환경부 겨울철 조류동시센서스

- 시간적 범위: 1999년 ~ 현재
 - 매년 1월 동시조사 실시, 2014~2015년도 조사부터 12월과 1월 2회 실시
 - 국내 유일 및 아시아 최대규모 동시조사 프로그램으로 약 25년 간의 국내 유일 장기모니터링 자료
 - 공간적 범위: 조류서식지 200개소
 - 담수(호수)를 포함한 대부분의 중요 하구 · 연안 지역에서 물새류를 중심으로 모니터링 실시
- ※보고서 중심의 결과 제시로 정책활용성 미흡

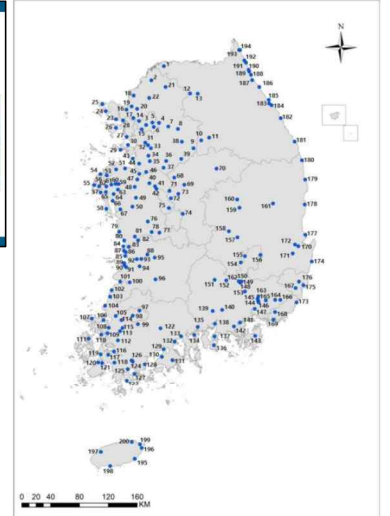
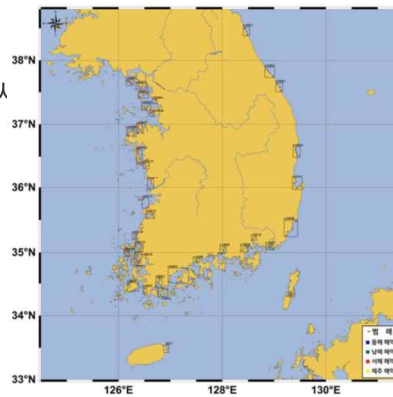


그림 II-1. 2022-2023년도 전체 조사 지역(200개소)

○ 해수부 국가해양생태계종합조사

- 시간적 범위: 2015년 ~ 현재
 - 격년으로 동부(동 · 남해) 및 서부(서 · 남해) 권역 조사
- 공간적 범위: 전 해역
 - 최초 12~13개소에서 최근 각 권역별 65개소 수행
- 바닷새조사
 - 35개 정점에서 중점조사 매년 실시(동/추계)

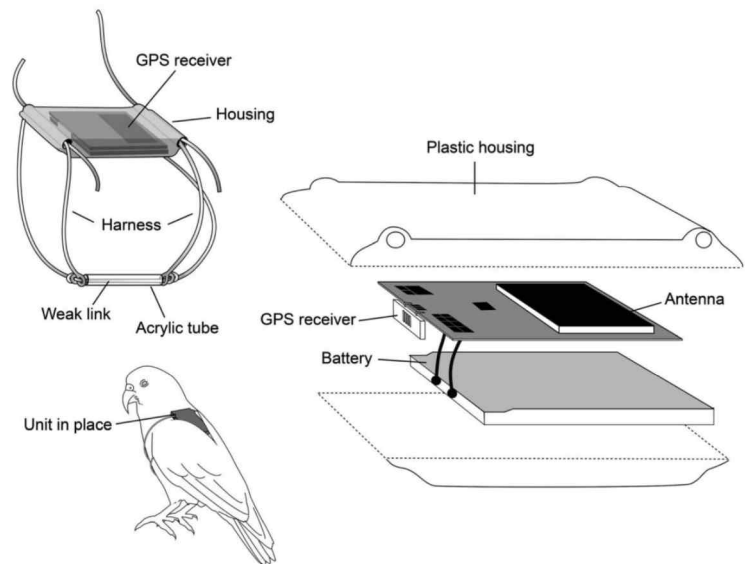


조류 위치추적 장치의 활용한 해양공간정보 구축

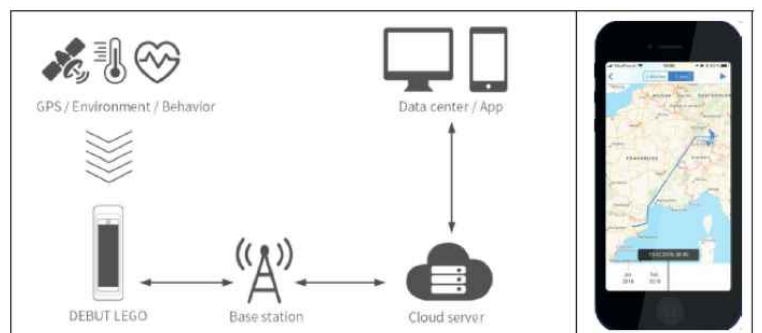


○ GPS위치정보 수집

- 태양열 충전방식
- 1s에서 다양한 간격으로의 위치좌표와 기초 환경데이터 수집
- GPS위치 좌표의 오차는 약 5m내외
- 일출, 일몰, 주변 광원여부, 온도 등
- 압력센서 - 행동(비행 또는 정지 여부)
- 비행현상 감지 시 설정에 따라 1s ~ 10min의 위치좌표 기록

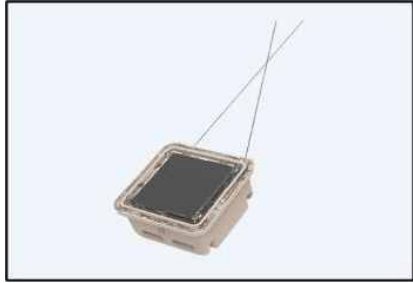


Bow net



조류 위치추적 장치의 활용한 해양공간정보 구축 (계속)

○ 연구대상종 포획 및 위치추적기 부착



Druid MINI

- 무게 : 5g (검은머리갈매기 전용)
- 최소 30분당 1회 공간데이터 수집 (좌표, 고도, 이동속도 등)



Druid Elex II

- 무게 : 10g (대상 개체 체중의 5% 이내)
- 최소 30분당 1회 공간데이터 수집 (좌표, 고도, 이동속도 등)



Bow net

※ 포획 지역 및 대상종 특성에 맞는 포획 방법을 이용



Cannon net

<https://waders.org.au>

해양성조류 공간이용 정보구축 조사 현황

○ KEI 중심의 해양성조류 공간이용 연구 추진

- (환경부) '21~'24.3 민간위탁사업으로 추진, (산업부) '17~'24.4 R&D 추진
- 갯이갈매기, 저어새, 알락꼬리마도요 등 해양성조류 14종 529개체 추적 (**약3억 자점 이상 수집**)



갯이갈매기



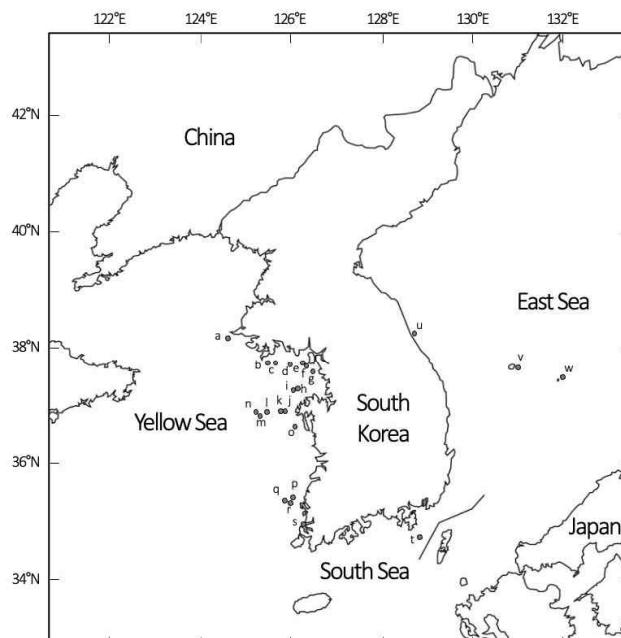
개평



중부리도요



큰뒷부리도요



검은머리물떼새



알락꼬리마도요

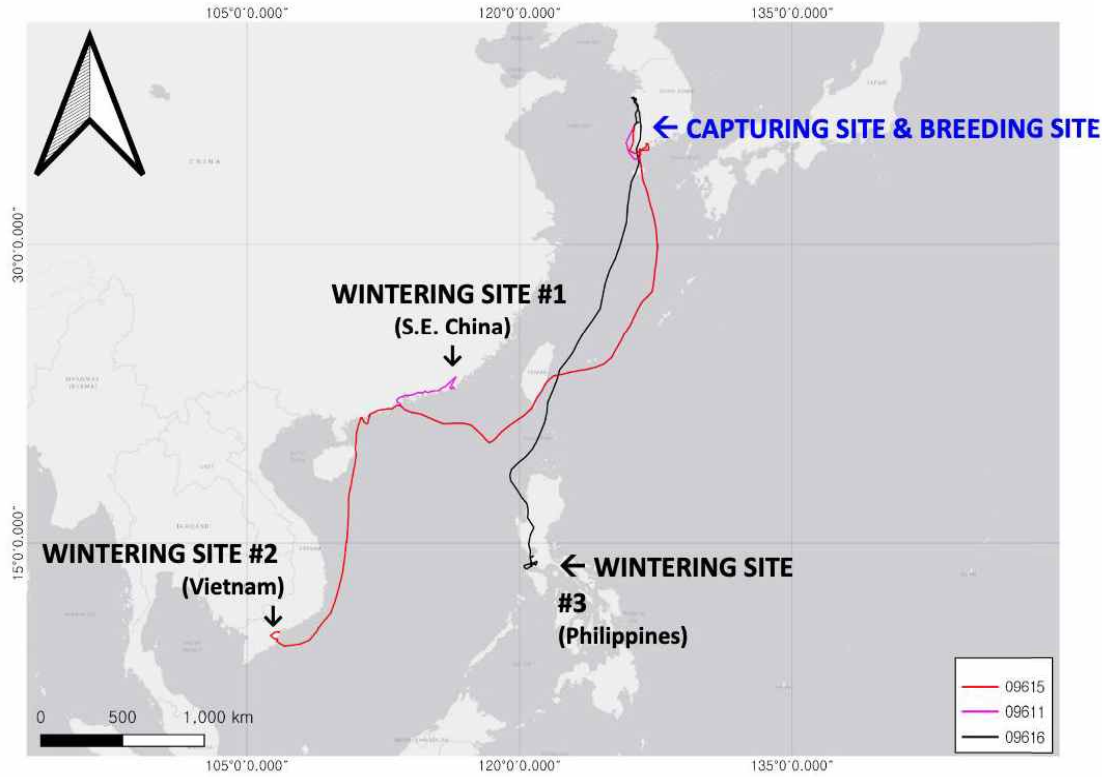


매



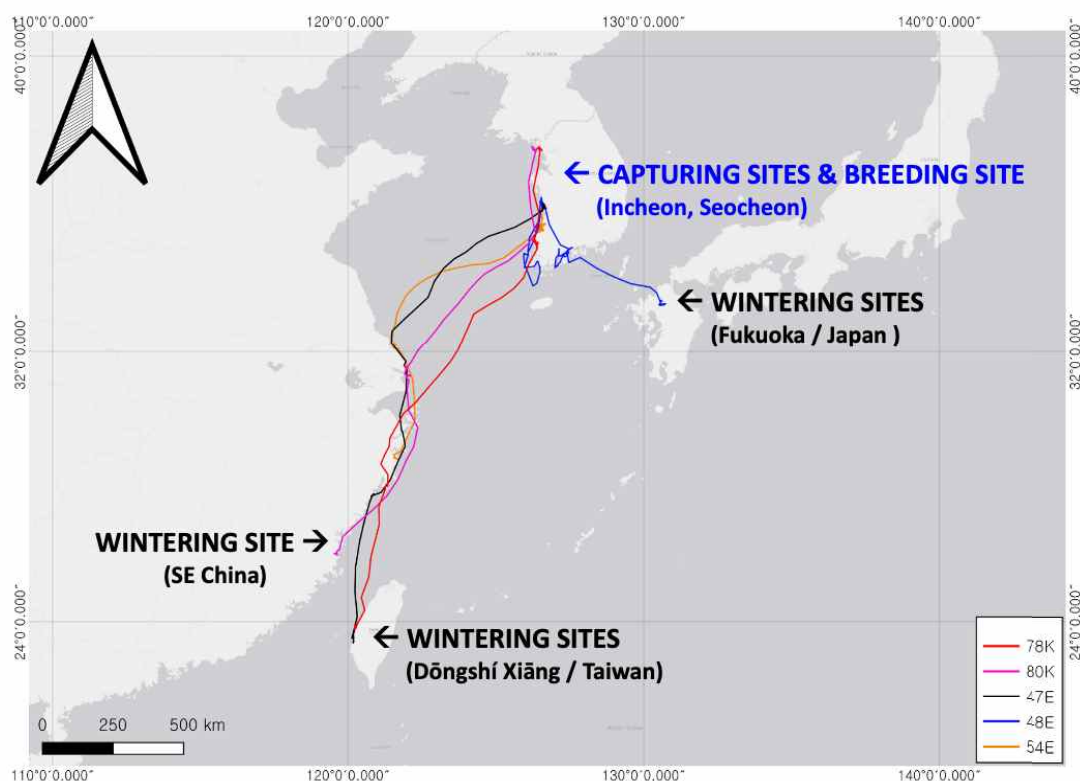
해양성 조류의 주요 이동경로 확인

○ 노랑부리백로(*Egretta eulophotes*) 유조 계절별 이동



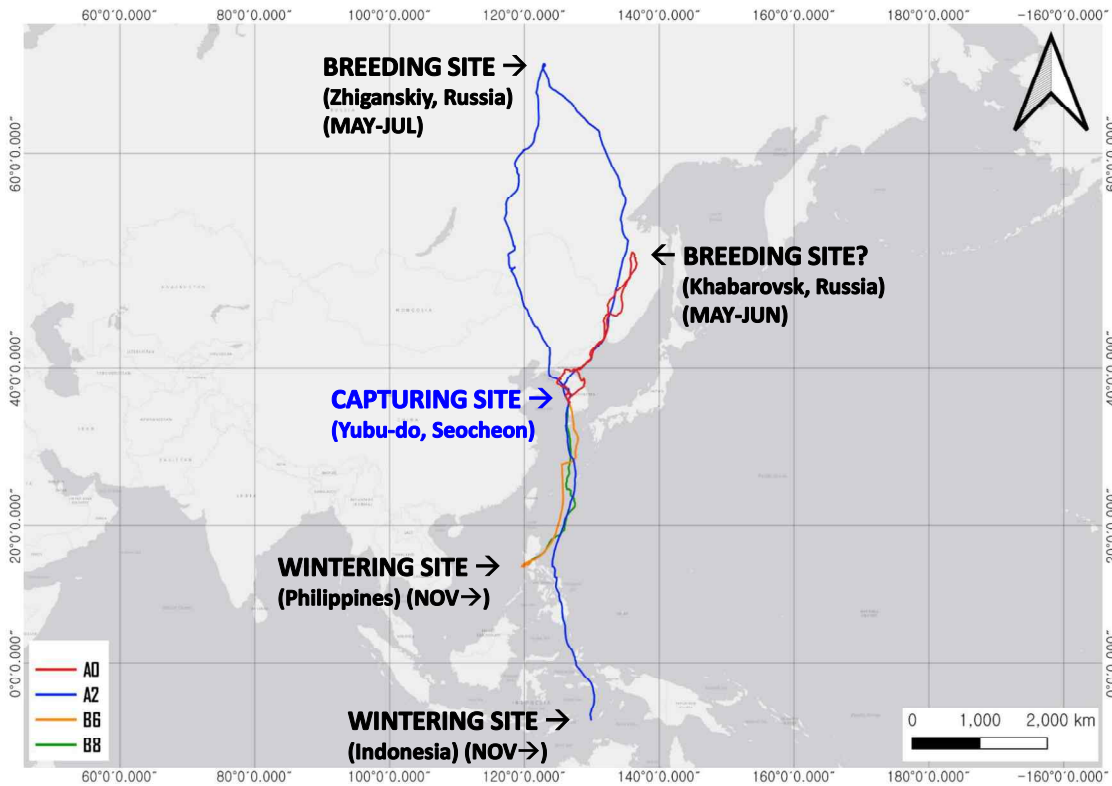
해양성 조류의 주요 이동경로 확인 (계속)

○ 저어새(*Platalea minor*) 유조 계절별 이동



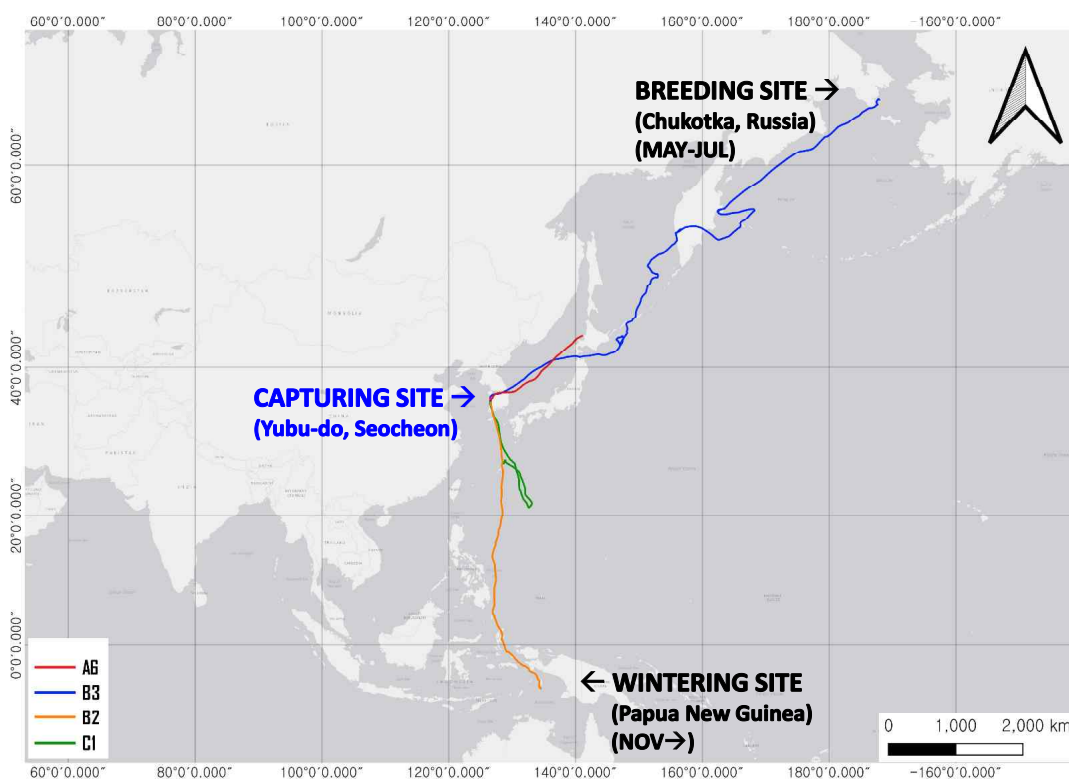
해양성 조류의 주요 이동경로 확인 (계속)

○ 알락꼬리마도요(*Numenius madagascariensis*) 계절별 이동



해양성 조류의 주요 이동경로 확인 (계속)

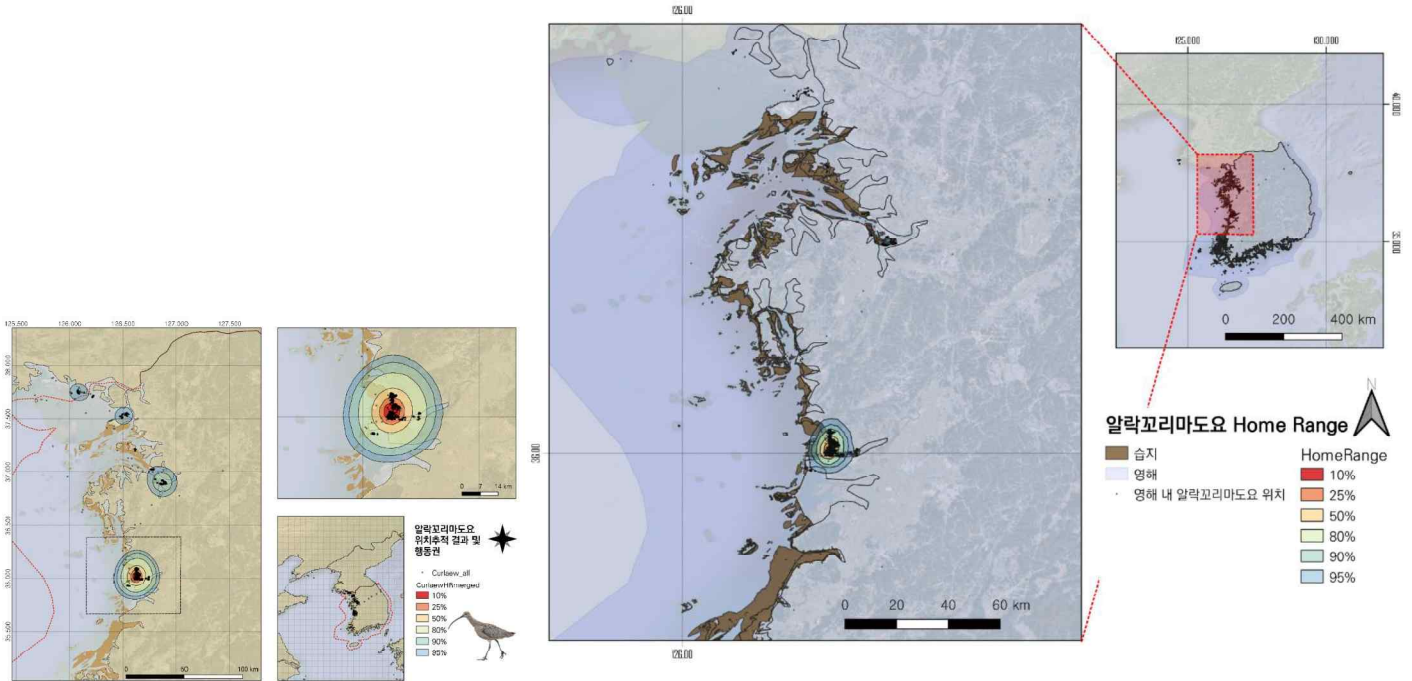
○ 큰뒷부리도요(*Limosa lapponica*) 계절별 이동



해양성 조류의 주요 생활권역(육,해상) 확인

○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (공간 및 행동권)

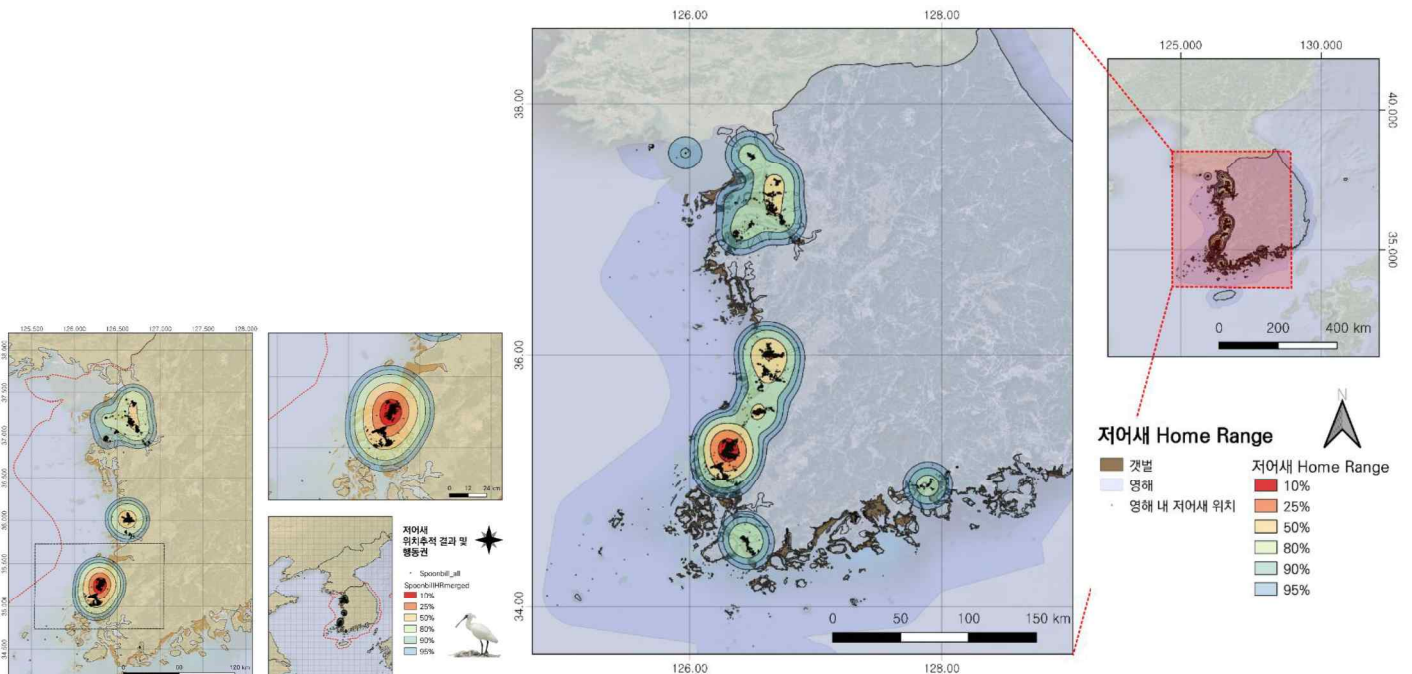
- 알락꼬리마도요 행동권 결과
- 좌: 8월 15일자 행동권, 우: 1월 15일자 행동권



해양성 조류의 주요 생활권역(육,해상) 확인 (계속)

○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (공간 및 행동권)

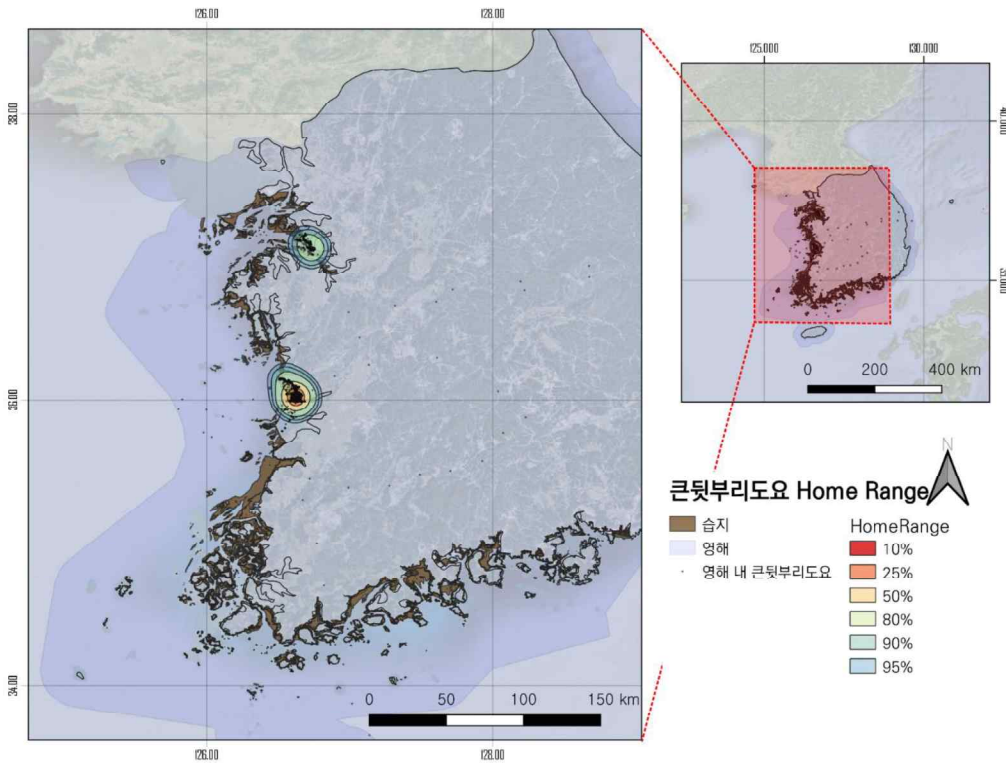
- 저어새 행동권 결과
- 좌: 8월 15일자 행동권, 우: 1월 15일자 행동권



해양성 조류의 주요 생활권역(육,해상) 확인 (계속)

○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (공간 및 행동권)

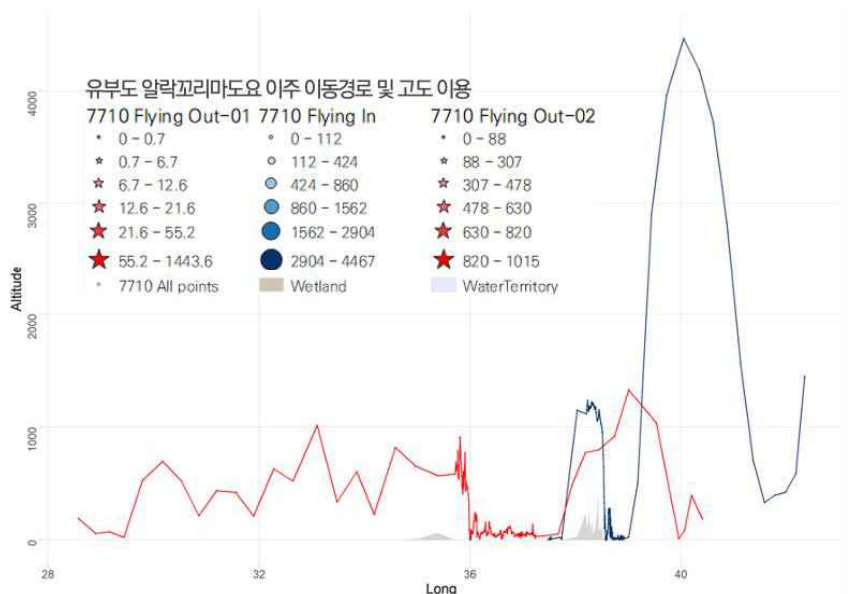
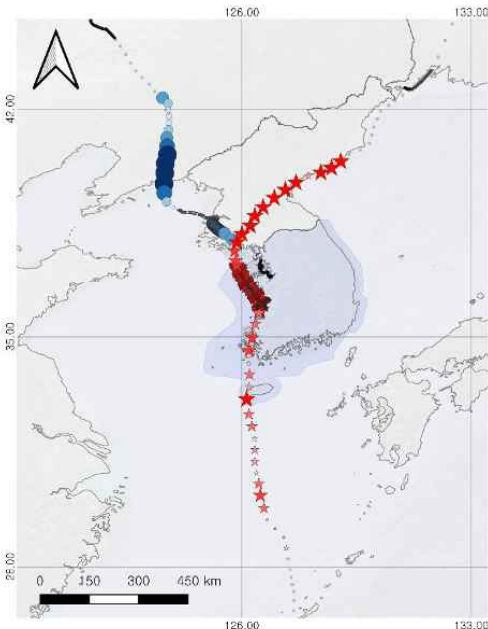
- 큰뒷부리 행동권 결과



해양성 조류의 주요 행동패턴 확인

○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (고도)

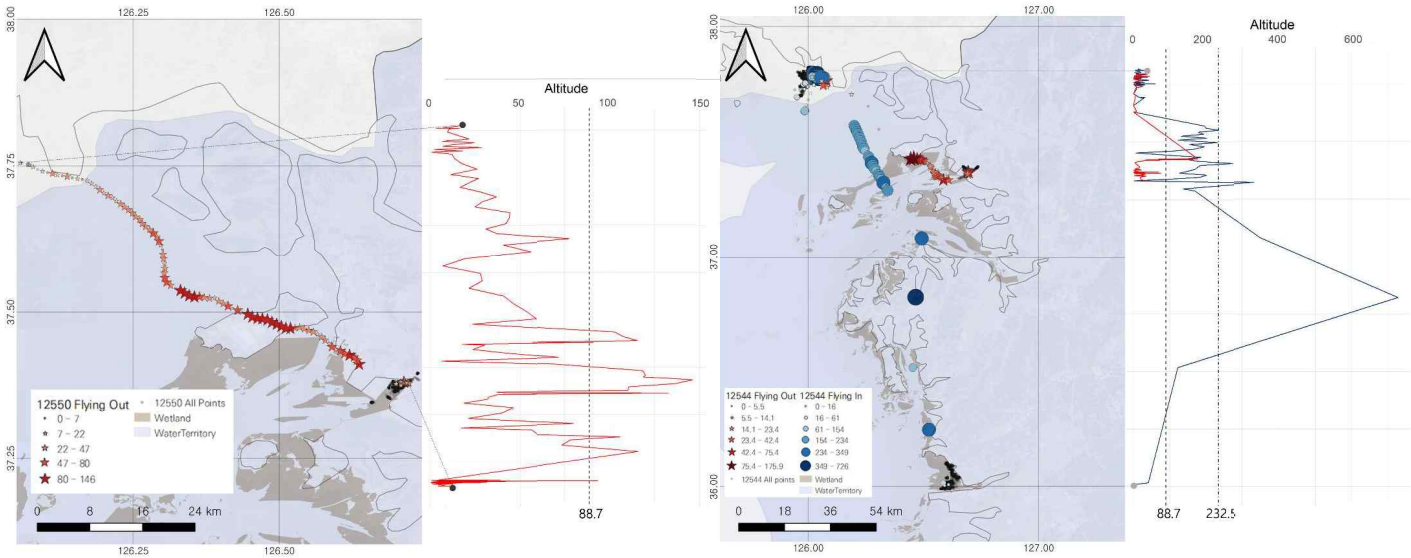
- 고도의 경우 영해를 기점으로 이주하기 24시간 전부터 이주 후 6시간까지 확인
- 대부분 영해 내에서는 해상풍력기의 최저 높이보다 낮게 비행하지만 영해를 벗어나는 시점에서 고도를 높여 해상풍력기의 최대 높이보다 높게 비행함



해양성 조류의 주요 행동패턴 확인 (계속)

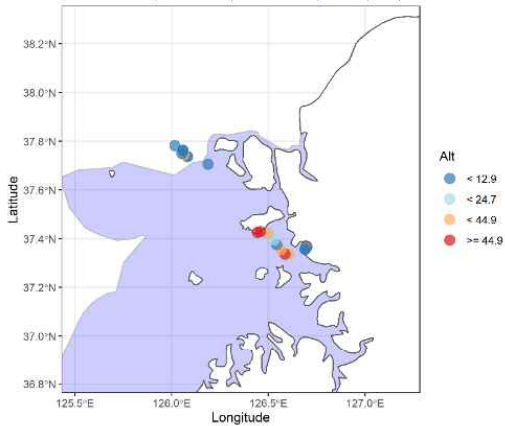
○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (검은머리물떼새)

- 장거리 이주를 위한 비행보다는 가까운 취식지로의 이동
- 개체별 최대 고도는 평균적으로 436m이지만 개체별로는 최소146m 최대 726m로 다양함

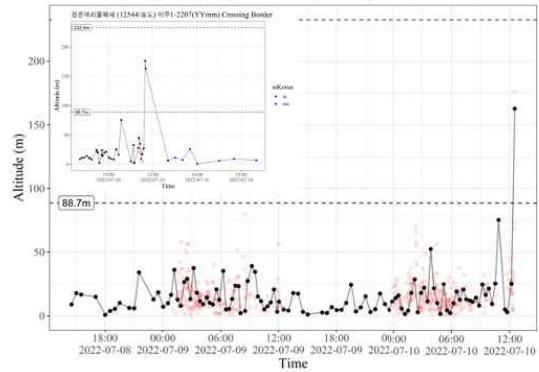


해양성 조류의 주요 행동패턴 확인 (계속)

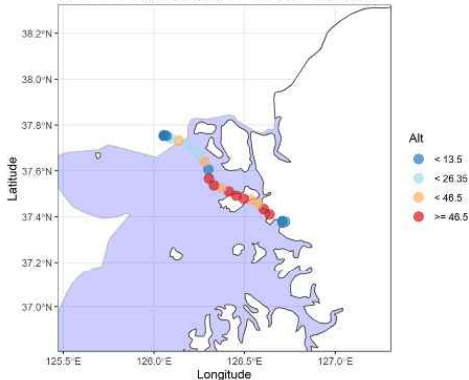
검은머리물떼새 (12544/송도) 이주1-2207(Yymm) Map



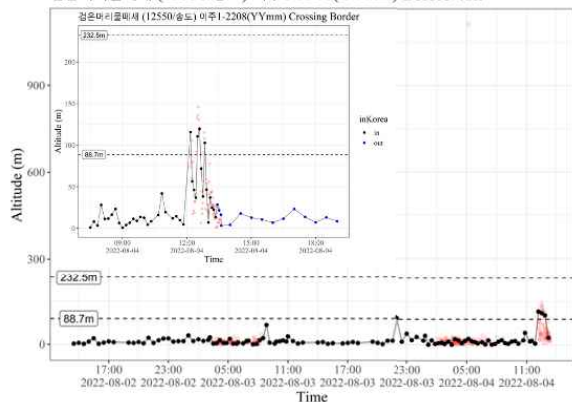
검은머리물떼새 (12544/송도) 이주1-2207(Yymm) Before 48h



검은머리물떼새 (12550/송도) 이주1-2208(Yymm) Map



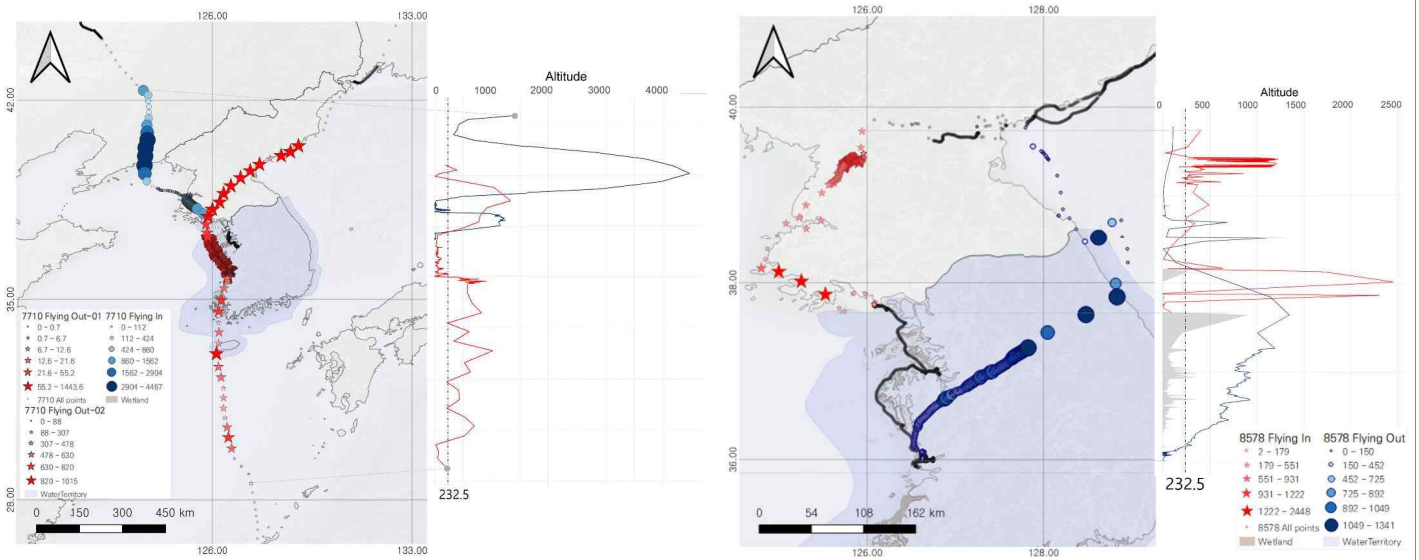
검은머리물떼새 (12550/송도) 이주1-2208(Yymm) Before 48h



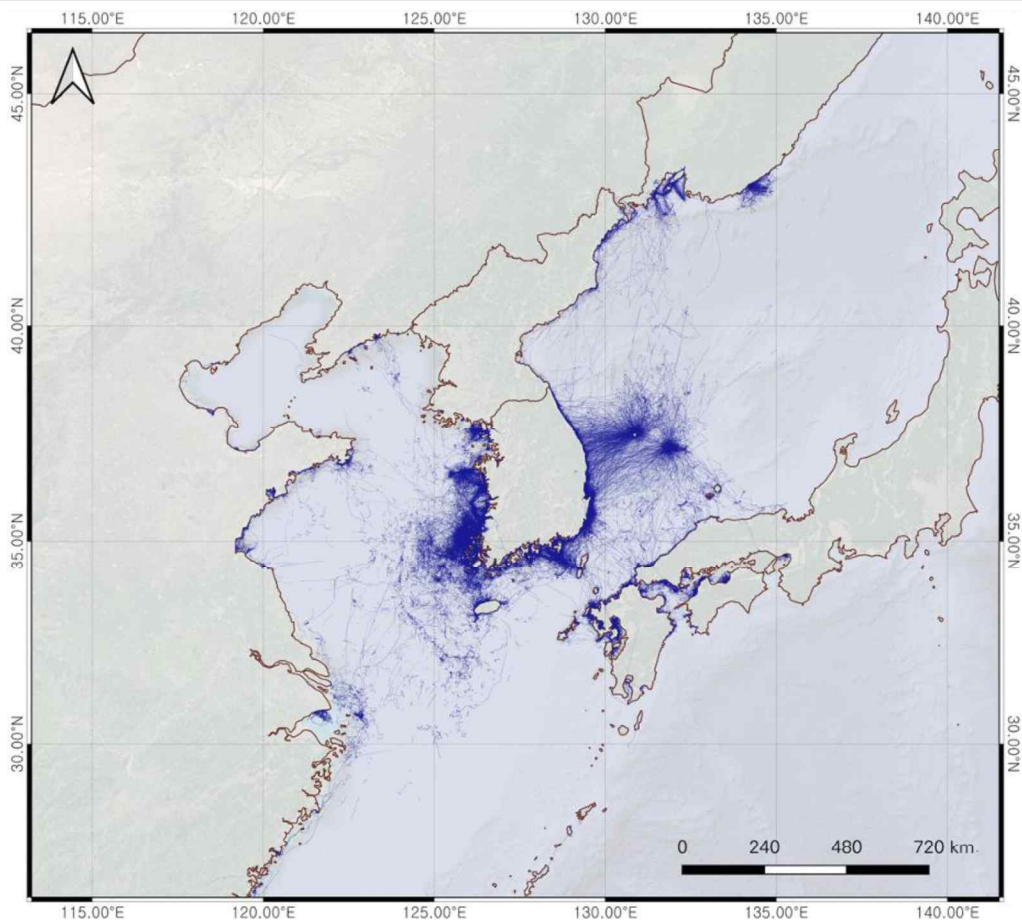
해양성 조류의 주요 행동패턴 확인 (계속)

○ 멸종위기 야생조류의 해상공간 이용패턴 (알락꼬리마도요)

- 북쪽 번식지로 이동할 때는 북동쪽 방향을 유사하게 유지하며 남쪽 월동지로 이동할 때는 주로 해안가를 따라서 이동하는 경향이 있음
- 개체별 최대 고도는 평균적으로 2167.95m이지만 개체별로는 최소 596.2m 최대 4467.0m로 다양함



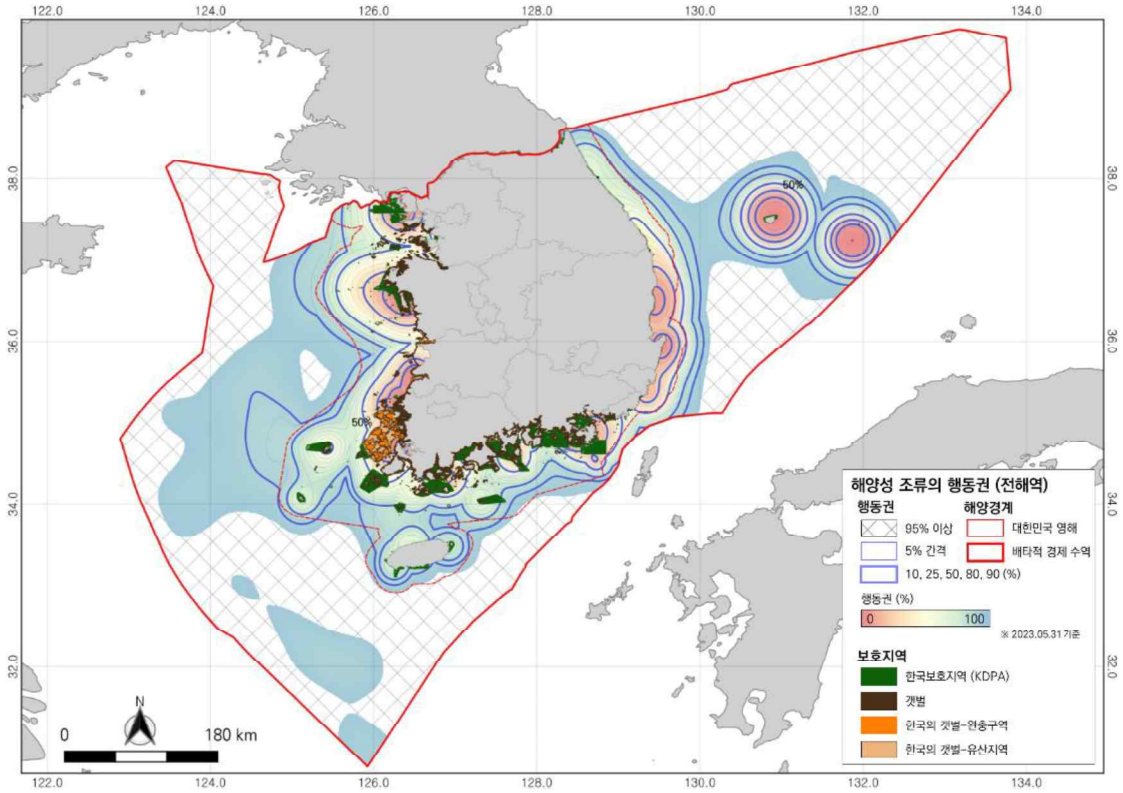
해양성 조류의 장기간 위치추적 자료 수집



국내최초 해양성 조류의 해양공간이용 정보도 구축



○ 환경부-KEI는 해상풍력발전 관련 국내 최초 장기위치추적 연구에 따른 해양의 중요 서식역 결과 도출



사전에방차원의 해양성조류 공간이용정보도 활용



○ 해양성조류 공간이용정보도 구축

- EU 등 해상풍력발전 관련 선도국에서 현재(2023.4. 기준) 준비중인 위치추적기반의 공간이용 정보도보다 약 2년 앞선 결과물
- **환경부 환경영향평가과 EIA 협의를 위한 최초 자연생태 정보자료**
 - 국외에서는 해상풍력 등의 EIA에 대한 조사와 평가를 별도로 제공하고 있으나, 국내에서는 자연환경 정책을 위한 자료구축을 이용하여 사업자와 대항자가 스스로 평가하고 있어 협의 시 이해관계 충돌이 지속적으로 초래
- 탄소중립 이행을 위한 에너지전환 확대 및 생태계 보전 확보
- 사업자 및 평가서 대항자 등 환경영향평가에 대한 신속지원 체계 구축
 - 협의중인 "○○○○ 해상풍력 발전사업"에 대한 평가서 분안 검토의견으로 환경부에서는 아래와 같이 사업자에게 화신 및 KEI 자료(유족) 활용에 따른 평가서 보완서 준비중임

○ 상기 보완사항에 대해 한국환경연구원에서 수행한 '해상풍력 환경성 평가를 위한 조류 공간이용 분석 및 DB구축 연구' 내용 등을 참고·활용하여 작성할 수 있도록 함

- 환경부와 KEI는 추후 해상풍력발전에 있어 해양성 조류 현황을 사업계획 추진 시 제공하기 위한 제도 마련 중임
 - (2023.04. 기준) 입지컨설팅 기준 **연간약 1,000억원 조사비용과 조사시간을 절감**하는 효과가 예상됨(구체적인 정책효과는 추가 분석중임)
 - 통령계측 비용이 1년 조사 기준 10~20억원임을 고려할 때, 사전입지공간 정보를 제공함으로써 관련된 **이행충돌을 사전에 예방**

사전에방주의 차원의 생물다양성 영향 완화

해상풍력 발전사업(ME2022C019)

해양성조류 해양 공간이용 현황도

【 해상풍력 발전사업 】

사업 개요

○ 위 치 : 전남 남쪽 해상 일원

○ 규 모 : 600MW(15MW×40기)

○ 동 사업 환경영향평가서 분안의 '환경영향평가서 보완요구 내용'에 의거하여 본 원(KEI)에서 수행한 '해상풍력 환경성 평가를 위한 조류 공간이용 분석 및 DB 구축 연구' 결과는 아래와 같음

제시된 40기의 풍력발전기는 해양성 조류의 행동권(서식권) KDE 55~70%에 속함

※ 학술적으로 KDE 1%~50% 지역은 핵심 행동권(서식권)으로 평가됨

○ 본 도면은 '21.05.23.~'23.01.15.까지 한국환경연구원(KEI)에서 수행한 환경부 연구과제 '해상풍력 환경성 평가를 위한 조류 공간 이용 분석 및 DB 구축 연구'의 결과로 '영광 안마 해상풍력 발전 사업' 관련 해양성 조류의 공간이용 현황 정보제공을 목적으로 작성됨

- 연구대상종: 켈리갈매기, 저어새
- 분석방법: 커널밀도추정(Kernal Density Estimation, KDE)
- '해상풍력 환경성 평가를 위한 조류 공간 이용 분석 및 DB 구축 연구(II)'('23.03.04.~'24.03.03) 결과에 따라 사업대상지 및 주변지역에 대한 KDE 결과 등 공간이용 정보는 변경될 수 있음

작성자: KEI(이후송 연구위원) - 1 - 작성일: 2023.06.16.

보존-저감-보상의 정책적 개선 방향 필요

○ 재생에너지 확대와 생물다양성 영향을 완화하기 위한 3-way 방안

- (보존) 생물다양성 측면에서 보존가치가 매우 우수한 공간에 대한 원형보존

- 법적보호지역 및 국내외 중요 보호종의 중요 서식역 등에 대한 최소한의 보호대책
- 사전예방주의 차원에서 핵심적 보호지역에 대한 원칙적인 보존노력 필요

※ 생태자연도1등급지의 경우, 국내 면적의 약 10%에 불과한바 보존 우선의 노력 필요하며, 이는 결국 CBD의 보호지역 확대와 연계

- (저감) 재생에너지 설치·운영으로 인한 생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위한 저감방안

- 풍력발전기 블라인드에 설치하는 페인트 등 영향을 최소화하기 위한 저감방안의 다각화

- (보상) 불가피한 조건에 대한 저감 이상의 노력이 필요할 경우 대상 생물상에 대한 보상방안

- 저감방안으로 충분한 생물다양성 영향 완화노력이 어려울 경우, 대상 생물종과 서식지에 대한 보상노력 추진 필요
- 영국 등 재생에너지 선진국에서 추가적인 보상(compensation to seabirds or marine mammals 등)에 대한 정책방안이 마련되고 있어 국내에서의 정책개발 노력 필요



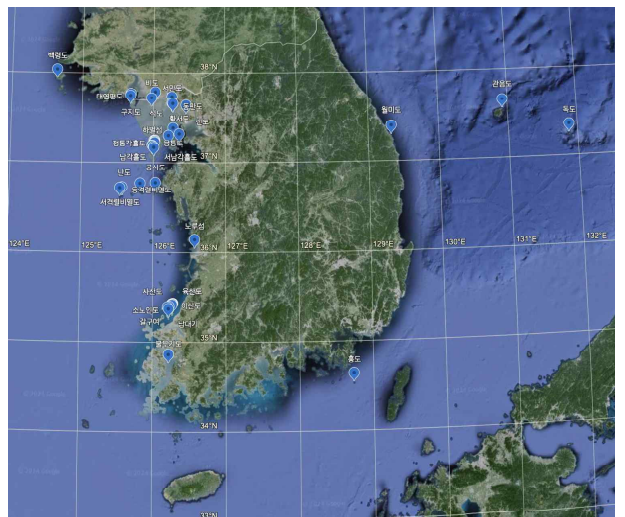
잉글랜드 서섹스 로위스트로프트 해안에 만들어진 '새기락갈매기 호텔'



바닷새 집단번식지 지속성을 고려한 평가체계 마련 필요

○ 영국, 미국 등 주요 국가에서는 번식지 중심의 영향평가 체계 기반을 마련 중임

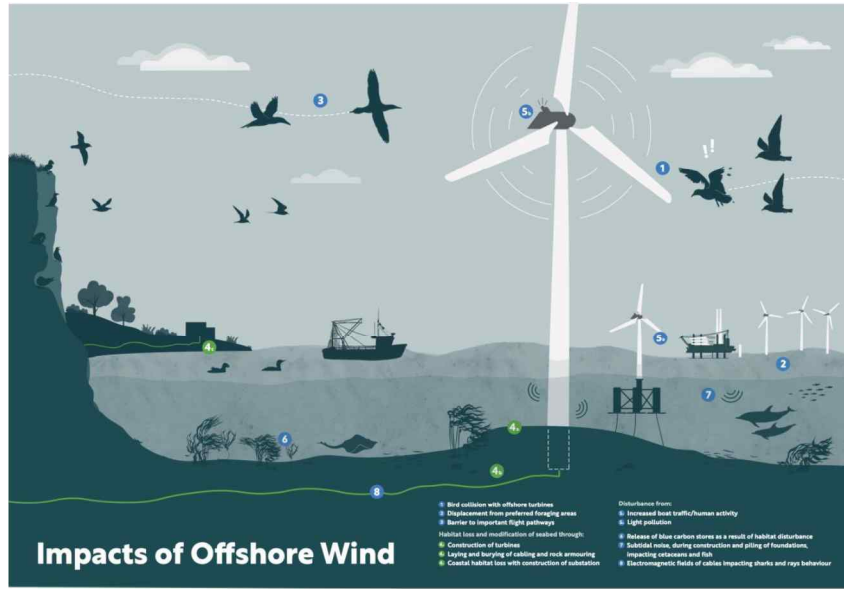
- 기존의 물리적 충돌 중심의 영향에서 해상풍력발전 운영에 따른 번식개체군 변동에 대한 영향으로 변경중임
- (평가방법) 개체군 생존력 분석(Population Viability Analysis, PVA)을 통해 사업 전후의 개체군 변동을 예측, 평가함으로써 적정 규모와 입지 등을 평가하고 사후 모니터링과 보상방안에 있어 관련 자료를 활용하고자 함



○ 국내의 경우, 바닷새 등 집단번식지에 대한 현황정보 부재, 번식생태(개체군 크기, 출생률, 사망률 등) 조사결과 부재 등 기반자료가 미비하여 관련 방안 마련이 시급함

- 국외의 경우, 집단번식지의 경우 보호지역(protected area)으로 대부분 지정되나, 국내의 경우는 천연기념물 지정되고 있어 관련 정책에 대한 개선도 필요

국내외 서식현황의 차이를 반영한 보상-저감방안 마련 필요



자료: RSPB(2022)



자료: RSPB(2022)

영국의 해안절벽지 및 바닷새 번식지



자료: http://www.windkorea.com/ke/free_gallery/11061739/00/teackback

서해 갯벌과 주변지역 및 바닷새 취식지

감사합니다



Impacts of Offshore Wind on Marine Ecosystem Diversity

Lee Chih-An
Senior Sustainability Advisor, APAC Region, Ørsted

4/24/2024

We have industry leading sustainability ambitions and actions



Science-aligned climate action

2025

98% reduction in emissions intensity¹

2040

Net-zero value chain²



Green energy that revives nature

2030

No later than 2030, all new renewable energy projects commissioned must have net-positive biodiversity impact

Today

Zero wind turbine blades to landfill
 Zero solar panels to landfill



A green transformation that works for people

2030

40-60 gender balance in our total workforce and among people leaders (women:men)

Governance that enables the right decisions

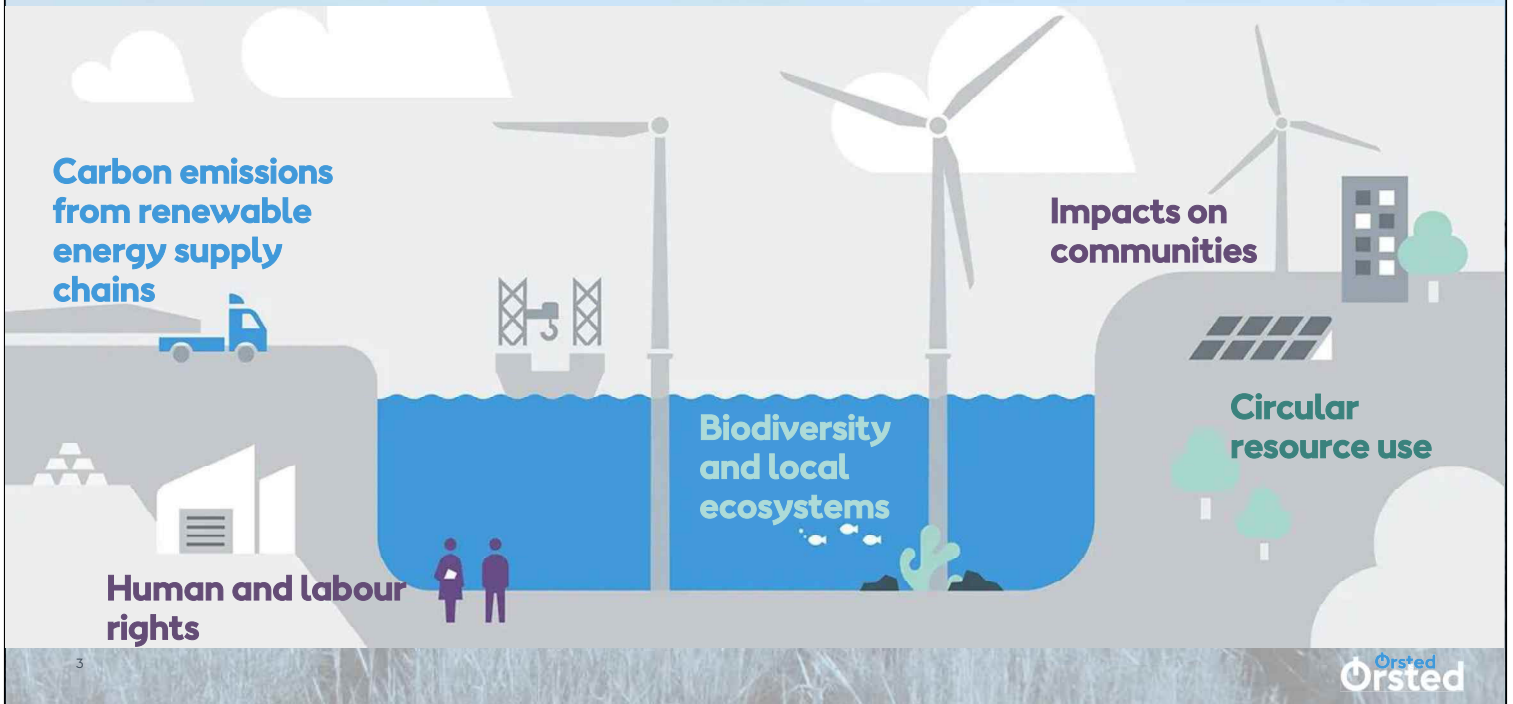
Today

We exclusively deploy green and sustainable long-term financing, and all projects are taxonomy-aligned

2 Notes: 1. Scope 1-2 emissions (CO₂e) from a 2006 base year. 2. Scope 1-3 emissions. See full overview of Ørsted's science-based targets in our annual report.

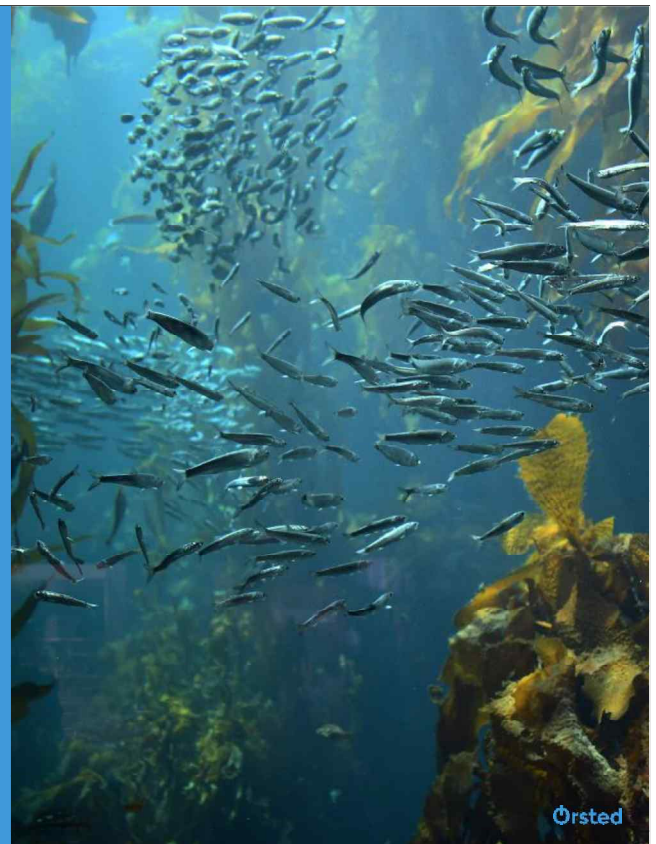
Delivering fully sustainable green energy

The five key sustainability impacts of green energy projects

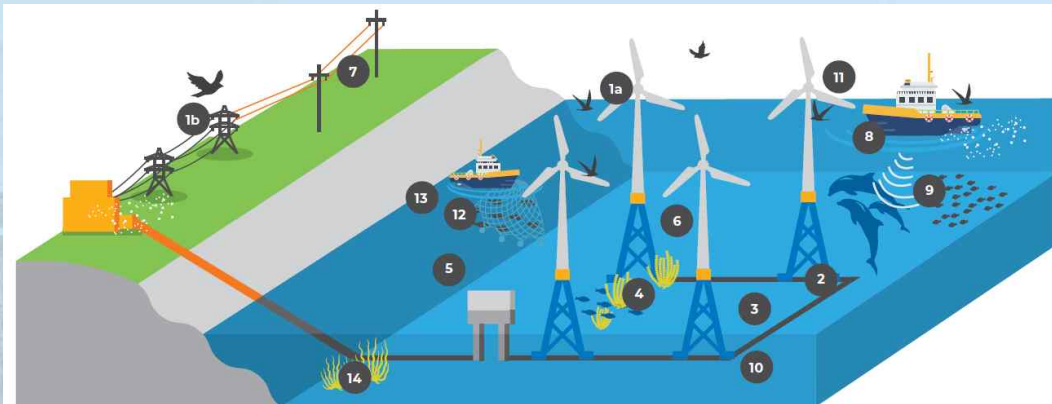


Our biodiversity ambition

Deliver net-positive biodiversity impact in all renewable energy projects we commission from 2030



Biodiversity impacts induced by offshore wind farm construction and operation activities



Most concerned impacts by offshore wind:

- 1 Direct mortality to birds due to collision
- 2 Direct habitat loss and disturbance from installation of infrastructure offshore
- 6 Displacement of birds due to wind farm presence and vessel activity
- 9 Disturbance to marine mammal species due to underwater noise impacts

1. Bird and bat collision with, a) wind turbines and b) onshore transmission lines
2. Seabed habitat loss, degradation and transformation
3. Hydrodynamic change
4. Habitat creation
5. Trophic cascades
6. Barrier effects or displacement effects due to presence of wind farm
7. Bird mortality through electrocution on associated onshore distribution lines
8. Mortality, Injury and behavioural effects associated with vessels
9. Mortality, injury and behavioural effects associated with underwater noise
10. Behavioural effects associated with electromagnetic fields of subsea cables
11. Pollution (e.g. dust, light, solid/liquid waste)
12. Indirect impacts offsite due to increased economic activity and displaced activities, such as fishing
13. Associated ecosystem service impacts
14. Introduction of invasive alien species

5 Source: IUCN

Ørsted

Mitigation example: Advance with project design and construction



Introduce the **Suction Bucket Jacket Foundations (SBJ)** technologies to the regional market for the first time:

Ørsted adapts SBJ foundations in Changhua 2b&04 wind farms.

The feasibility assessment covers :

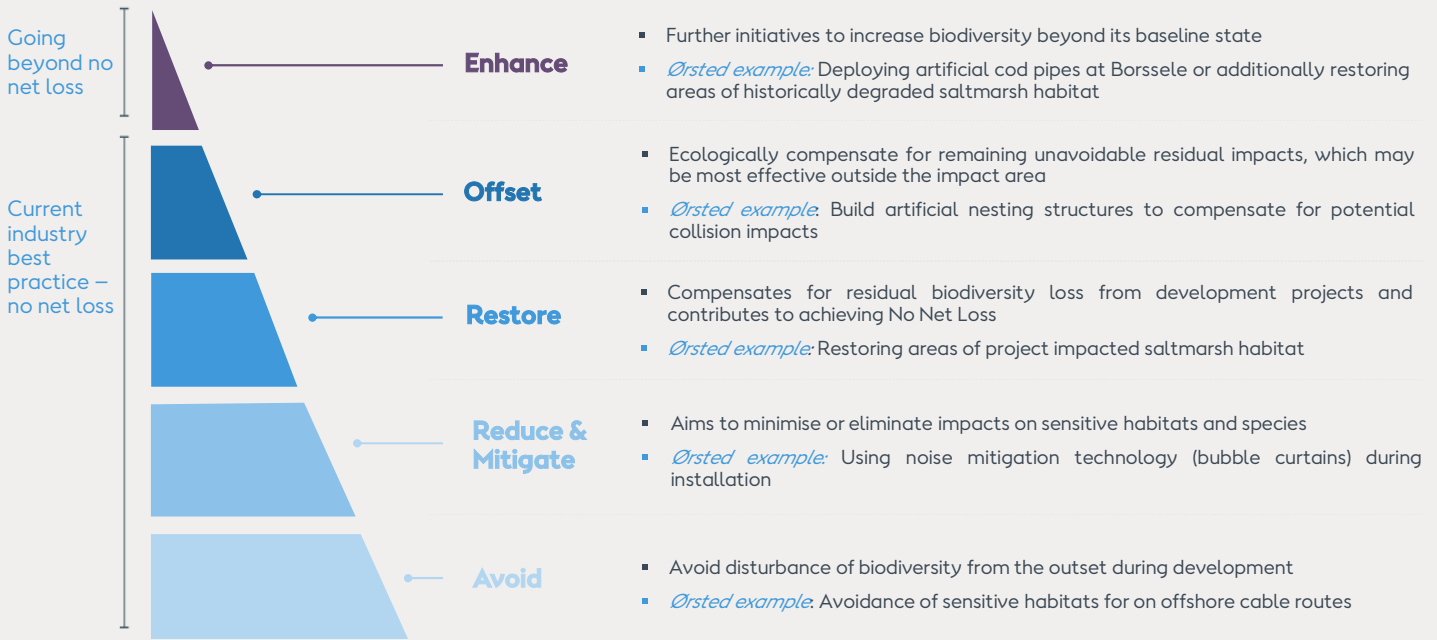
- Partnered up with Department of Hydraulics and Ocean Engineering, NCKU
- Build seismic modeling and commenced trial at the lab of National Centre of Earthquake Engineering.
- Applied 475 years return period on load and resistance simulation.



4/24/2024

Ørsted

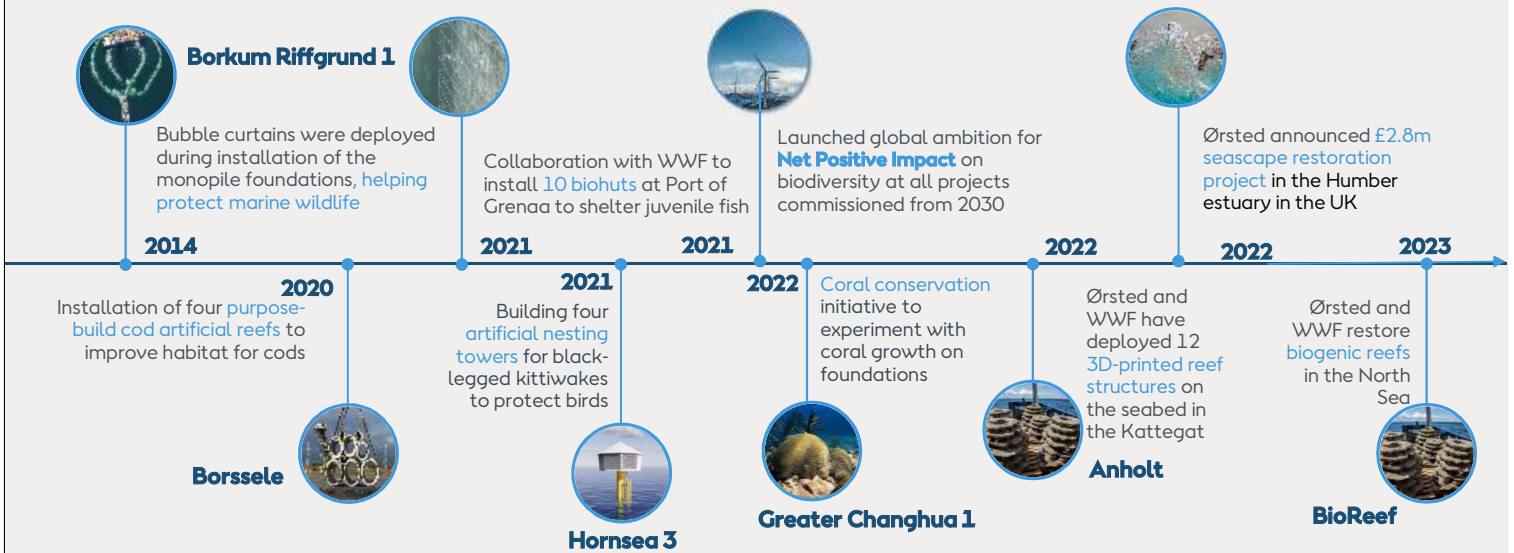
Protecting biodiversity begins with the mitigation hierarchy



7 Source: International Union for Conservation of Nature; OECD; The Biodiversity Consultancy



Biodiversity initiatives in offshore wind farms



8

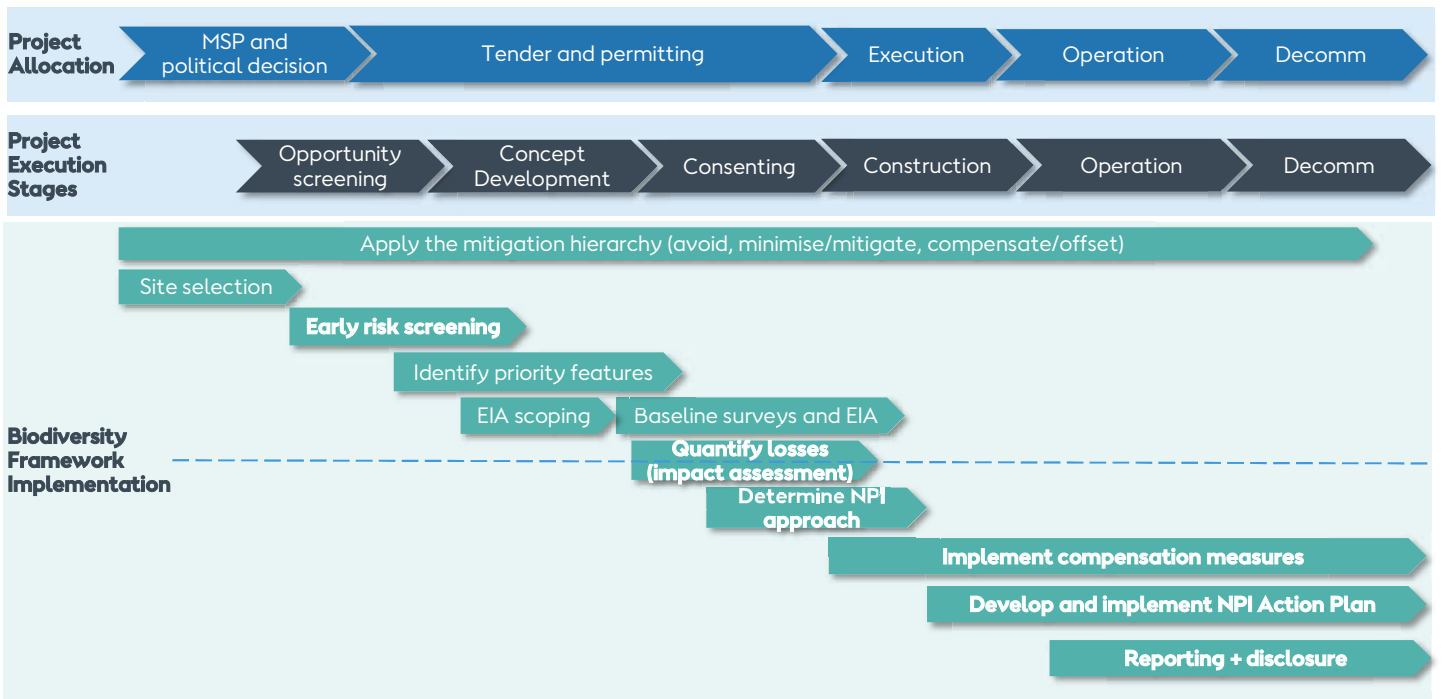
4/24/2024

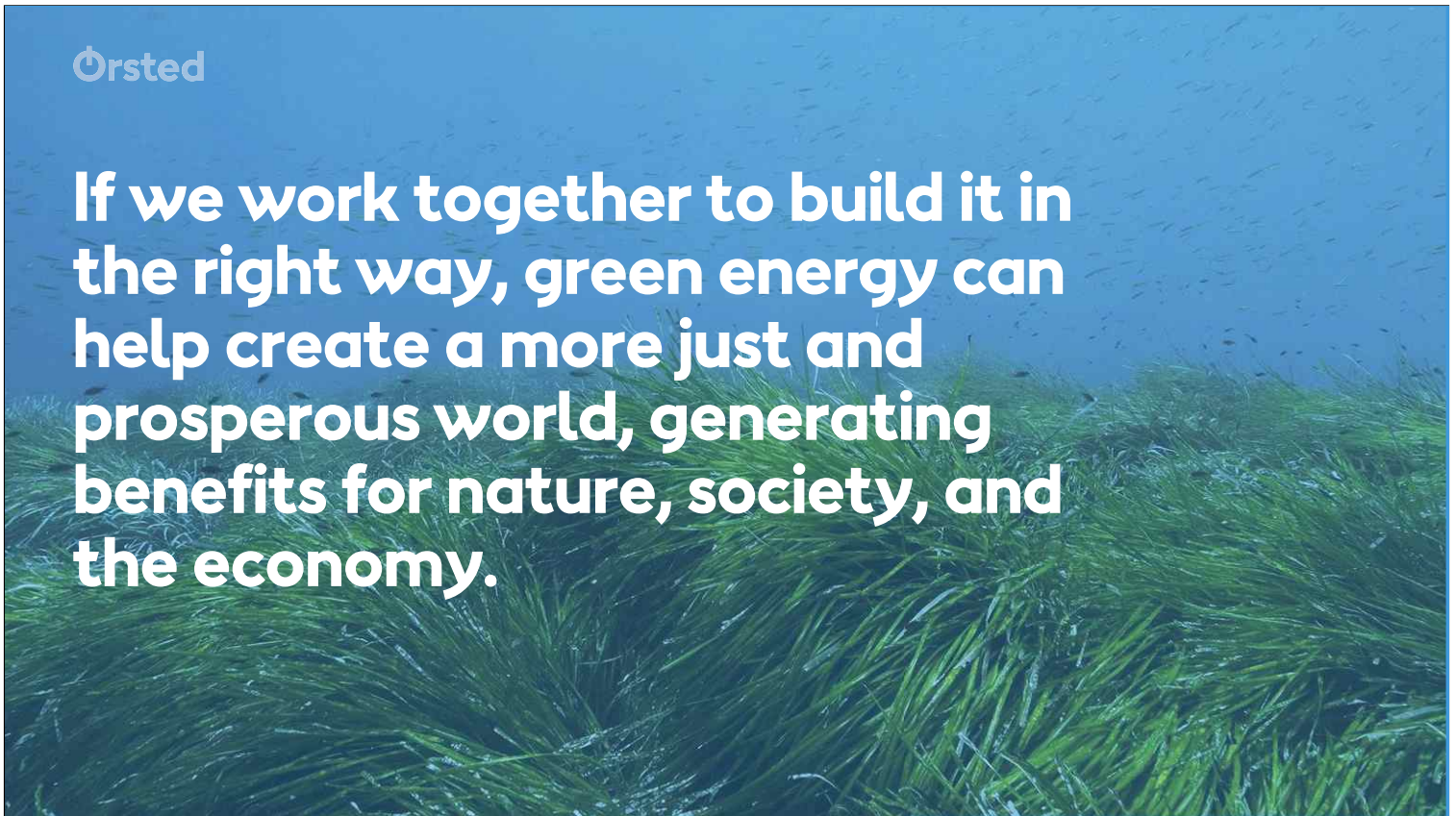
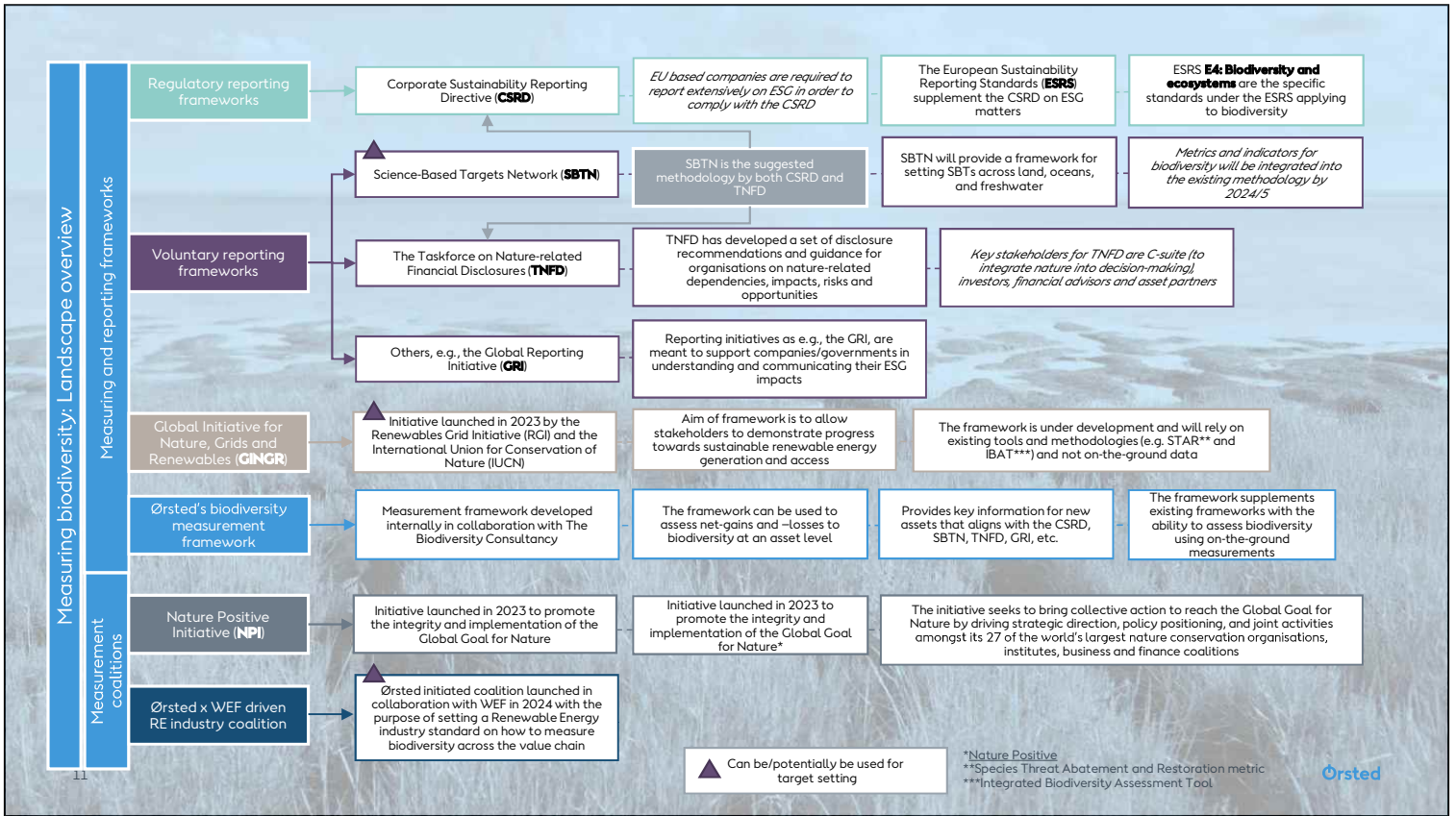


The mitigation hierarchy



Integrate Biodiversity NPI Framework to Offshore Wind Projects





ReCoral by Ørsted™

Coral restoration experiment

Description

- Aiming to develop a non-invasive methodology for collecting surplus coral larvae and growing healthy coral colonies on offshore wind turbine foundations.

Expected outcome

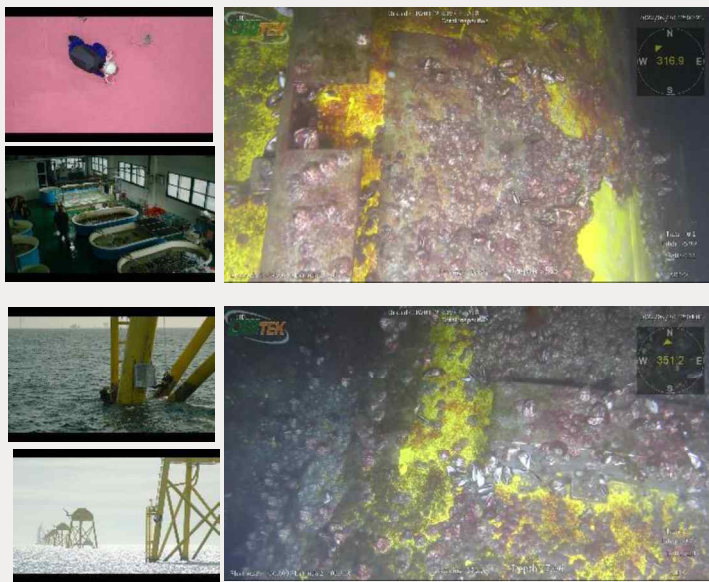
- Develop systematic processes to assess offshore coral restoration feasibility in any given offshore wind farm at tropical and/or subtropical waters where coral ecosystem naturally exists.
- Understand scalability of methodology and possible implementation across an entire wind farm site



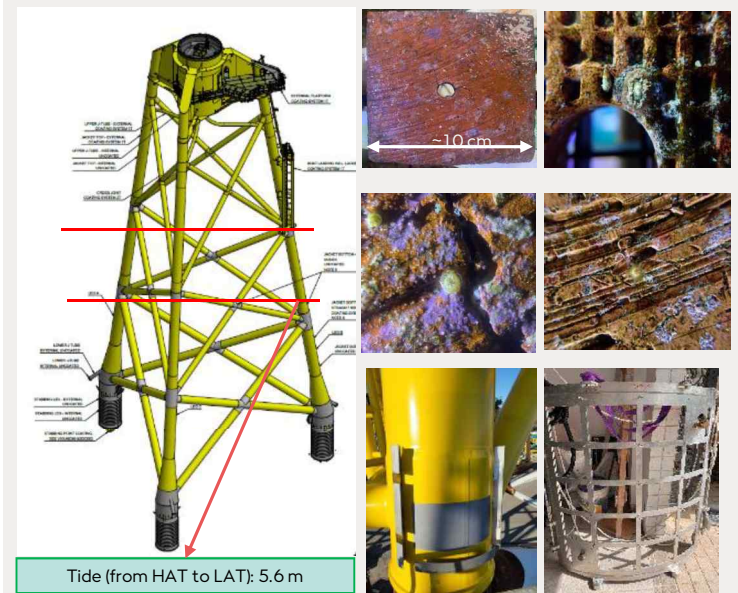
Environmental potential assessment

- **Survivability:** natural corals in shallow waters vs. offshore wind farms in deep waters.
- **Scalability:** accepting FOU design load assumptions for marine growth offers global appliance.
- **Timescale:** 3-8 years to sexual maturity offers self-harvest and organically growth potential.
- **Seed bank:** 1 m² foundation with corals is estimated to repopulate 20m² endangered reefs annually.

2022: First offshore coral deployment trial



2023/24: Coral nurturing and prepare for the next offshore trial



Under development: Bird habitat conservation

Background

- Bird habitat conservation initiative at mid-west coastal area is under development as part of action plans delivering Ørsted biodiversity ambition.
- A preliminary study was conducted in 2023 for important habitat and species screening. Narrowed down to 3 prioritized species from 30. The screening mechanism consists of three steps:
 - Step 1: Global/ national conservation status of species listed as near-threatened and above.
 - Step 2: Understand population status and identify species cited in the coastal wetlands of international/ national importance.
 - Step 3: Species that are domestically significant and sensitive to impacts of OWFs.

Summary

- Prioritized Species** | Little Tern, Eurasian Curlew, Black-faced Spoonbill
- Interim Objective** | Select feasible locations and build ecology baseline at indicative areas based on the important habitats preliminary study conclusions.
- Conservation Strategies**
 - Maintain or enhance quality of existing habitat
 - Reduce threats to population
 - Creation of new or restore habitat

Little Tern



Eurasian Curlew



Black-faced Spoonbill



4/24/2024



15

Biodiversity toolbox pilots

United States

- Restoration of rare coastal prairie in Texas
- Protecting and restoring tallgrass prairie in Kansas
- Protection of native tallgrass prairie in Texas
- Researching Burrowing Owl Nests and Relocation Techniques in Arizona
- Restoring natural high plains wetlands in Texas

Norway

- Testing new technology for birdlife monitoring

UK

- Restoring seascapes in the Humber Estuary
- Protecting seagrass with Blue Meadows initiative
- Testing potential of seaweed farming to boost biodiversity
- Mapping climate impacts on future fish migration with PREDICT

Ireland

- Integrating biodiversity and skill-building with the Wild Bee Nursery Project

Denmark

- Installing Biohuts to support vulnerable cod populations
- Restoring biogenic reefs for ecosystem function in the BioReef project
- Restoring Dungeness reefs for ecosystem function
- Rebuilding boulder reef habitats during installation
- Restoring large scale ecosystem health through the Coastal Life project

Sweden

- Revitalizing Baltic Sea cod stocks with ReCod
- Restoring Baltic Sea habitats with Hano reef balls

Netherlands

- Improving conditions for Atlantic cod with pipe reef installation
- Pioneering the testing of rewilding principles at sea

Japan

- Educating local youth on biodiversity and climate solutions

Taiwan

- Driving innovative restoration technologies with ReConal to grow coral alongside OSW

4/24/2024

토론 및 질의응답

[우리 바다의 미래] 세션 1: 해상풍력 입지와 환경영향 토론문 (RPS)

서론

해상풍력 산업은 아직 국제적으로 미성숙한 단계에 있으며, 그에 따라 명확히 정리된 환경 및 사회적 영향을 최소화하는 방안이 결정되어 있지 않습니다. 그러므로, 현시점에서 대두되고 있는 해상풍력의 잠재적 환경/사회 영향을 식별하고 그에 대한 평가 및 저감 방안을 모색할 때 국제적으로 인정받는 산업 관행을 고려하고 국내 실정에 맞게 적용해야 합니다.

본론

1) 포괄적인 스코핑의 필요성

해상풍력 발전 사업의 환경 영향을 명확하게 식별하고 대응하기 위해서는 포괄적인 평가 항목, 범위 및 방법 설정(스코핑)이 중요합니다. 이를 위해서는 입지 선정 및 환경영향평가 준비 단계에서 영향 범위 및 평가 항목을 설정하는 절차가 필요합니다.

윤순진 박사님 발제자료에서 유럽에서는 박쥐를 전략환경평가 및 생태계 영향으로 포함됨을 명시해 주셨는데, 국내 환경영향평가에서는 박쥐는 육상 동식물 조사에 일부분으로 포함되기는 하지만 구체적으로 해상풍력발전 사업이 박쥐에 미치는 영향을 평가하는 사례나 가이드라인은 부족합니다. 전남 쪽 해안의 경우 인근 해역에서 박쥐의 이동이 조사되고 있으며 박쥐 또한 조류와 마찬가지로 터빈 충돌 위험이 있기 때문에 스코핑 수행 시 박쥐에 대한 조사 수행 여부를 결정하고 조사 범위 및 평가 방법을 설정해야 합니다.

또한, 판새류(상어, 가오리 등)에 대한 스코핑이 부족한 것으로 판단됩니다. 해상풍력 사업에서 민감하게 다뤄지는 조류 및 해양포유류와 별개로 판새류는 어류 조사에서 현황 조사가 이루어지지만 상어 및 가오리에 대한 구체적인 스코핑 및 평가는 부족한 것으로 보입니다. 해상풍력 발전으로부터 발생하는 전자기장 및 계류선이나 터빈에 얽힌 페어구로 인한 얽힘 위험, 선박 충돌 등의 위험은 해양포유류 뿐만 아닌 판새류에도 적용될 수 있으며 국내 해역에서 발견되는 판새류 중 다수가 세계자연보전연맹(IUCN) 적색목록에 멸종 위기종으로 등록되어 있습니다. 국제적으로 멸종 위기를 맞고 있는 어류인만큼, 해상풍력사업이 어떤 영향을 줄지 구체적으로 평가하고 저감방안을 마련하기 위해서는 보다 포괄적인 스코핑이 필요하다고 판단됩니다.

**우리 바다에서 발견할 수 있는 상어류는 약 43 종이며 개중 IUCN 적색목록에 멸종 위기로 분류된 종은 총 12 종이나 국내에는 고래상어, 홍살귀상어 2 개 개체만 등록되어 있음.*

*우리 바다에서 발견할 수 있는 가오리류는 약 31 종이며 IUCN 적색목록에 대부분 등재되어 있지만, 국내법상의 해양보호생물로 지정된 종은 없음.

2) 보다 구체적이고 검증된 평가 방안 및 저감방안 도입의 필요성

환경영향평가에는 식별된 잠재적 환경영향에 대한 평가를 수행하고 해당 영향을 회피하거나 저감하기 위한 저감방안이 제시됩니다. 최근 환경영향평가서 협의기관이 개발사에 제시하는 검토의견으로 음향경고장치를 활용한 조류 및 해양포유류 회피/우회 유도 방안이 논의되고 있습니다.

음향장치를 활용한 조류 저감방안은 해외 상업 어업 활동에서 활용된 사례가 있으나 국제적으로 해상풍력 사업에 음향경고 장치를 활용한 사례에서 유의미한 결과를 도출한 연구가 많지 않으며 영향 저감 효과성에 대한 상충되는 연구 결과들이 있습니다. 해외 연구 사례에서 검토된 몇몇 종의 조류는 음향 장치가 발동하면 발전기를 우회/회피하는 반응을 보였으나 종에 따라 효과가 적용되지 않는 경우도 있었으며 조류 특성상 지속적으로 발생하는 소음에는 적응하여 시간이 지날수록 음향장치의 효과가 떨어지는 것으로 나타났습니다.

또한, 국내의 경우 해상풍력단지가 서로 인접하여 매우 큰 범위에 설치되는 형태이기에 활발한 섭식 활동 지역으로의 조류 진입을 차단하는 것은 터빈과 충돌하여 사망하는 개체는 줄더라도 더 큰 범위에서 서식지와 먹이원을 잃는 결과가 나올 수 있다고 해외 전문가들은 말하고 있습니다. 이는 발제 내용 중 영국, 미국의 영향 평가 체계의 초점이 기존의 물리적 충돌 중심의 영향에서 번식 개체군 변동에 대한 영향으로 변경 중이라는 내용에 부합합니다.

반대로, 해외 전문가들이 말하는 가장 효과적이고 확실한 방법은 에어갭을 조정하는 것입니다. 에어갭이란, 해수면으로부터 터빈 날개의 가장 낮은 팁까지의 거리를 말하는데 최근 국제적으로 인정받는 산업 관행으로는 30m 이상을 권고하고 하고 있습니다 (현황 조사 결과 반영 필요). 이러한 저감방안은 비용적 및 기술적 측면이 구체적으로 검토되어야 하기에 입지 선정 및 사업 계획 초기부터 고려하는 것이 추후 발생할 수 있는 시간적, 비용적 리스크를 최소화할 수 있습니다.

해양포유류의 경우, 유럽에서 진행된 연구에 따르면 수중 음향경고장치(Acoustic Deterrent Device)가 밍크고래, 물개 등의 해양포유류의 회피를 성공적으로 유도한다고 검증한 바 있으나, 해당 음향경고가 다른 생물들에게는 소음원이 될 수 있어, 소음으로 소음을 막는다는 표현을 하기도 합니다. 이러한 이유로 대만의 해상풍력 사업(창화, 하이룽 등)은 ADD 를 활용하지 않았으며 호주 또한 인공적으로 생태계를 교란하여 영향을 저감하는 방식을 수용하지 않고 있습니다.

3) 정보 공유 및 공동 대응의 중요성

아직 미성숙한 해상풍력 산업이 해양생태계와 공존하기 위한 가장 효율적이지자 빠른 접근법은 정보 공유 및 공동 대응이라고 생각합니다.

현재 영국, 호주 등의 국가에서는 이미 환경영향평가 절차 및 내용의 공유가 대두되고 있으며 이에는 다양한 장점이 있습니다.

각 개발사의 환경영향평가 자료를 법적 요구사항 이상으로 공개하고 서로 공유함으로써 정부와 환경보호단체는 부족한 해양 데이터를 축적하는 데 도움을 받을 수 있으며, 개발사는 현황조사를 수행해야 하는 범위와 노력 중 타 개발사와 중복되는 부분을 줄여 비용과 시간을 절약할 수 있으며, 인접한 사업자 간 환경영향평가 자료를 공유함으로써 수집된 정보를 더욱 일관적이고 정확하게 검증할 수 있습니다. 또한 누적영향평가를 수행하고 누적영향을 고려한 저감방안을 강구하기 위해서는 정보 공유가 필수적입니다.

추가적으로 국내에는 한정된 전문가들이 있기 때문에, 비슷한 시기에 조사를 필요로 하는 모든 사업자가 전문성을 갖춘 인력들로 신뢰도 있는 조사를 수행하기는 어렵습니다. 정보 공유 및 환경영향에 대한 공동 대응은 부족한 전문 인력, 장비, 선박 이슈에도 도움이 될 것입니다.

결론:

해상풍력 산업이 국제적으로 아직 미성숙한 단계에 있는 가운데, 해상풍력 발전 사업의 환경 및 사회적 영향을 지속가능하게 관리하기 위해서는 국제적으로 인정받는 산업 관행을 참고하고 이를 국내 실정에 맞게 적용해야 합니다. 이를 위해 해상풍력 설치 상위국의 사례를 참고한 포괄적인 스코핑을 통해 해상풍력 발전 사업의 환경 영향을 명확히 식별하고, 평가 항목과 방법을 설정해야 합니다. 또한, 구체적이고 검증된 저감 방안을 모색하여 해상풍력 사업이 해양생태계에 미치는 영향을 상쇄하거나 최소화하도록 해야 합니다. 마지막으로, 정보 공유 및 공동 대응을 통해 보다 신뢰성 있는 환경영향평가를 수행할 수 있으며, 이는 해상풍력 산업이 해양생태계와 공존하기 위한 가장 효율적인 방법일 것입니다.

부록: 해외 풍력발전 사업 중단 사례

호주 사례

Robbins Island Wind (로빈스 섬 육상 풍력 발전) 지연 중

- 멸종위기종인 주황 배 앵무새 (Orange-bellied parrots)에 대한 영향을 고려하여 매년 5개월간 풍력기 가동 중단 조건 하에 호주 환경보호국(EPA)이 승인했으나 주민 및 환경보호단체 반대
- 경관 부정적 영향 대두

South Australian Offshore wind Farm (사우스 오스트레일리아 해상풍력 발전소) 사업 중단

- 어업 및 해양 환경 부정적 영향 대두
- 지역 사회 반대

Woorora Station Wind Farm (우루라 스테이션 육상 풍력 발전) 철수

- 세계 유산으로 등재된 열대우림에 인접한 지역 주민 반대
- 환경보호 및 생물다양성 보전법(EPBC)로 인한 사업 승인 결정 5 차례 연기

영국 사례

Docking Shoal Wind Farm (Centrica 사의 3 번째 풍력단지) 사업 중단

- 샌드위치제비갈매기(Sandwich tern)에 대한 부정적 영향을 이유로 미승인
- * 인접한 5개 사업 중 3개는 개발 중이며, 2개 사업은 개발 완료되었으나 본 사업이 추가할 누적영향을 고려했을 때 샌드위치제비갈매기의 총 개체 수에 대한 영향이 기준치를 넘어서는 것으로 확인되어 승인이 나지 않음

Navitus Bay Offshore Wind Park (나비투스 베이 해상풍력 발전소) 사업 중단

- 경관 파괴 관련 지역 주민 및 환경 보호 단체 반대
- 조류 생태계 부정적 영향 대두

일본 사례

Green Power Investment 가 시가현에 개발중이던 육상풍력 사업 중단

- 조류 생태계 부정적 영향으로 인한 미승인
- *사업자가 환경영향평가에서 식별하지 못했으나 환경보호단체가 사업지역에서 검독수리 2쌍과 산매수리 11쌍이 서식함을 증명하여 사업자의 환경 규정 미준수로 인해 미승인

토론문

에너지전환포럼 소윤미 선임연구원

에너지전환포럼은 해상풍력발전과 해양생태계 조화를 위한 다양한 활동을 하고 있으며, 작년에는 북해 5개국의 해상풍력과 관련한 다양한 이해관계자들을 만났습니다. 오늘 토론은 유럽의 제도와 관련된 사례를 함께 말씀드리도록 하겠습니다.

1. 해상풍력발전 개발구역 지정

영국은 2002년부터 해상풍력단지 조성에 적합한 개발지구를 지정해 경매하는 방식으로 사업자를 선정하는 리스 라운드를 도입했습니다. 해상풍력 개발지구 입지선정과 임대는 모두 영국왕립토지위원회가 담당하고 있습니다. 통상적으로 지구선정부터 사업자 선정까지 5년이 걸리고, 조달과 장기차액지원(CfD)에 2년, 건설에 3년이 소요됩니다. 또한, 100MW 이상인 해상발전설비는 국가적으로 중요한 인프라 프로젝트(NSIP)로 간주되어 기존에 따로 취득해야 했던 각종 건설허가 및 지자체 허가를 일원화했습니다. 그리고 이러한 기준들은 4 라운드의 모든 해상풍력에 적용되었습니다. 이렇듯 영국은 공간계획부터 전략환경평가, 이해관계자 의견수렴, 부지 입찰까지 계획적으로 체계적으로 추진하여 14GW규모의 해상풍력을 보급했습니다.

국내에서도 입지의 중요성이 더욱 커지고 있습니다. 2023년 8월에 발전사업세부허가 기준이 개정되면서 발전사업허가를 받고 5년 내 착공하지 않으면 사업권을 반납해야 하기 때문입니다. 이미 발전사업허가를 받은 프로젝트 중 선박항로나 환경보존지구, 어업보호구역등과 겹치고 있어 착공에 어려움이 있는 다수의 프로젝트가 탈락할 것으로 예상됩니다. 입지와 관련한 문제를 보완하기 위해 산업부는 해상풍력 입지지도 컨설팅을 올해 6월부터 실시할 계획이고, 사업자 신청부터 결과 제공까지 2주 내외가 소요된다고 합니다. 이 제도의 시행이 다소 늦은 점이 아쉽기는 하지만, 신규 사업자는 이를 통해 프로젝트 개발의 인허가 관련 위험을 줄이고 환경영향평가까지 지금보다 빠르게 추진할 수 있다는 장점이 있습니다.

그러나 여기에도 한계점이 있습니다. 컨설팅 이용의 대상은 발전사업허가 및 집적화 단지 신청시 절차상 필요한 경우로 되어 있지만, 애초에 정부에서 개발이 가능한 부지를 공고하는 것이 행정상으로는 사업자 입장에서나 효율적이기 때문입니다. 신청자가 풍력추진단에 사전검토 신청을 하고, 7일 이내에 결과를 회신 받으면 다시 산자부에 해양입지 컨설팅을 신청하여, 산업부 담당자는 환경부, 해수부, 국방부에 의견을 요청하고, 30일 내에 취합하는 복잡한 과정을 거쳐야 하기 때문입니다.

따라서, 사전 입지 조사와 계통연계 가능성을 고려하여 **몇 개의 지구를 우선 지정하고, 영국의 라운드 제도처럼 추가로 입지를 개발하는 계획입지제도가 필요합니다.**

입지는 바닷속과 바깥의 모든 환경과 어업, 교통, 군작전성 등 고려해야 할 것이 많고, 이에 따라 협조해야 하는 부처가 많습니다. 또한 2018년 제정된 해양공간계획법

에 따라 수립되는 ‘해양공간관리계획’과의 충돌 여부도 고려해야 합니다. 2019년부터 2028년까지 10년의 기간에 대한 계획이 수립되었는데, 에너지개발구역은 0.22%에 불과합니다. 해양공간관리계획은 근거법에 의거하여 해수부가 주관하고 있으므로 해상 풍력발전 역시 근거법을 마련하여 산업부와 해수부가 함께 장기적이고 구체적인 입지 계획을 마련해야 합니다.

장수정 발표자님께서 마지막에 언급하신바와 같이, 다양한 해양 용도나 보호구역과 해상풍력의 입지가 상충되므로 입지타당성을 사전에 검토하고, 사업자는 환경영향평가 시 적절한 저감대책과 대응을 마련하는 것이 필요합니다.

2. 입지에 따른 주요 해양생물 영향 조사

영국에서는 전력환경평가지 스크리닝 단계에서부터 시민참여를 의무화하고 있으며, 특히 지역의 주요 현안과 지역민들의 지식을 적극적으로 수용할 수 있는 스코핑 단계에서는 정부에서 지정하는 법적 자문 기구가 개입하여 시민참여를 명시합니다. 전략环评의 중간 결과물인 환경보고서 초안은 8주간 공공 의견수렴 기간을 가지고, 시민과 공공 자문위원들로부터 의견을 받습니다. 그리고 모든 단계에서의 문서와 의견은 정부 웹사이트에서 열람이 가능합니다. 이 과정에서 특정지역에서 고려해야 할 주요 생태종에 관한 영향평가와 누적 영향 평가에 관한 요청이 제기됩니다.

앞서 장수정 발표자님께서 말씀하신 것처럼, 국내 해역이용협의제도의 평가항목은 9개이고 해역이용영향평가는 추가 항목을 포함한 총 14개의 평가항목이 있습니다. 미국과 유럽 등 선진국들의 경우에는 해역에 따라 특정 해양생물에 중요도를 두고 영향 평가를 하고 있습니다. 덴마크의 경우 해상풍력에 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려진 어류, 고래, 조류와 같은 민감종에 대해 24개월 이상의 장기 조사를 시행하고 있습니다. 특히 해양포유류는 지속적인 소음의 영향을 받을 수 있으며 서식지 손실이나 건강 위험을 초래할 수 있다고 보고되고 있습니다.

울산 해역에서도 해양보호생물에 포함되는 참돌고래, 닳돌고래, 상괭이, 큰돌고래 등 해양포유류가 출현하는 것으로 관찰되고 있습니다. 그러나 ‘해양포유류’라는 이름만으로 분류하기에는 서식지 및 종에 따른 특성이 다릅니다. 예를 들어, 2016년 해양보호생물로 지정되어 있는 상괭이는 해역에 넓게 분포하여 서식하고 있고, 제주도에는 2012년 해양보호생물로 지정된 남방큰돌고래가 서식하고 있습니다. 두 고래 모두 육지와 가까운 연안이나 안쪽 만에 서식하는 것으로 관찰되고 있으며, 특히 남방큰돌고래는 연안정착성이라 생태환경이 나빠진다고 해서 먼바다로 이동하거나 계절에 따라 회유할 수 없다는 특징이 있습니다. 즉, 개발로 인한 피해를 그대로 받게 됩니다.

다량의 상괭이가 발견된 곳은 완도, 여수만, 가덕도 주변 해역인데 이곳은 해상풍력발전 수요가 높은 지역이기도 합니다. 또한 남방큰돌고래는 구좌읍, 성산읍, 대정읍 일대에서 육안으로 관찰할 수 있지만 이곳에서도 해상풍력이 추진되고 있습니다. 유네스코 세계자연유산에 등재된 신안갯벌의 철새 도래지에도 대규모 집적화단지가 추진되고 있습니다.

따라서, 이후승 발표자님께서 언급하신 것처럼, 사업 대상 해역에서 충실한 사전 조사 없는 해상풍력 확장은 생태계 서비스의 붕괴를 초래할 수 있습니다. 입지선정 단계에서 정부가 해양공간계획, 생물다양성 등을 고려하여 해역별로 체계적인 조사를 실시한다면, 자료에 대한 객관성을 높이고 주요 이해관계자들의 신뢰를 확보할 수 있을 것입니다.

우리 바다의 미래 심포지움 1세션 토론문

토론자: 안승혁(서울대학교 환경대학원 BK연구교수)

해상풍력이 환경에 미치는 영향을 입지 선정 과정에서 예측하고 대응 방안을 마련하는 것이 중요합니다. 먼저 장수정 연구사님의 해양환경영향평가 제도와 사례에 대한 발표 잘 들었습니다. 구체적인 조사 방법 등을 몰랐는데 파악할 수 있는 시간이 되어 유익했습니다. 현재 한국은 입지계획 단계에서는 영향평가 절차가 없고, 인허가 과정에서 해상풍력 규모에 따라 해수부의 해역이용영향평가와 환경부의 환경영향평가 제도를 적용하고 있습니다. 해상풍력 선진국들은 원스톱숍으로 단일 기관에서 인허가 과정을 총괄하여 한 번에 사업 승인을 받는 시스템을 운영하고 있고, 환경영향평가라는 하나의 제도를 적용하고 있습니다. 한국도 효율적이면서 효과적인 해상풍력 확대를 위해 원스톱숍 제도 도입이 시급하고, 환경영향평가로 일원화되는 방향을 생각해볼 수 있겠습니다. 또한 네덜란드나 덴마크처럼 주무부처를 해상풍력 입지계획을 포함하는 해양공간계획에 대한 전략환경평가는 해양 관련 부처가 담당하고, 그 후 입지 결정과 인허가 과정에서 영향평가는 기후/에너지 관련 부처가 담당하는 방식을 고려해볼 수 있을 것입니다.

발표를 통해 해양 생태계 영향을 평가하는 항목으로 동·식물플랑크톤, 저서생물, 어류, 해양포유류, 해양보호생물(잘피류)가 있고, 수중소음과 전자기장에 대한 내용이 포함되는 것을 확인할 수 있습니다. 네덜란드는 해양공간계획이 통합된 국가물프로그램에 국가 전체 해상풍력 입지계획이 포함되고, 전체 입지계획에 대해 중앙정부가 전략환경평가를 실시하며, 전략환경평가와 별도로 해양보호구역에 미치는 영향을 집중적으로 평가하기 위해 적절성평가(appropriate assessment)를 실시합니다. 그리고 사업자가 경매에 입찰하기 위한 입지를 결정하는 과정에서 중앙정부가 개별 입지별로 환경영향평가와 적절성평가를 실시하고, 경매 이후 사업자가 실시하는 환경영향평가는 따로 없습니다. 네덜란드의 전략환경평가, 환경영향평가, 적절성평가 모두 주변 다른 해상풍력으로 인한 영향까지 고려하는 누적영향을 별도의 평가 항목으로 포함하고 있습니다.

네덜란드의 해상풍력 전략환경평가와 환경영향평가 항목의 생태계 부분은 한국과 비슷한데, 특히 사향은 박쥐를 포함한다는 점입니다. 박쥐는 네덜란드뿐만 아니라 영국, 독일, 덴마크 등 유럽의 해상풍력 환경영향평가 과정에서 일관되게 평가되는 항목입니다. 평가서들을 보면 아직까지 해양 환경에서 박쥐 이동에 대한 조사가 부족하기 때문에 앞으로 연구가 필요하다는 설명과 함께, 충돌 사례에 대한 객관적인 증거가 부족하더라도 박쥐 보호를 위한 저감 조치가 필요하다는 권고를 하고 있습니다. 그리고 전략환경평가와 환경영향평가 과정에서 조류와 해양포유류의 경우는 모델링이나 기존 다른 사례를 기준으로 정량적인 피해 수치를 계산하여 분석하고, 나머지 항목은 관측 결과와 관련 연구를 바탕으로 영향을 질적으로 평가하고 있습니다. 한편 해양보호구역인 나투라 2000 지역에 대한 적절성평가의 경우는 전략환경평가 과정의 적절

성평가와 환경영향평가 과정의 적절성평가 항목에 차이를 보입니다. 전자의 경우는 생물종별로 평가하지 않고, 수중소음, 퇴적, 블레이드 충돌, 서식지 상실, 장벽 효과, 난류 및 성층, 전자기장 항목에 대한 영향을 건설, 운영, 해체 단계별로 평가하고 저감방안을 제시합니다. 후자는 평가 범위를 좁혀서 조류와 해양 포유류에 대해서만 나투라 2000 각 지역별로 충돌, 서식지 상실, 소음 영향을 정량적인 방식으로 구체적으로 평가하고 있습니다. 네덜란드는 전세계적으로 환경영향평가 제도가 가장 잘 발달한 국가이기 때문에 참고해보는 것도 괜찮을 것 같습니다.

이후승 연구위원님의 조류 관련 발표를 통해 국내외 현황에 대해서 잘 이해할 수 있었습니다. 해외의 경우 생태 빅데이터 구축을 통해 입지 선정 과정에서 환경 민감 지역을 피할 수 있는데, 한국은 이러한 시스템이 미흡한 수준이라는 점이 핵심적인 발표 내용이라고 판단됩니다. 최근 KEI가 중심이 되어 체계적인 정보구축을 통해 해양성 조류의 주요 생활권역과 생활패턴을 파악하고 이를 환경영향평가에 활용하는 점이 인상적이었습니다. 또한 서해안이 철새의 서식지로 매우 중요한 역할을 한다는 점은 현재 서해안에서 다수의 해상풍력이 우후죽순처럼 추진되고 있는 상황과 맞물려 고민이 필요한 부분인 것 같습니다. 해외의 경우 사업 전후 개체군 변동을 예측·평가하고, 집단번식지가 보호지역으로 지정되어 있으나, 한국은 그렇지 못하여 정책 개선이 필요하다는 지적에 공감했습니다.

네덜란드의 경우는 해상풍력 영향평가 과정에서 모델링 방법을 이용하여 정량적인 수치로 조류에 대한 영향을 분석하고 있습니다. 조류 세부 유형별로 확장 밴드 모델을 이용하여 조류 충돌로 인한 연간 예상 사망 조류 수, 생태 및 누적 프레임워크의 사망률 기준에 따른 서식지 손실로 인한 연간 예상 사망 조류 수를 계산하고, 텃새와 철새에 대해 공사 및 철거, 운영 단계 영향을 상세히 분석하고 있습니다. 해당 입지 충돌 및 서식지 손실 사망, 누적 충돌 사망, 서식지 손실 누적 사망, 잠재적 생물학적 제거(Potential Biological Removal, PBR) 계산 결과를 제시합니다. 여기서 PBR이란 최적의 지속가능성 수준을 유지하면서 자연적 사망이 아닌 인간 활동에 의한 사망 최대 수를 말하고, 텃새와 철새의 누적 사망률이 PBR 이내면 보존 상태가 손상되지 않을 것으로 평가합니다. 전략환경평가에서 조류 종별 영향을 종합적으로 검토한다면, 적절성평가에서는 개별 나투라 2000 지역별로 상세하게 영향을 분석합니다.

현재 한국의 가장 큰 문제는 해양보호구역 지정 범위가 매우 낮은 수준이라는 점입니다. 이후승 연구위원님이 제안한 것처럼 조류 집단번식지 등 생태적으로 가치 있는 종과 서식지를 중심으로 해양보호구역으로 지정하고, 이러한 보호지역에 대해 개체군 생존력 분석을 실시할 필요가 있습니다. 네덜란드, 독일, 영국, 덴마크 등 해외의 해상풍력 입지에 대한 전략환경평가서들을 보면 공통적으로 해상풍력 발전단지가 조류에 미치는 영향이 심각한 수준이 아니라고 평가를 내리고 있는데, 이는 처음부터 생태적으로 중요한 지역들을 피해서 입지를 선정했기 때문일 수 있다. KEI에서 구축한 해양성조류 공간이용 정보가 정부에서 추진하는 계획입지제도에 잘 반영이 되어 활용되면 좋을 것 같습니다.

이치안 어드바이저님이 소개해주신 오스테드의 넷 포지티브 생물다양성 영향 목표를 달성하기 위한 다양한 노력들이 인상적이었습니다. 특히 인공어초, 인공둥지의 효과가 궁금합니다. 그리고 대만의 해상풍력 사업을 대상으로 산호 복원 프로젝트를 시험하고, 조류 서식지 보전 이니셔티브를 개발 중이라고 하셨는데, 조류 서식지 보전 전략에 대한 좀 더 구체적인 설명과 언제쯤 실제 적용될 것으로 예상하는지 듣고 싶습니다.

해상풍력발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력 세미나 토론문

(‘24.04, 한국풍력산업협회 사무국)

□ 토론 요약

첫째, 우리는 경험이 많지 않다는 걸 서로 인정해야 한다.

선진 사례를 많이 갖고 있는 유럽과 우리 바다는 분명 차이가 있다. 선진 사례를 무분별하게 수용하는 데 경계해야 한다. 특히 우리 바다 갯벌과 생물체, 최근 수온 변화에 따른 영향, 해류에 대한 깊은 이해가 필요하다. 우리 바다와 시장, 산업을 잘 아는 각 전문가가 서로 지식과 인사이트를 공유할 수 있는 지적 플랫폼이 필요하다.

두 번째, 선택을 위해 필요한 건 무엇인가?

개발은 반드시 자연에 영향을 끼친다. 자연을 그대로 보존하고 문명의 이기를 어느 정도 포기해야 하는가. 아니면 개발에 대한 정밀한 보완 대책을 세우는게 최선인가? 재생에너지가 해양환경에 미치는 영향. 화석연료 사용이 기후와 인류 생존에 치명적인 영향을 준다는 통념, 반면 전통에너지 대비 에너지밀도가 낮은 만큼 규모를 확장할 수밖에 없는 재생에너지의 한계 등 여러 조건을 두고 국민 이해와 논의가 지속돼야 한다.

세 번째 환경영향평가(EIA, Environmental Impact Assessment)는 무엇인가?

환경영향평가는 사업 착공 전 ‘사전’적으로 환경 영향을 예상해 ‘저감’하고 ‘보완’하는 기능이다.

네 번째 환경단체와 에너지단체는 각자 분야에서 어떤 역할을 하고 어떤 책임을 지는가? 특히 녹-녹 갈등에서 어떤 선택을 하고 있는가?

해상풍력 해역이용영향평가 해양생태계 작성 가이드라인

(주)이엔씨기술
왕 순 영

세계풍력의날 사진공모전(2018) 수상작
© Dennis Schroeder, US



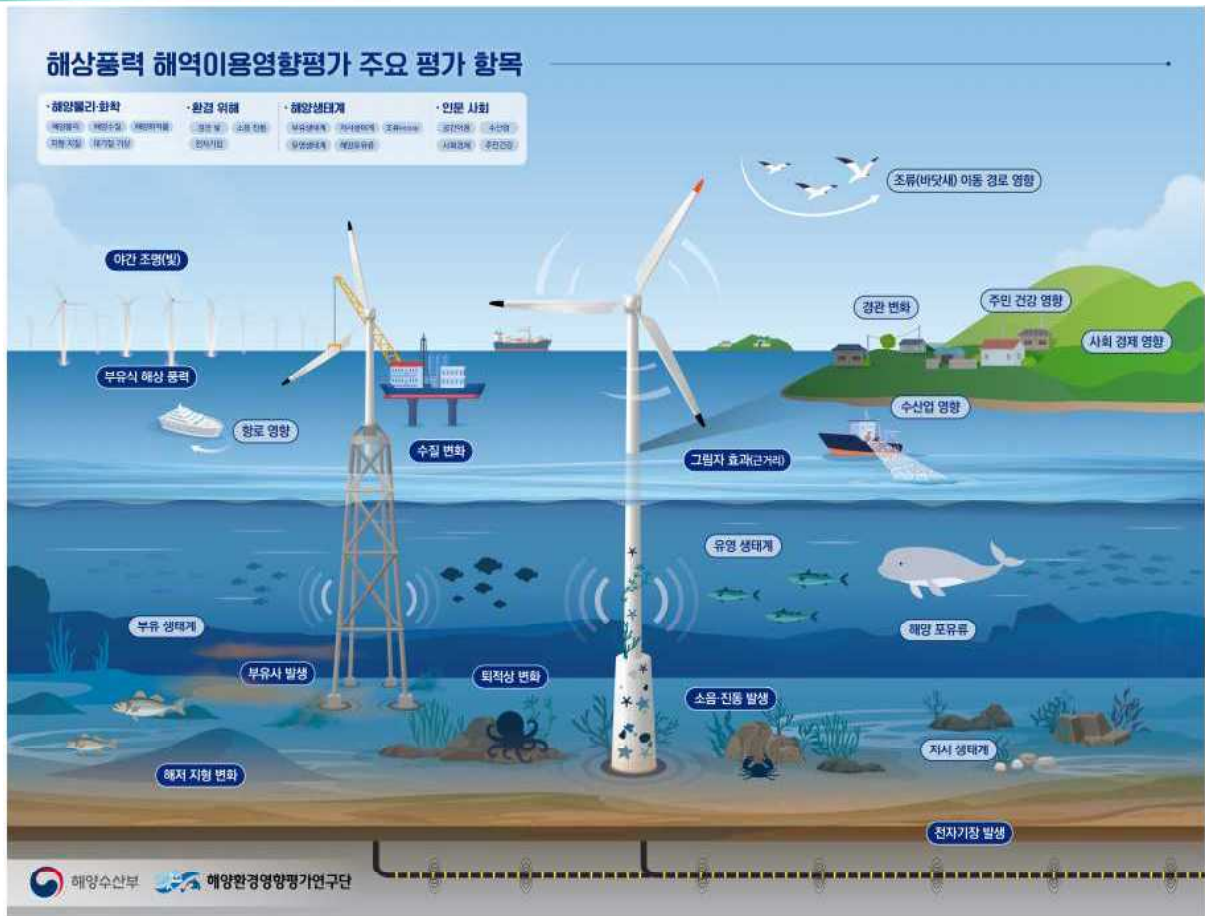
- 1. 부유생태계
- 2. 저서생태계
- 3. 유영생태계
- 4. 해양포유류
- 5. 조류
- 환경성 검토

평가서 작성 가이드라인

❖ 정부 보도자료로 공개 및 발표(23.12.)_가이드라인 (ver. 2)



평가서 작성 가이드라인



1. 부유생태계

✓ 조사항목

- 동·식물플랑크톤

✓ 조사지점 및 조사시기

항목	조사지점	조사시기	비고
식물플랑크톤 동물플랑크톤	• 최소 12정점	• 계절별 1회	• 직·간접영향 및 대조구 포함

- 발전 단지 규모(케이블 경과지 포함)와 해역특성을 고려하여 조사범위와 조사정점 선정

✓ 조사 및 활용 방법

항목	조사방법	제시 방법	활용방법
식물플랑크톤	<ul style="list-style-type: none"> • 정성 : Net 이용 수집채집 • 정량 : 채수기를 이용하여 수심 25 m 이내의 경우 표·저층, 이상의 경우 표·중·저층을 조사함 	<ul style="list-style-type: none"> • 종조성, 현존량, 우점종, 종다양성, 엽록소-a 분포 제시 • 사업지구 주변에 대한 기존 문헌조사 결과를 조사하여 현지조사 결과와 비교하여 변화양상 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사결과에 대한 분석을 통해 사업 지역 및 주변 해역에 대한 해양생태계 특성 분석에 활용함 • 사업으로 인한 영향예측 검토 자료 이용
동물플랑크톤	<ul style="list-style-type: none"> • 원추형 Net 이용하여 수직채집 (망구 60 cm, 망목 200 μm) • 네트링 입구 2/3 높이에 유량계 부착 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사결과는 도·표를 이용하여 상세히 제시함 • 출현종 목록은 각 조사지점 별로 제시함 	

2. 저서생태계

✓ 조사항목

- 조하대 연성기질 : 대형저서동물 및 해초류
- 조하대 경성기질 : 대형저서동물, 해조류 및 해양보호생물
- 조간대 : 대형저서동물(연성, 경성) 및 해조류

✓ 조사지점 및 조사시기

- 조하대 연성기질

항목	조사지점	조사시기	비고
대형저서동물	• 최소 12정점	• 계절별 1회	• 대조구 3개 이상 포함
해 초 류	<ul style="list-style-type: none"> • 최소 3정점 • 해저영상촬영 : 케이블 경과지 일대 	<ul style="list-style-type: none"> • 계절별 1회 • 해저영상촬영 : 공사전 1회 	<ul style="list-style-type: none"> • 대조구 1개 이상 포함 • 해저영상촬영 : 수심 10 m 이내, 폭 50 m 전수조사

- 해초류 : SCUBA diving 또는 ROV 등을 통하여 출현종 동정 및 서식현황(서식영상, 군락면적) 및 밀도 파악

- 조하대 경성기질

항목	조사지점	조사시기	비고
대형저서동물 해조류	• 최소 7정점	• 계절별 1회	• 대조구 2개 이상 포함
해양보호생물	<ul style="list-style-type: none"> • 최소 7정점 • 해저영상촬영 : 케이블 경과지 일대 	<ul style="list-style-type: none"> • 계절별 1회 • 해저영상촬영 : 공사전 1회 	<ul style="list-style-type: none"> • 대조구 2개 이상 포함 • 해저영상촬영 : 수심 10 m 이내, 폭 50 m 전수조사

- 조사해역의 경성기질 분포하는 수심에 따라 (상, 중, 하) 각 정점별 세부 수직정점을 선정

2. 저서생태계

• 조간대

항목	조사지점	조사시기	비고
대형저서동물 해조류	• 최소 7정점	• 계절별 1회	• 대조구 2개 이상 포함

- 갯벌 내 케이블 경과지 중심으로 좌우 20 m 범위 내에 각각 1개씩의 정점을 반드시 포함
- 사전평가를 통하여 해양보호생물 서식이 확인된 경우, 정량적 확인이 가능하도록 단위면적(m²)당 서식밀도 육안 확인

✓ 조사 및 활용 방법

• 조하대 연성기질

항목	조사방법	제시 방법	활용 방법
대형저서동물	<ul style="list-style-type: none"> • 케이블 경과지 수심 10m 이내의 서식지(폭 50 m) • 채집면적 0.2㎡가 되도록 실시 	<ul style="list-style-type: none"> • 군집구조(종조성, 서식밀도, 생체량 등) • 시·공간적 변화 양상 • 건강도 	<ul style="list-style-type: none"> • 해상풍력단지 해역의 대형저서동물 및 해조류 서식현황 파악 • 사업으로 인한 영향예측 검토 자료 이용
해조류	<ul style="list-style-type: none"> • 케이블 경과지 수심 10m 이내의 서식지(폭 50 m) • 방형구(50 cm x 50 cm) • 표본채취가 필요한 경우는 행정절차 	<ul style="list-style-type: none"> • 군집구조(서식양상, 군락면적 등) • 시·공간적 변화 양상 • 케이블 경과지 해조류 서식 유무 	

2. 저서생태계

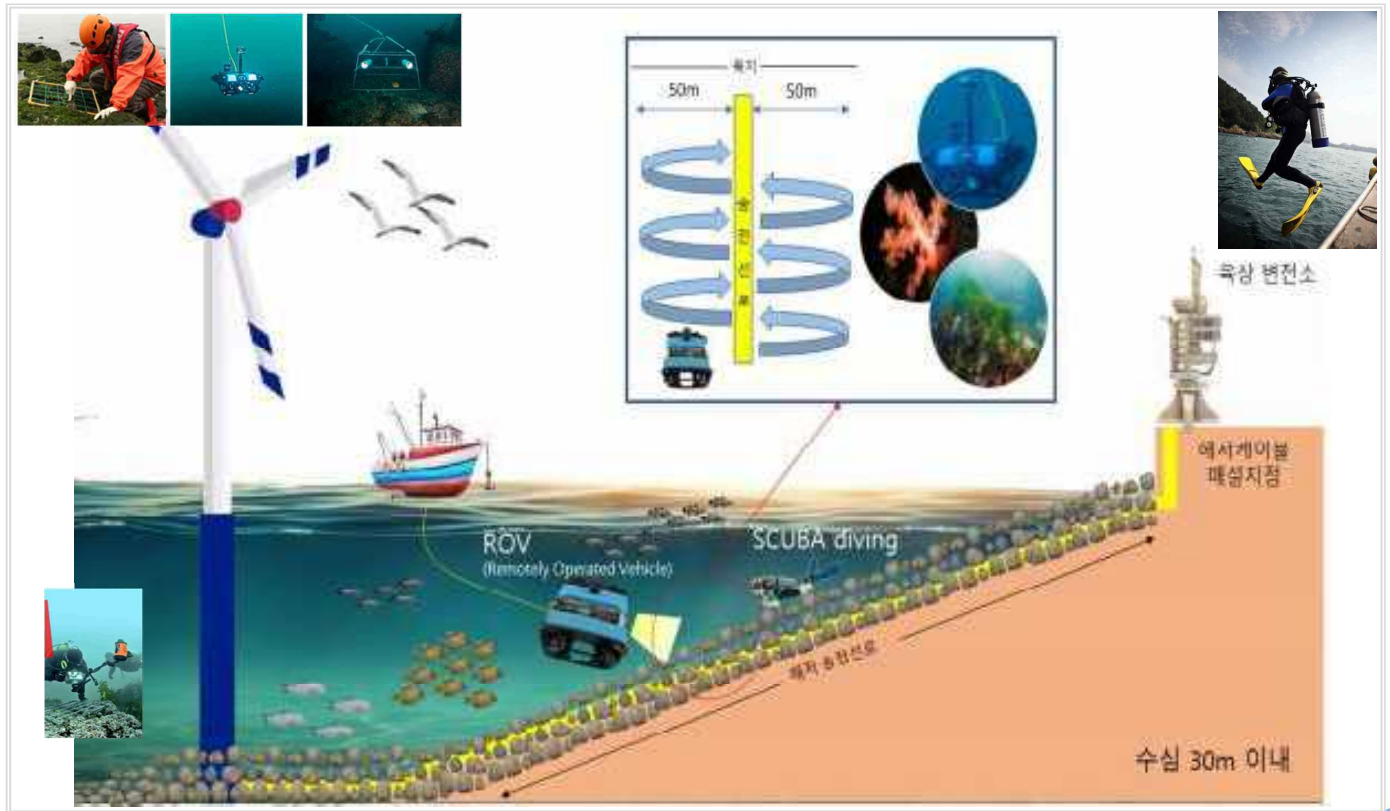
• 조하대 경성기질

항목	조사방법	제시 방법	활용 방법
대형저서동물 해조류	<ul style="list-style-type: none"> • 수중방형구를 이용하여 부착생물 전량채집(2회 반복) 	<ul style="list-style-type: none"> • 군집구조(종조성, 서식밀도, 생체량 등) • 시·공간적 변화 양상 	<ul style="list-style-type: none"> • 해상풍력단지 해역의 대형저서동물, 해조류 및 해양보호생물 서식현황 파악 • 사업으로 인한 영향예측 검토 자료 이용
해양보호생물	<ul style="list-style-type: none"> • 수중방형구를 이용하여 4회 반복 계수 • 서식현황(서식양상, 군락면적), 영상 • 표본채취가 필요한 경우는 행정절차 	<ul style="list-style-type: none"> • 군집구조(서식양상, 군락면적 등) • 시·공간적 변화 양상 • 케이블 경과지 해조류 서식 유무 	

• 조간대

항목	조사방법	제시 방법	활용 방법
대형저서동물 해조류	<ul style="list-style-type: none"> • 간조 노출정도에 따라 상-중-하부 총 3개 수직정점으로 구분(동해안은 2개) • 방형구내 부착생물 2회 반복 채집 	<ul style="list-style-type: none"> • 군집구조(종조성, 서식밀도, 생체량 등) • 시·공간적 변화 양상 	<ul style="list-style-type: none"> • 해상풍력단지 해역의 대형저서동물, 해조류 서식현황 파악 • 사업으로 인한 영향예측 검토 자료 이용

2. 저서생태계



3. 유영생태계

✓ 조사항목

- 어란 및 자치어
- 어류 및 수산자원

✓ 조사지점 및 조사시기

항목	조사 지점	조사시기	비고
어란 및 자치어	• 최소 12정점	• 계절별 1회	• 직·간접영향 및 대조구 포함
어류 및 수산자원	• 최소 6정점		

- 어류 및 수산자원 : 조사에 사용한 어구 및 조사시간(트롤업인 시간 및 면적, 상용어구 침지시간)을 제시

✓ 조사 및 활용 방법

항목	조사 방법	제시 방법	활용 방법
어란 및 자치어	• 네트(망구80 cm, 망목 300 μm)를 사용하여 경사 및 수평채집 병행	<ul style="list-style-type: none"> • 종조성, 현존량, 우점종, DNA(어란 및 자치어) 분석 • 사업지구 주변에 대한 문헌조사 결과와 현지 조사 결과를 비교하여 변화양상 분석 • 조사결과는 도·표를 이용하여 상세히 제시함 • DNA 분석결과는 중수준까지 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사결과에 대한 분석을 통해 사업 지역 및 주변 해역에 대한 해양생태계 특성 분석에 활용함 • 사업으로 인한 영향예측 검토 자료 이용
어류 및 수산자원	• 상용어구를 사용한 현장조사시 적정한 노력량(자망폭수 및 통발 개수)을 투입		

3. 유영생태계

Species	DNA barcode
<i>P. maculatus</i> (M)	
<i>P. maculatus</i> (M)	
<i>P. maculatus</i> (M)	
<i>L. octofasciatus</i> (N-M)	
<i>L. octofasciatus</i> (N-M)	
<i>P. maculatus</i> (M)	

부유성 어란 중 동정: DNA 바코딩과 메타바코딩

4. 해양포유류

- ✓ **조사항목**
 - 수염고래류, 이빨고래류, 기각류

✓ 조사범위 및 조사시기

항목	조사 범위	조사 시기
해양포유류	• 해상풍력 사업지구를 포함한 최외곽 경계로부터 5km 이상	• 최소 4회/년

✓ 조사 및 활용 방법

항목	조사 방법	제시 방법	활용 방법
해양포유류	<ul style="list-style-type: none"> 1회 조사 시 조사구역 전체면적의 최소 70% 이상 면적을 포함하도록 관측 선박 또는 항공기를 사용하여 목시관측 또는 영상촬영 	<ul style="list-style-type: none"> 공간분포 지도 제시(시계열 자료 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> 공사 및 운영시 발생소음으로 인한 해양포유류 영향에 대한 저감방안 수립

- 해양보호생물 서식실태 조사 지침, 해양수산부(2018년) 참조
 - 수중 음향조사를 통한 상괘이 출현특성 파악(클릭음) 고려

4. 해양포유류








• 목시조사



• 무인기 조사



• Beaufort sea state

[해상 구분 코드]

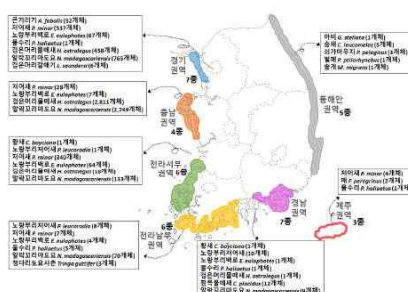
계급	구분	파고 (m)
0	고요 (거울처럼), Calm (Glassy)	0
1	고요 (잔잔함), Calm (Rippled)	0 ~ 0.1
2	평온함, Smooth sea	0.1 ~ 0.5
3	아주 약한 파도, Slight sea	0.5 ~ 1.25
4	약한 파도, Moderate sea	1.25 ~ 2.5
5	거친 바다, Rough sea	2.5 ~ 4
6	아주 거친 바다, Very rough sea	4 ~ 6
7	격랑, High sea	6 ~ 9
8	폭풍우, Very high sea	9 ~ 14
9	강한 폭풍우, Phenomenal	>14

5. 조류

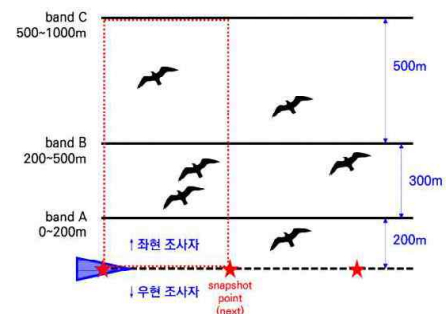
- ✓ **조사항목**
 - 다양성 및 분포, 공간이용, 번식지, 법정보호종

✓ 조사범위 및 조사시기



항목	조사범위	조사시기
조류	<ul style="list-style-type: none"> • 해상풍력 사업지구를 포함한 20km 이내 - 해안 및 육상 : 반경 10km 이내 및 송전케이블이 매설되는 조간대 해안에 출현하는 섬금류 (도요물떼새류, 저어새류, 백로류 등)를 포함한 모든 육상조류 - 번식지 : 사업지구 및 인근해역(20km 이내) 집단 번식지 	• 월 1회/년



2021년 조사 권역별 바닷새 법정보호종 분포 현황



3밴드 선형 횡단조사와 스냅샷 조사기법 모식도

5. 조류

✓ 조사 및 활용 방법

항목	조사방법	제시방법	활용방법
다양성 및 분포조사	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구를 대상으로 현장조사 - 해안, 육상, 선박, 항공조사 월 1회/년 해안, 육상 및 송전케이블 매설되는 조간대의 사업영향구역, 문헌조사에서 확인된 주요 지점을 대상으로 현장조사 	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구의 조류 종, 개체수, 밀도 현황 결과를 도·표 및 사진 제시 보호종의 현황과 분포 제시 우점종, 번식종 및 법정보호종의 시공간적 분포와 다양성 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 조사지역내 서식조류의 시공간적 분포를 파악하여 해당 지역의 보전적 중요성 및 핵심 서식지 파악
공간이용 조사	<ul style="list-style-type: none"> 현장조사와 함께 사업지구 및 인근해역을 이용하는 종에 대한 위치추적조사 및 레이더 조사 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구의 조류 종, 개체수, 밀도 현황 결과를 도·표 및 사진 제시 위치추적조사 또는 레이더조사를 통하여 해당 지역을 통과하는 사례를 바탕으로 조류의 이동 궤적, 경로, 고도 및 주요서식지(번식지, 먹이터, 이동경로, 휴식지) 정보 	<ul style="list-style-type: none"> 조사지역내 서식조류의 시공간적 분포를 파악하여 직간접적인 영향 예측 충돌위험과 회피행동 등을 객관적으로 평가하기 위한 자료 확보 목시조사, 관찰조사에 기반한 자료의 한계(야간, 저시정 등)를 보완하여 정밀한 서식현황과 공간분포의 정량화
번식지 조사	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구 및 인근해역내 집단 번식지의 종별개체수(둥지 수) 현황기록 현장조사 및 무인음향기록장치를 이용한 미기록 번식지 발굴 번식이 야간활동이 활발한 종(슴새류, 바다쇠오리류)의 야간 조사시 탐조등 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 조사지역내의 집단번식지의 종별 개체수, 둥지 수, 각종 번식지표 등의 현황 제시 무인음향 녹음장치를 이용한 모니터링 원 자료 	<ul style="list-style-type: none"> 바닷새 집단번식지의 동향을 기록하여 풍력발전단지가 바닷새 개체군에 미치는 장기적 영향 파악 사업지구내 인접한 곳에 바닷새의 집단 번식지가 없음을 확인
법정 보호종	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구 및 인근해역에서 확인되는 모든 법정보호종의 출현 및 서식정보 	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구 및 인근해역에 출현한 법정 보호종의 종수, 개체수, 분포 현황 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 사업지구내 출현하는 법정보호종의 저감대책 및 조치

인문·사회

수산업

✓ 조사항목

- 어업권, 어업생산량, 국가중요 어업유산

✓ 조사범위 및 조사시기

항목	조사범위	조사시기
수산업	<ul style="list-style-type: none"> 해상풍력 사업 규모, 특성 및 지리적·사회적 영향을 감안하여 변화가 예상되는 지역의 어업권 및 어업생산량 조사 면허, 허가, 신고어업 및 국가중요 어업유산에 대한 조사 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 연 1회(수시)

✓ 조사 및 활용 방법

항목	제시 방법	활용 방법
어업권 어업생산량	<ul style="list-style-type: none"> 어업권 현황 및 어업권별 생산량 분석 사업지역 인근 수협이 계통판매 자료(최소 5년간) 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 해상풍력단지 사업으로 인한 수산업 영향 지역 파악 및 영향예측 자료 이용
국가중요 어업유산	<ul style="list-style-type: none"> 수산업 생산과 구조변화 및 국가중요 어업유산에 미치는 영향 	

수산업

어업생산통계 (단위: MT)

비교	2019년	2020년	2021년
합계	3,860,989	3,712,873	3,820,048
일반해면	911,882	933,890	941,069
경제양식	2,410,040	2,308,497	2,397,490
내수면	35,292	33,989	42,663

제1호 제주 해녀어업 (2015.12.21 지정)

국가중요어업유산

바다에서 살은 우리 어촌의 진정한 유산
국가중요어업유산

제5호 원도 지주식 김 양식업 (2017.12.1 지정)

해양생태계 조사 및 평가 가이드라인

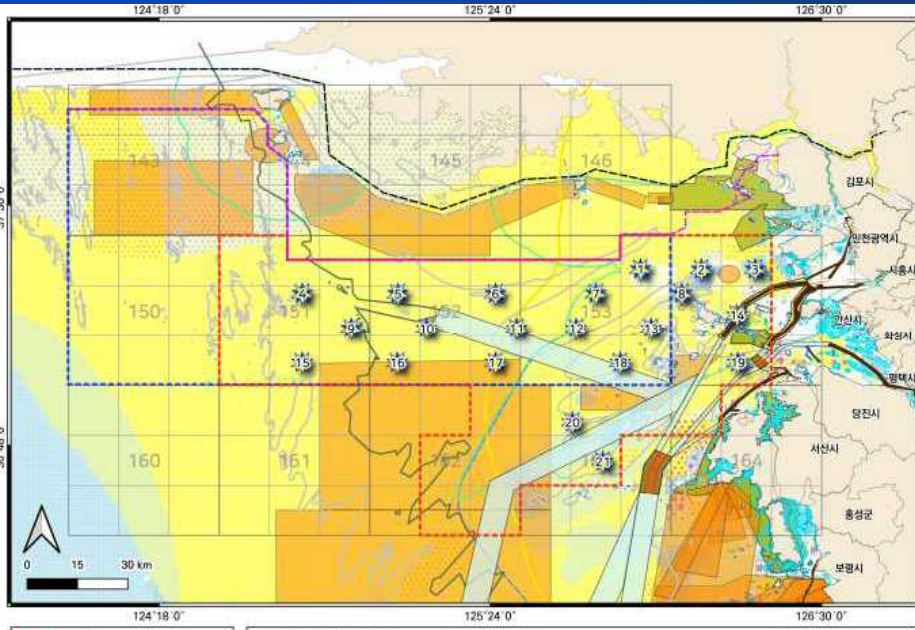
해양풍력 해역이용영향평가 평가서 작성 가이드라인
THE GUIDELINE FOR SEA AREA UTILIZATION IMPACT ASSESSMENT(SAUIA) OF OFFSHORE WIND POWER
2023.12. | 2.0 버전 |

국가 해양생태계 종합조사 조사 지침서
Protocol of National Marine Ecosystem Monitoring Program
2019 개정판 (3rd Edition)

해양풍력발전 환경조사·평가 매뉴얼
2021. 6.

해양수산부, 환경부, KEI (한국환경정책·평가연구원)

범위, 주기 및 정점



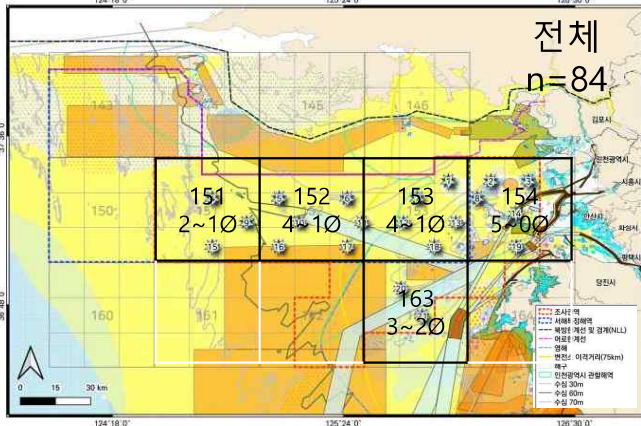
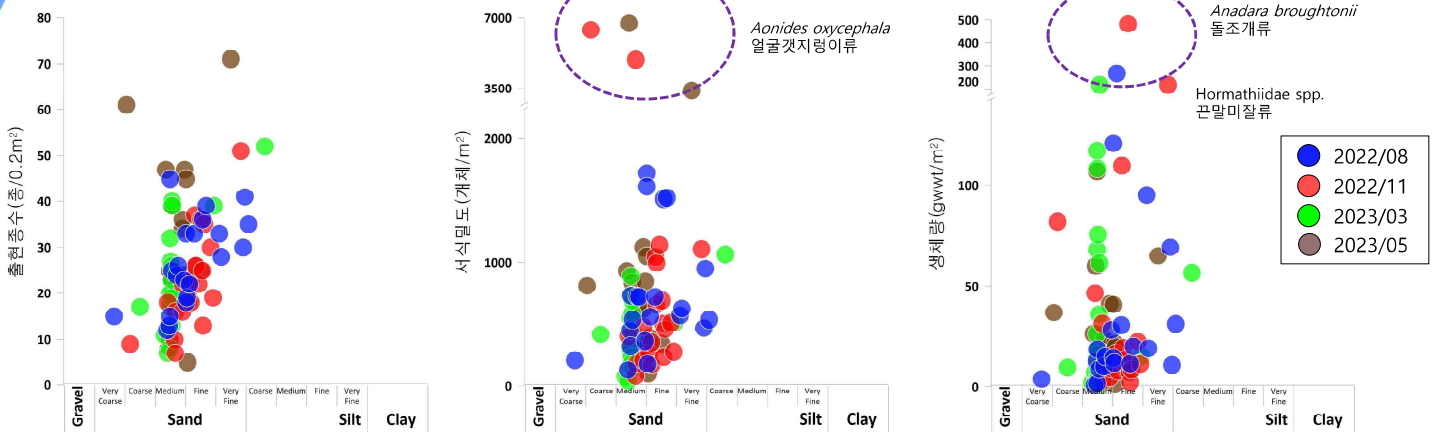
- 정점 간 거리 12km 이상
- 다양한 퇴적상 및 수심 고려
- 5개 해구, 21개 정점

대형저서동물

차수	조사 시기
1차	2022년 08월 - 09월
2차	2022년 11월 - 12월
3차	2023년 03월
4차	2023년 05월



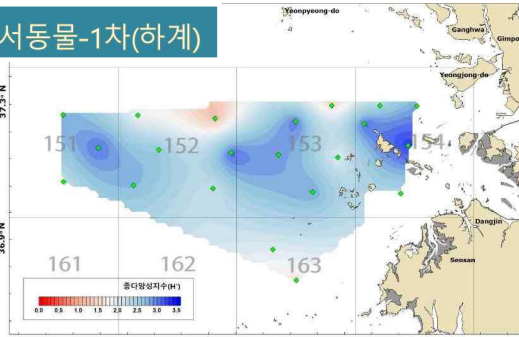
퇴적상에 따른 대형저서동물 단변량 분포



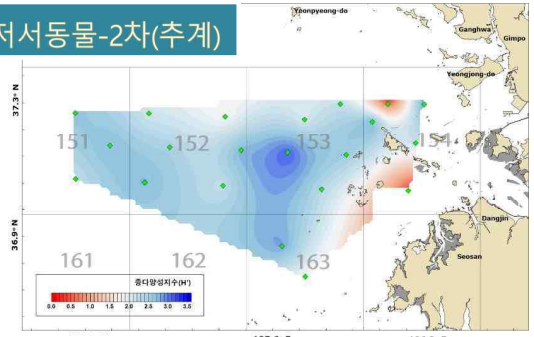
- 모래함량이 많은 정점에서 수행되었으며, 중립사~ 세립사 구간 표본수가 높음
- 얼굴갯지렁이류(*A. oxycephala*)는 연안인근에서 추계와 춘계에 높은 서식밀도를 보임
- 단일개체당 생체량이 높은 산호충류 및 이매패류로 시기별로 큰 편차를 보임

대형저서동물 종다양도지수(H)

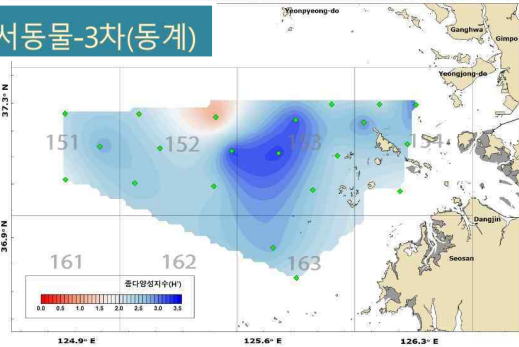
대형저서동물-1차(하계)



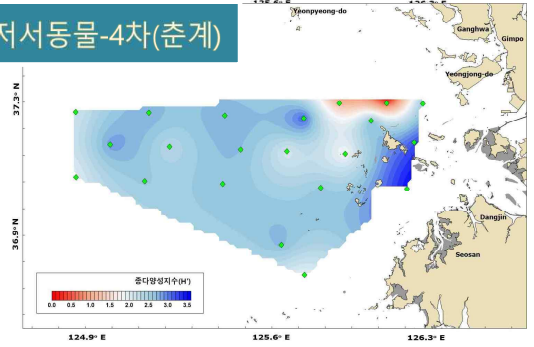
대형저서동물-2차(추계)



대형저서동물-3차(동계)



대형저서동물-4차(춘계)



- 종다양성지수는 계절성을 보임
- 연안인근 해역에서 종다양성 지수 변동폭이 큼

심층분석



활용방안1)

퇴적유형별 대형저서동물군집 특성

분석자료: 대상해역 현장조사

퇴적상 파악

- 평균입경, 분급도, 수심

퇴적환경 및 대형저서동물 범주화

- 퇴적 및 대형저서동물 시·공간분포

범주화를 통한 유형별 저서동물 군집 평가

- 종다양성지수(H')
- 저서오염지수(Benthic Pollution Index)
- 건강도 지수(ISEP index)
- 다모류/단각류 비율(PAR)
- ABC curve



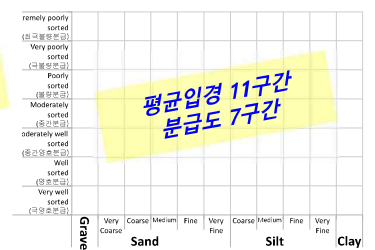
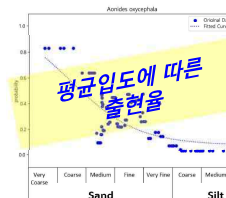
활용방안2)

주요 종 서식범위

분석자료: 대상해역 현장조사 + 연안생태계 조사

주요 종에 대한 서식범위 파악

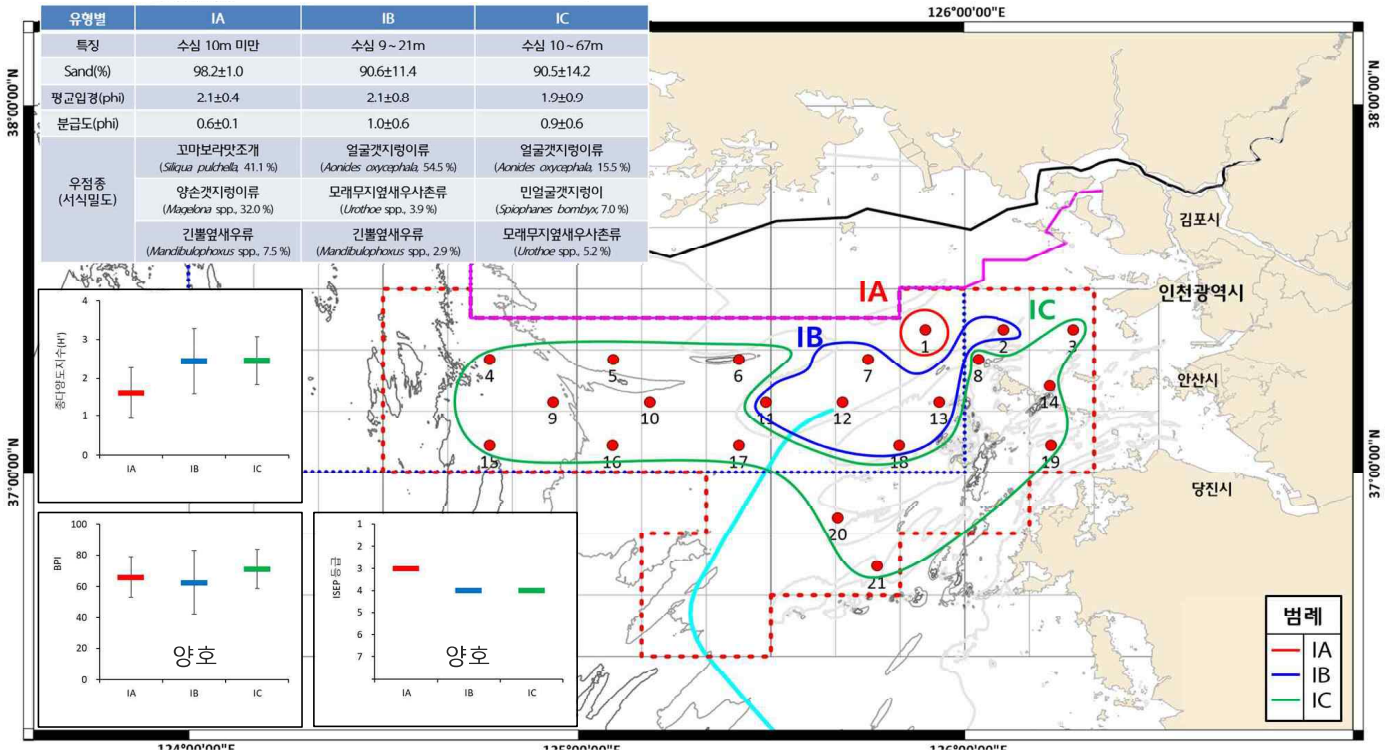
- 서식밀도 기준 상위 우점종 선별 후 주요 종 선정(4종)
- 서식범위: 퇴적환경에 따른 출현율
퇴적환경 유형에 따른 분포



향후 풍력단지 예측을 위한 기초 자료 제공

퇴적학적 기반 저서동물 자료 확보

(1) 퇴적유형별 대형저서동물군집 특성



- 수심, 퇴적환경을 고려하여, 3개 유형으로 구분됨(IA, IB, IC)
- 유형 중 IA 종다양도지수가 낮으나, 모든 유형이 양호한 건강도를 보임

(1) 퇴적유형별 대형저서동물군집 특성

인천

유형별 최우점종	공사 전(계획)	공사 시	운영 시	Type	특성
IA				IA	지리적 환경 : 수심 10m 미만 퇴적 환경 : 모래함량 90% 이상 저서 생태 : - 이매패류 우점 - 양호한 군집
IB				IB	지리적 환경 : 수심 9~21m 퇴적 환경 : 모래함량 90% 이상 저서 생태 : - 다모류와 단각류 우점 - 양호한 군집
IC				IC	지리적 환경 : 수심 10~67m 퇴적 환경 : 모래함량 90% 이상 저서 생태 : - 다모류 우점 - 양호한 군집

Biota key

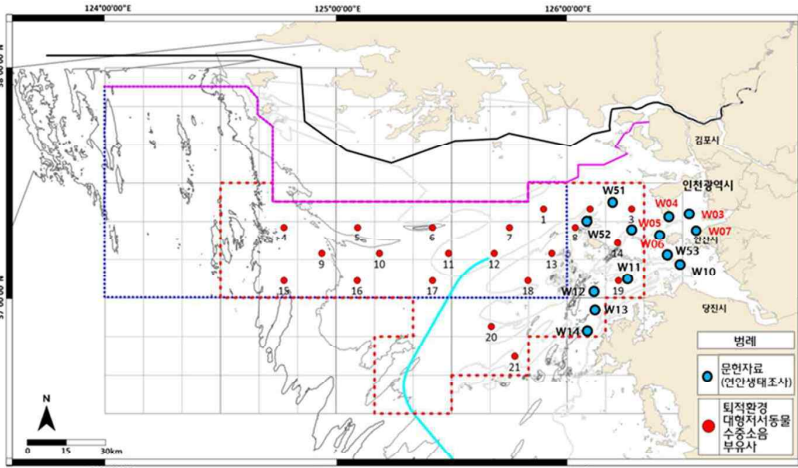
<p>Anelida-Polychaeta</p> <i>Aonides oxycephala</i> (얼굴갯지렁이류) <i>Spiophanes bombyx</i> (민얼굴갯지렁이) <i>Magelona</i> spp. (양손갯지렁이류)	<p>Arthropoda-Amphipoda</p> <i>Mandibulophoxus</i> spp. (긴뿔옆새우류) <i>Urothoe</i> spp. (모래무지옆새우사촌류)	<p>Mollusca-Bivalvia</p> <i>Siliqua pulchella</i> (꼬마보라맛조개)
--	---	--

해역 특성자료 구축

- : 해상풍력단지 환경성 정보 제공
- : 퇴적 환경 및 생물상 변화 평가 예측
- 기초자료 활용

(2) 주요 종 서식범위 파악

퇴적환경(평균입경_분급도) 분포



연안생태계 자료 추가 확보

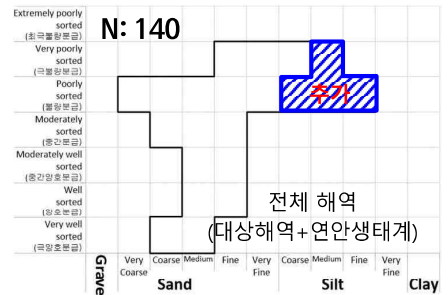
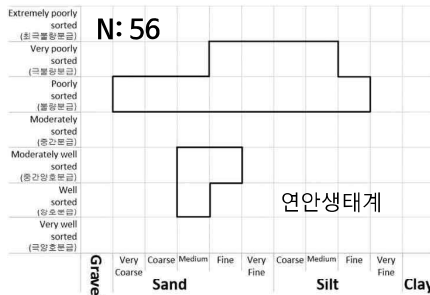
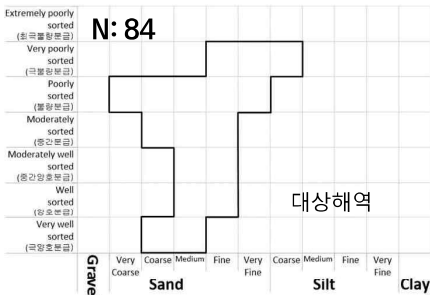
- 연안생태조사(법정조사)
- 2021~2022년, 13개 정점

펼함량이 높은 퇴적환경 자료

추가 확보(4개 구간)

- 입경: 극조립사에서 세립실트
- 분급도: 극양호에서 극불량

77개 유형 중
21개 퇴적환경정보 대변



(2) 주요 종 서식범위 파악

주요 종 선정 및 목록

분류군	국명(학명)	점유율(%)	출현 빈도(%)	분포
다모류	얼굴갯지렁이류(<i>Aonides oxycephala</i>)	29.3	26.4	전 해역
다모류	고리버들갯지렁이(<i>Heteromastus filiformis</i>)	3.6	47.9	문헌
단각류	모래무지옆새우사촌류(<i>Urothoe</i> spp.)	2.4	48.6	-
다모류	은갯지렁이(<i>Paralacydonia paradoxa</i>)	2.3	47.9	-
다모류	민얼굴갯지렁이(<i>Spiophanes bombyx</i>)	2.1	31.4	본조사
단각류	안경옆새우류(<i>Ampelisca</i> spp.)	2.1	50.7	-
다모류	가는버들갯지렁이(<i>Notomastus latericeus</i>)	1.6	33.6	-
다모류	얼굴갯지렁이류(<i>Prionospio paradisea</i>)	1.2	50.0	-
다모류	버들갯지렁이류(<i>Mediomastus californiensis</i>)	1.2	32.9	-
다모류	유령갯지렁이(<i>Amaeana occidentalis</i>)	1.1	27.1	-
다모류	별난가시갯지렁이류(<i>Aricidea (Acmira) assimilis</i>)	1.0	30.0	-
단각류	긴뿔옆새우류(<i>Mandibulophoxus</i> spp.)	1.0	35.7	본조사

상위 우점종 선별

- 점유율: 1.0% 이상
- 출현빈도: 25.0% 이상
- 총 12종 선별 (다모류 9종, 단각류 3종)

주요 종 선정

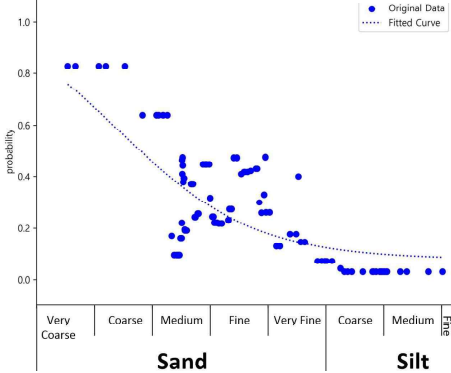
- 다양한 퇴적 환경에 대한 종 서식 범위 정보 확보
- 종별 공간적 분포 양상 고려
- 총 4종 선정 (다모류 3종, 단각류 1종)



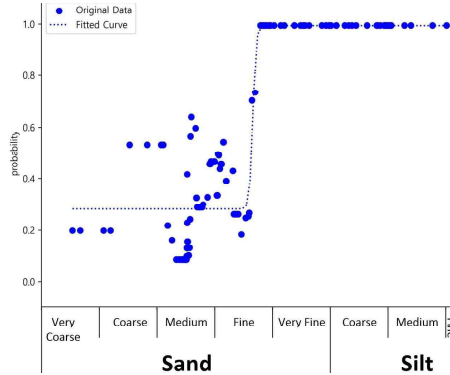
(2) 주요 종 서식범위 파악

퇴적환경에 따른 주요 종 출현율

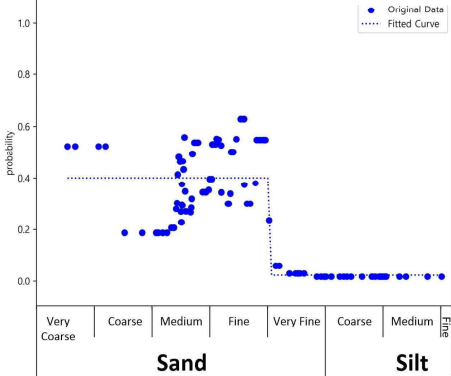
얼굴갯지렁이류(*Aonides oxycephala*)



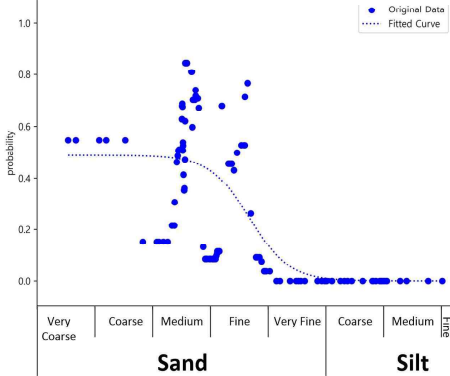
고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)



민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*)



긴뿔옆새우류(*Mandibulophoxus spp.*)



분석 방법

- SDM(Species Distribution Modeling) 사용
- 종 출현유무: 0, 1로 변환
- 출현확률: 0(0%)~1(100%)
- 총 4종 선별 (다모류 3종, 단각류 1종)

종별 출현율

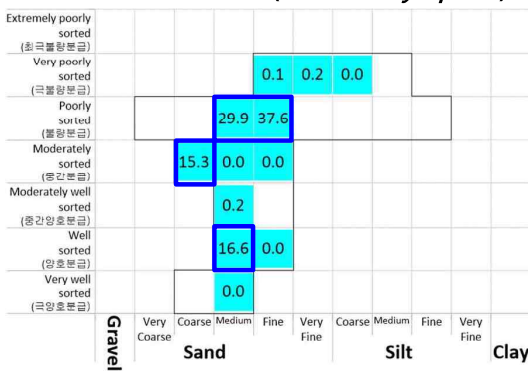
- 퇴적 환경에 대한 다양한 종 서식 범위 정보 확인
- 조립질 높은 출현율: 얼굴갯지렁이류, 민얼굴갯지렁이류, 긴뿔옆새우류
- 세립질 높은 출현율: 고리버들갯지렁이

(2) 주요 종 서식범위 파악

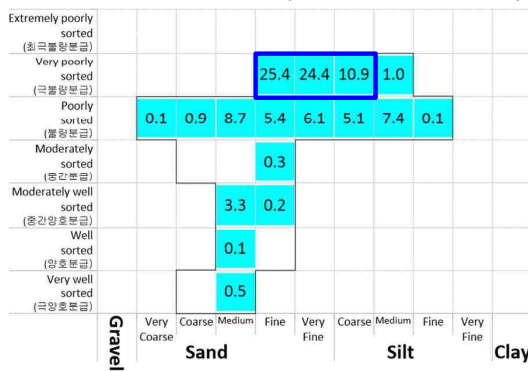
퇴적환경 유형별 주요 종 분포 범위

□ 점유율 10.0% 이상

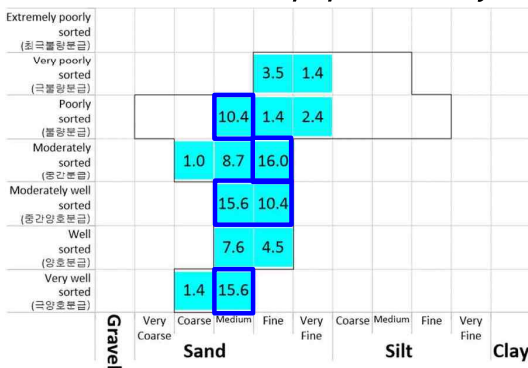
얼굴갯지렁이류(*Aonides oxycephala*)



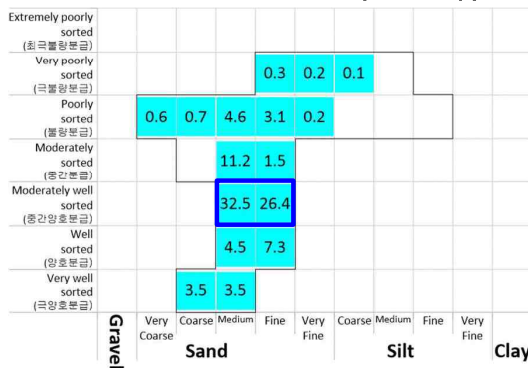
고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)



민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*)



긴뿔옆새우류(*Mandibulophoxus spp.*)



고리버들갯지렁이

- 극불량분급
- 세립사~조립실트

긴뿔옆새우류

- 중간양호분급
- 중립사~세립사

얼굴갯지렁이류, 민얼굴갯지렁이

- 모래함량
- 불량~양호분급

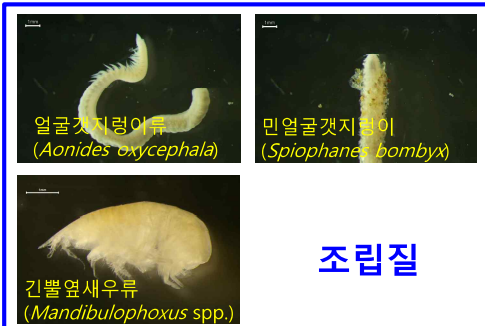
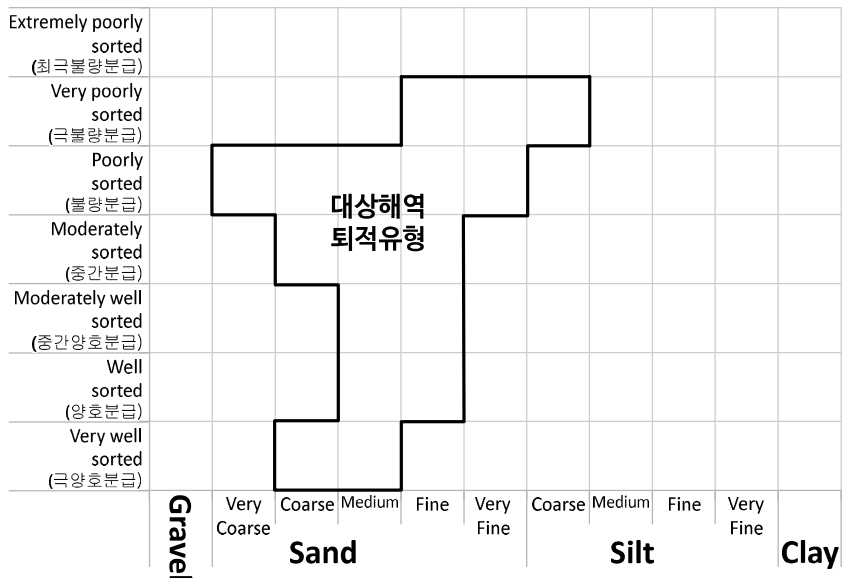
퇴적환경 유형에 따라 종별 분포 범위 및 점유율 구간이 다양함

(2) 주요 종 서식범위 파악

인위적인 영향으로 인한 퇴적 환경변화
대형저서동물 생물상 변화경향 예측 가능

퇴적환경 환경 변화에 따라

- 선호하는 종 출현률 감소
- 기회주의종 또는 우점종 변화



조립질



세립질
기회주의종

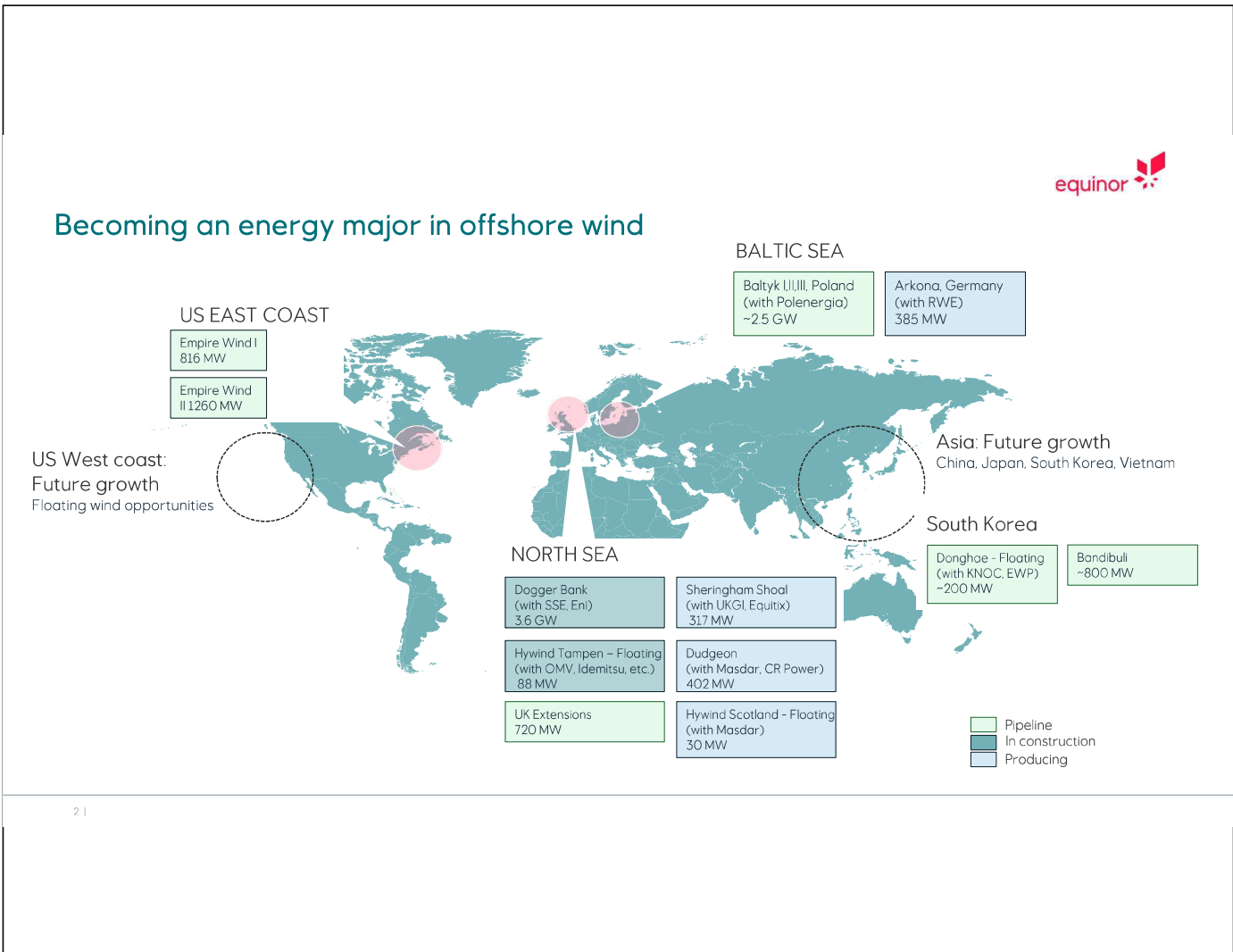


Photo: Karoline Rivero Bernacki, Equinor

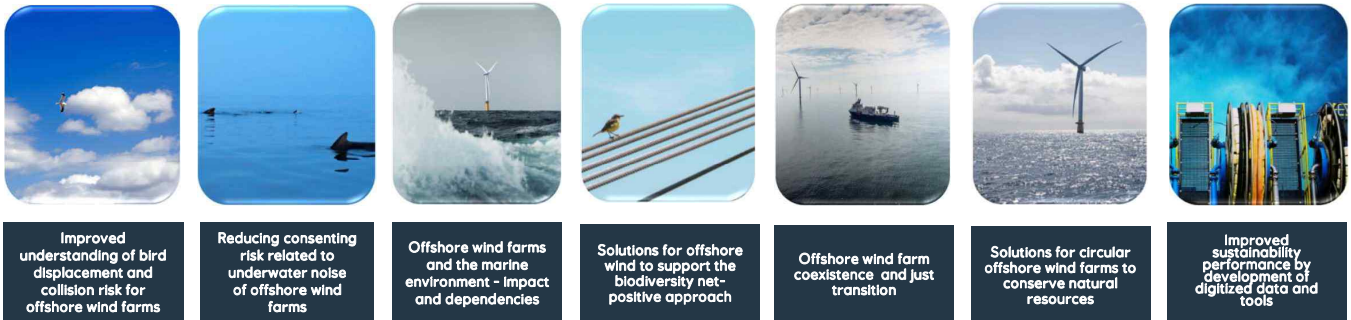
Case study: eDNA

Piloting and Validating Mapping and Monitoring Technologies for Pelagic Fish Biodiversity in Floating Offshore Wind Farms

Kari Mette Murvoll



Equinor Sustainability Research Portfolio focused on Offshore Wind



- Improved understanding of bird displacement and collision risk for offshore wind farms
- Reducing consenting risk related to underwater noise of offshore wind farms
- Offshore wind farms and the marine environment - Impact and dependencies
- Solutions for offshore wind to support the biodiversity net-positive approach
- Offshore wind farm coexistence and just transition
- Solutions for circular offshore wind farms to conserve natural resources
- Improved sustainability performance by development of digitized data and tools

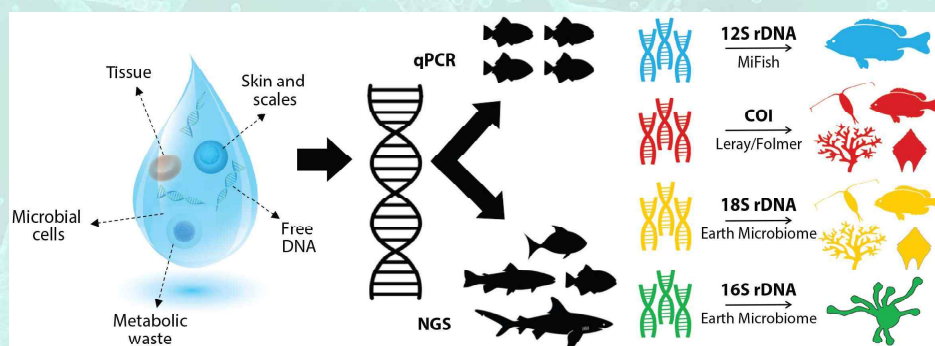
Ecosystem impact and risk Coexistence Circularity Sustainability data quantification and analysis

Pictures: Equinor media bank

Open

Technology development - Fish Biodiversity Mapping and Monitoring Environmental DNA (eDNA)

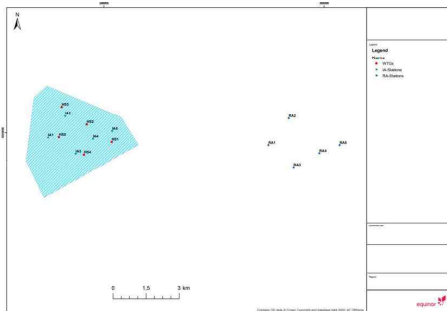
- eDNA** is genetic material shed by organisms into the environment including extracellular DNA, whole cells and even complete organisms. eDNA can be collected from environmental samples such as marine sediments, water, ice, soil and air
- Metabarcoding** is a molecular biology technique that involves the amplification and sequencing of DNA markers in environmental samples, enabling the identification and characterization of biodiversity within these samples.



Chavez et al., 2021

eDNA pilot study in Hywind Scotland – Summer 2021

- Water sampling performed 10 August 2021
- Purpose: to help maturing the eDNA technology in marine waters and to map pelagic fish species in the farm area
- Using traditional methods (pelagic trawling) are difficult in floating offshore wind farms
- eDNA is a non-destructive technology
- Knowledge about *biodiversity* in areas Equinor operates is crucial



5 |

Open

eDNA pilot study in Hywind Scotland – Summer 2021, cont.

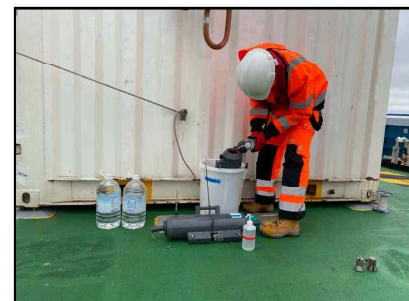
Photo credit: Jessica Ray @ Norce Research



Simple lab in a 10 ft container for filtration of water samples



Water sampling with Niskin bottles using crane and winch



Cleaning procedures to avoid contamination necessary

6 |

Open

eDNA pilot study in Hywind Scotland – Summer 2021, cont.



Photo credit: Tom Kleindinst @ Woods Hole Oceanographic Institution

Table 2. Primers and probes used in the study. References for all primer and probe sequences can be found in Section 2.4 and 2.5 of the Materials & Methods.

Oligo name	5'-3' DNA sequence	Final conc.	Function
ddPCR <i>Scomber scombrus</i> (Atlantic mackerel)			
Scosco_CYBF14517	TTCCTGCTGGTCTCTGTT	400 nM	forward primer
Scosco_CYBR14597	GCGGACTGAGTTGAATGCTG	800 nM	reverse primer
Scosco_CYBP14541*	TTCCCAATCCTCACAGGACTATTC	200 nM	probe
ddPCR <i>Clupea harengus</i> (Atlantic herring)			
Cluhar_CYBF14928	CCCATTGTGATTGACAGGGG	200nM	forward primer
Cluhar_CYBR15013	CTGAGTTAAGTCCCTGCCGGG	1000 nM	reverse primer
Cluhar_CYBP14949*	TACTATTCTCCACCTCTGTTCCTC	200 nM	probe
Metabarcoding 18S (V1-V2) ribosomal RNA gene			
SSU_F04mod	GCTTGWCTCAAAGATTAAAGCC	240 nM	forward primer
SSU_R22	CCTGTGCCTTCCTTRGA	240 nM	reverse primer
Metabarcoding MiFish			
MiFish-U-F	GTCCGTAATAACTGCTGCAGC	300 nM	forward primer
MiFish-U-R	CATAGTGGGGTACTAATCCAGTTTG	300 nM	reverse primer

* ddPCR probes were modified at the 5'-end with the 6-FAM fluorophore and at the 3'-end with the BHQ1 fluorescence quencher

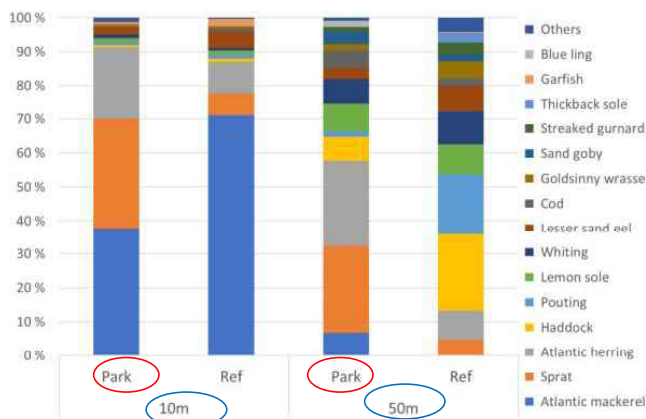
eDNA analysis is dependent on

- Markers
- Primers
- Reference libraries from the environmental region and taxonomic group in question

eDNA analysed according to two different approaches:

- Metabarcoding (MiFish/18S)
- ddPCR (semi-quantitative)

Results: diversity (species composition) and relative abundance (MiFish)



26 fish species detected

Compared to the reference area, the wind farm area had higher abundances of sprat and herring

The method is able to detect differences in relative abundance at the time of sampling

Figure 12. Comparison of relative abundance of the 15 species with highest number of identified sequences in the MiFish dataset at 10 and 50 m depth, and between wind farm and reference area.

Note: this is no exact estimation of biomass. The results cover the species identified and their relative abundance (from the strength of signals/number of sequences read)

Results: diversity (species composition) and relative abundance (MiFish), cont.

Table 3. Absolute abundance of sequence reads for the top fish species as identified by the MitoFish database from the MiFish dataset, by depth including both farm and reference area.

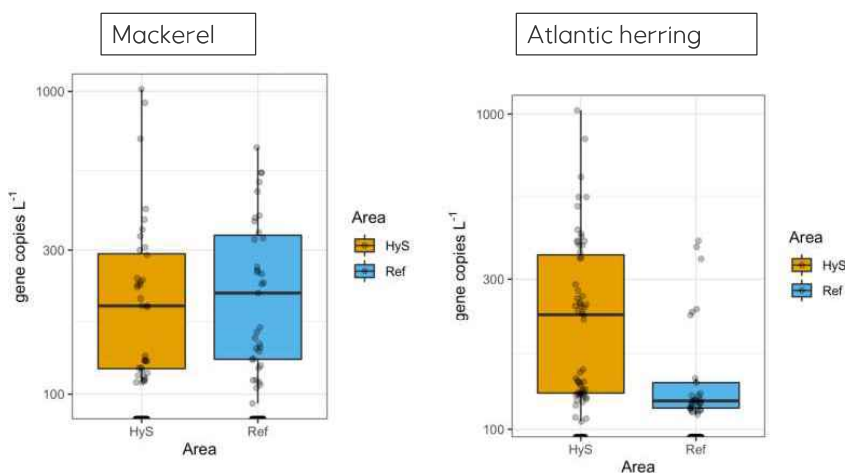
Species	10m	50m	Species	10m	50m
Atlantic mackerel*	873134	51575	Sand goby	9	41805
Sprat*	380811	224977	Grey gurnard	6	34248
Atlantic herring*	284788	251808	Thickback sole	2046	20545
Haddock	13559	211917	Garfish*	19763	1873
Pouting	16297	135808	Blue ling	1015	13861
Lemon sole	21993	126746	Plaice	5	8337
Whiting	16232	123812	Lumpsucker	1	8252
Lesser sand eel	53266	77677	Fourbeard rockling	7662	1
Cod	9786	53909	Others	8416	19524
Goldsinny wrasse	9374	50638			

Pelagic mackerel, sprat and atlantic herring were more common in the 10 m samples than at 50 m

Demersal fish species like cod, sand goby and plaice were more common in 50 m samples than at 10 m

Promising results for the suitability of the technology

Results: quantification of mackerel and herring (absolute) abundance (ddPCR)

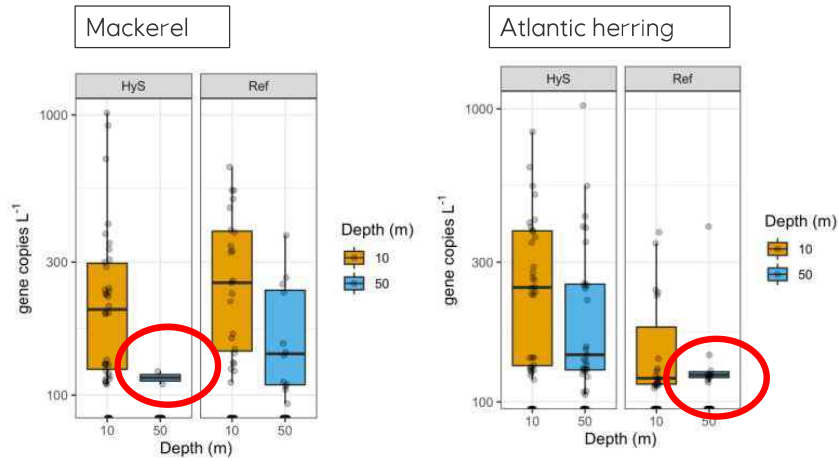


Mackerel abundance seemed to be similar between wind farm and reference area, while Atlantic herring – at the time of sampling – was more abundant in the farm area*

* Corresponds with MiFish results

Note: this is no exact estimation of biomass. The results quantifies abundance from the strength of signals/number of copies DNA pr liter)

Results: quantification of mackerel and herring (absolute) abundance (ddPCR), cont.



For mackerel, there was a significant depth difference (for abundance) within the farm area (10 m vs 50 m)
The difference was not significant in the reference area

For herring, the data also indicates that there was more herring at 10 m depth than at 50 m depth (especially in the reference area)

Data on abundance at different depths from ddPCR corresponds to data from MiFish, although the results are most clear for mackerel in the farm area and herring in the reference area

Results: 18S rRNA metabarcoding

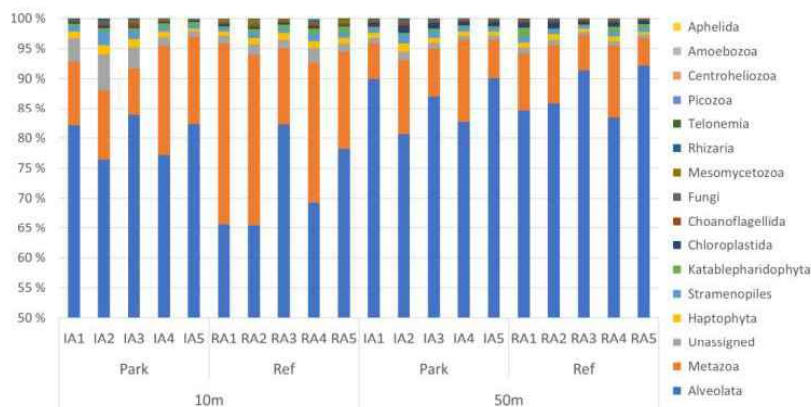
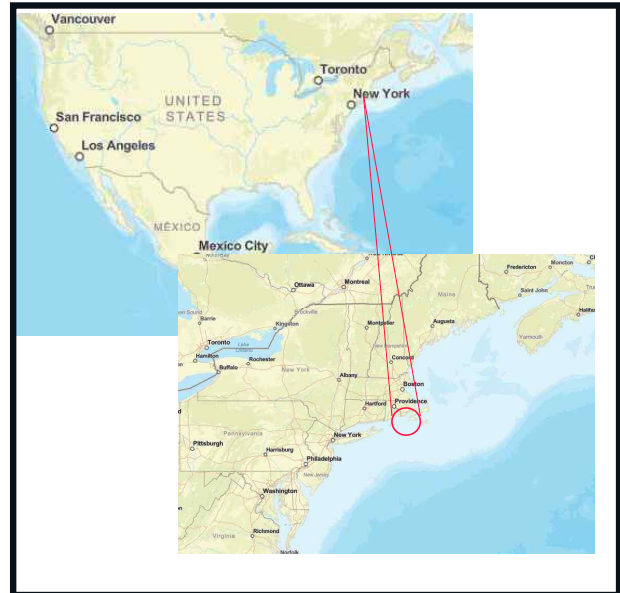
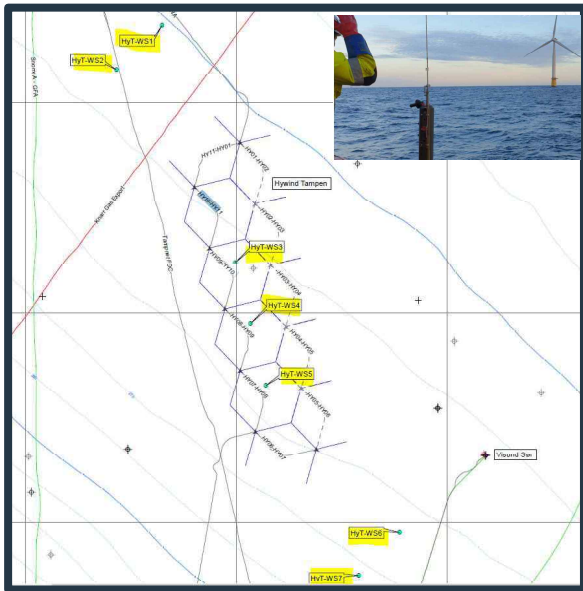


Figure 15. Relative abundance of the 16 taxa at kingdom level recovered in the 18S dataset. Due to the large abundance of Alveolata sequences, the y axis is scaled to the upper 50% to show less abundant taxa.

eDNA can detect species the «eye cannot spot», in addition to possible targeted detection of invasive species, vulnerable species, marine mammals etc.

Also other species (from other animal groups) were detected (multicellular and single-cell non-bacterial organisms in the water column)

Follow-up Hywind Tampen May 2023/Massachusetts Spring&Summer 2024



Conclusion

- New technologies enabling a more efficient mapping and monitoring of pelagic fish resources
- High-quality data
- Huge amount of data
- No need for long-lasting vessel campaigns
 - Low climate footprint
 - Low HSE risks
 - Cost-efficient

- Equinor acknowledges great contributions from our professional vendors /research organisations



[eDNA report \(equinor.com\)/Oceanography/](https://equinor.com/Oceanography/)
eDNA scientific paper in [Environmental DNA](#)



Press release and report published on equinor.com:

[Equinor pilots study to understand effects from floating wind on marine biodiversity – equinor.com](#)

[eDNA report](#)

Case study: eDNA
Piloting and Validating Mapping and Monitoring Technologies for Pelagic Fish Biodiversity
in Floating Offshore Wind Farms

Kari Mette Murvoll, PhD Ecotoxicology

© Equinor ASA

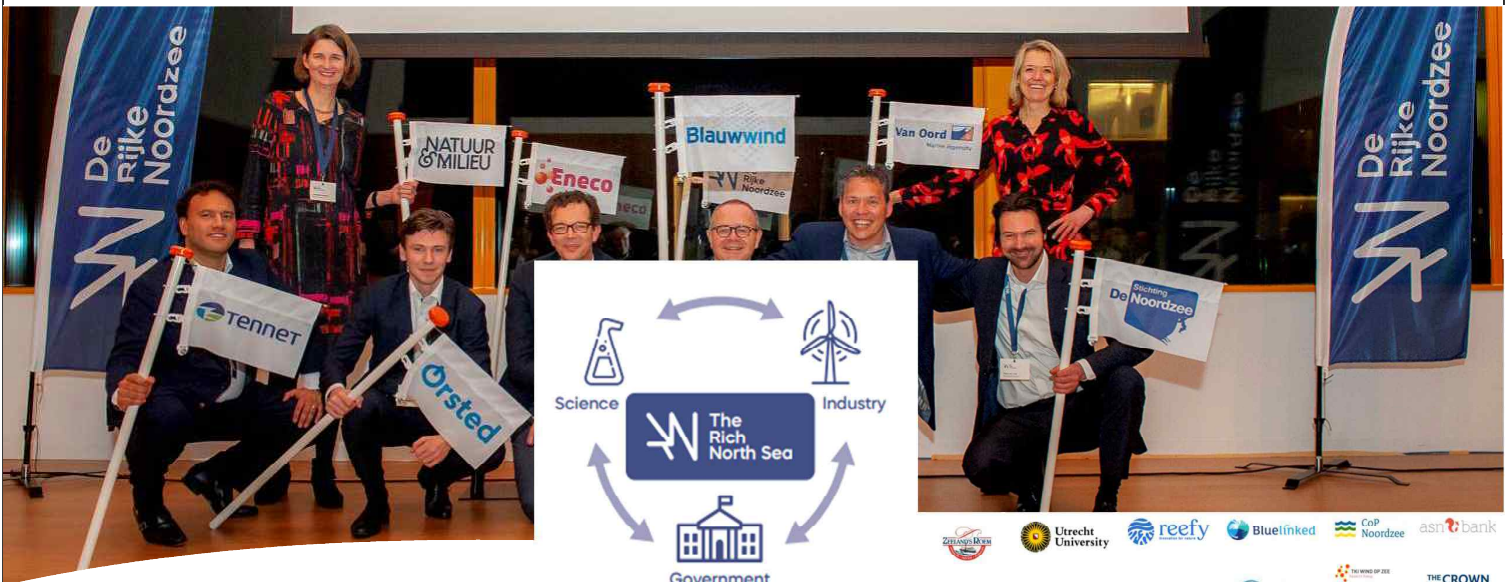
This presentation, including the contents and arrangement of the contents of each individual page or the collection of the pages, is owned by Equinor. Copyright to all material including, but not limited to, written material, photographs, drawings, images, tables and data remains the property of Equinor. All rights reserved. Any other use, reproduction, translation, adaptation, arrangement, alteration, distribution or storage of this presentation, in whole or in part, without the prior written permission of Equinor is prohibited. The information contained in this presentation may not be accurate, up to date or applicable to the circumstances of any particular case, despite our efforts. Equinor cannot accept any liability for any inaccuracies or omissions.

The Rich North Sea

Nature enhancement and offshore wind



Marjolein Kelder

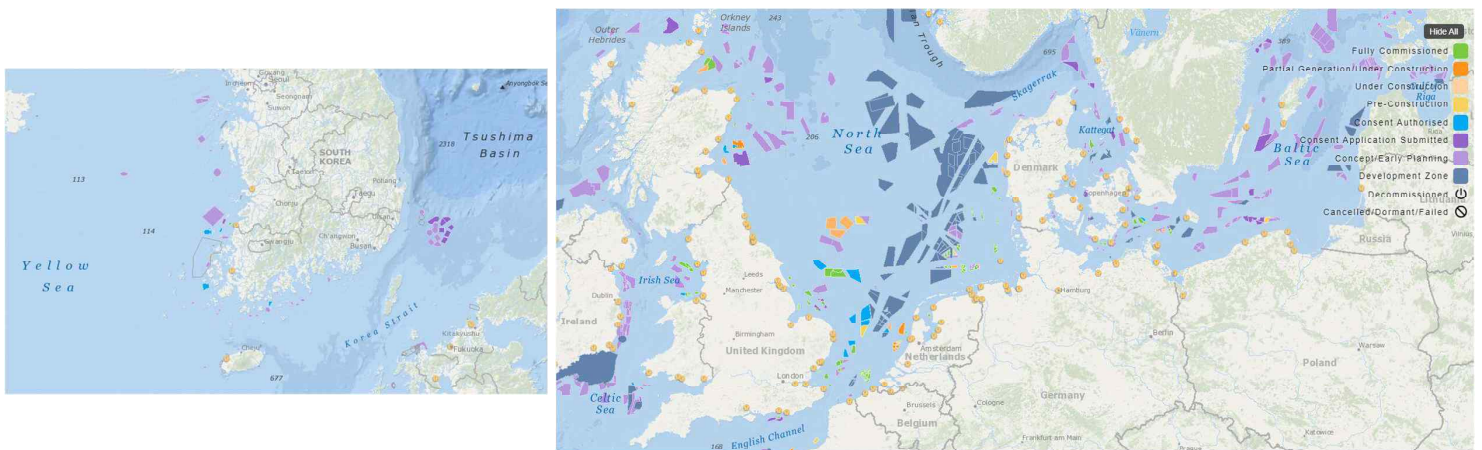


- Started in 2019
- 5-year program





Exponential growth offshore wind

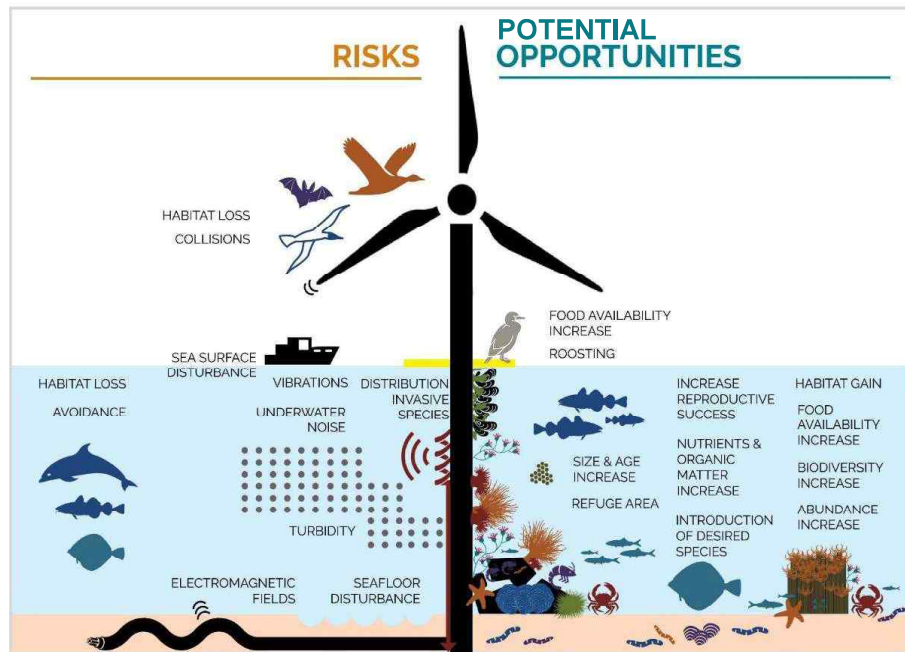


4Coffshore.com

Wind & nature

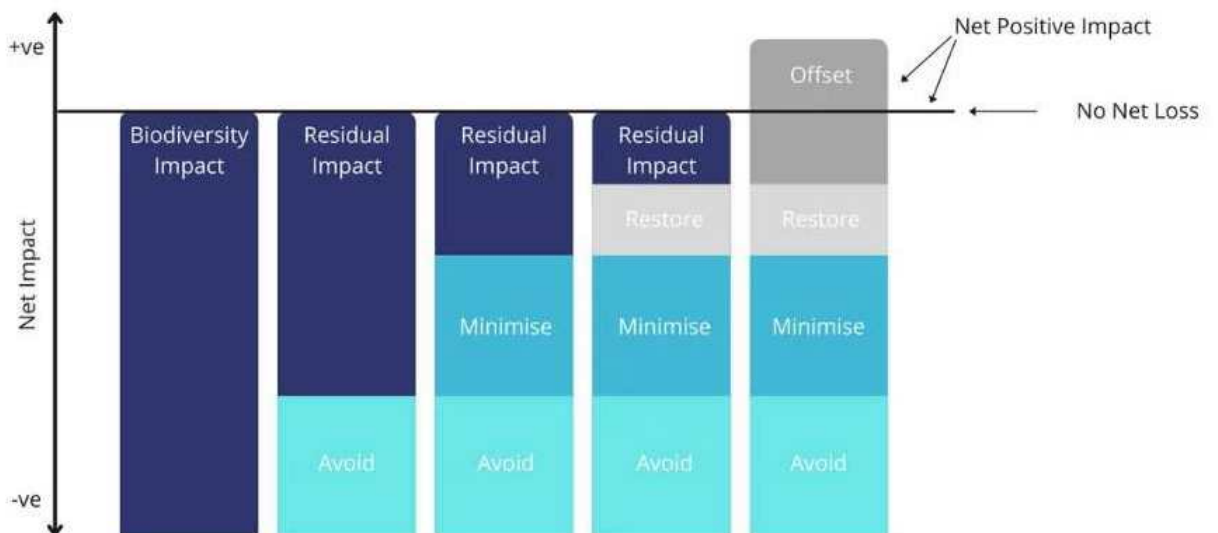


The challenge!



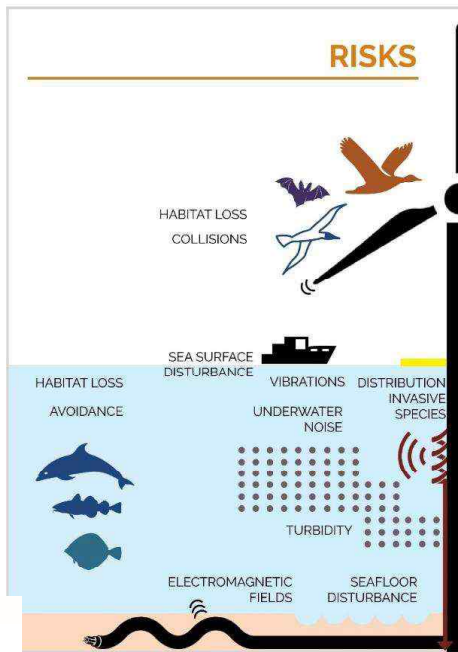
Vrooman et al 2019, Stichting De Noordzee 2022

Mitigation hierarchy

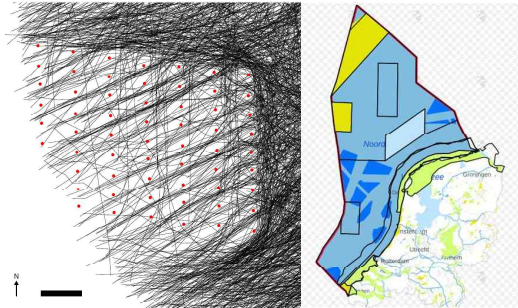


The Biodiversity Consultancy

Reducing risks



Avoid



Minimize

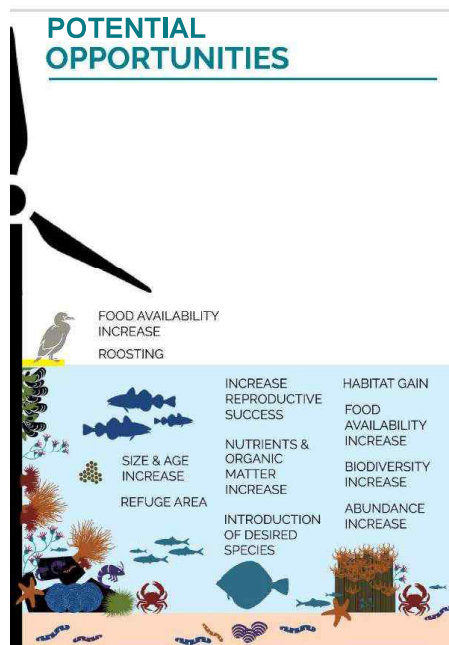


Using opportunities

Restore



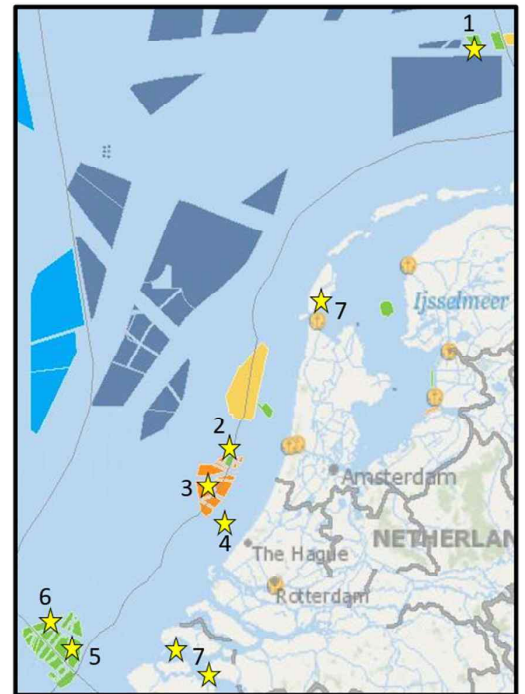
Offset



What did we do?

- Nature enhancement projects in 5 different wind farms
- Several other projects to increase scientific knowledge
- Investigate production of parasite-free European flat oysters in hatcheries
- Advocacy towards nature-inclusive offshore wind development
- Toolbox (*under development*)

1. Gemini
2. Eneco & Van Oord
3. Vattenfall
4. Offshore Test Site
5. Ørsted
6. Blauwwind
7. Oyster hatcheries



Gemini/ WINOR

Lost oyster reef is being restored

Area of 5 hectares
Comprehensive research

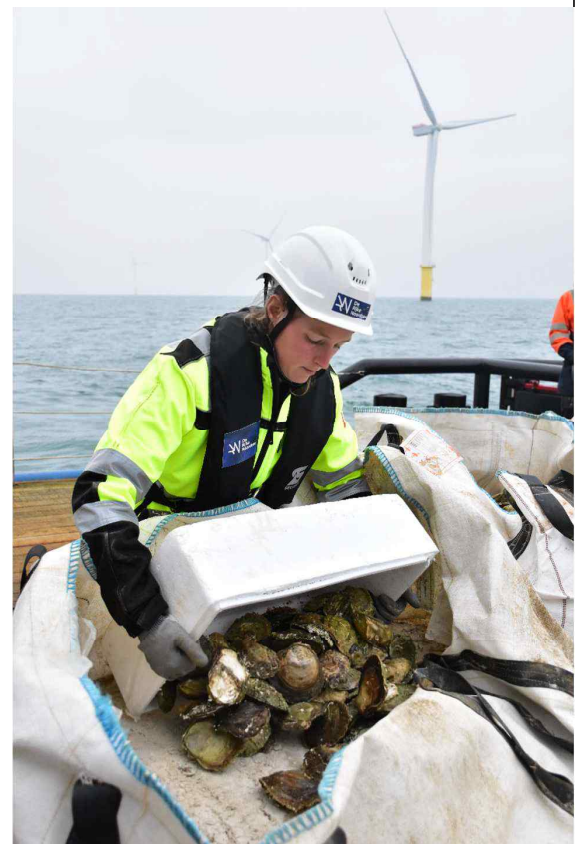
2021

- 1500 oysters lowered
- 18 tons of shells

2022

- 2000 oysters
- 32 tons of shells

Partners: Gemini consortium, WaterProof B.V., Wageningen Marine Research (WMR), Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), Waardenburg Ecology





Luchterduinen

Flat oyster
steppingstone

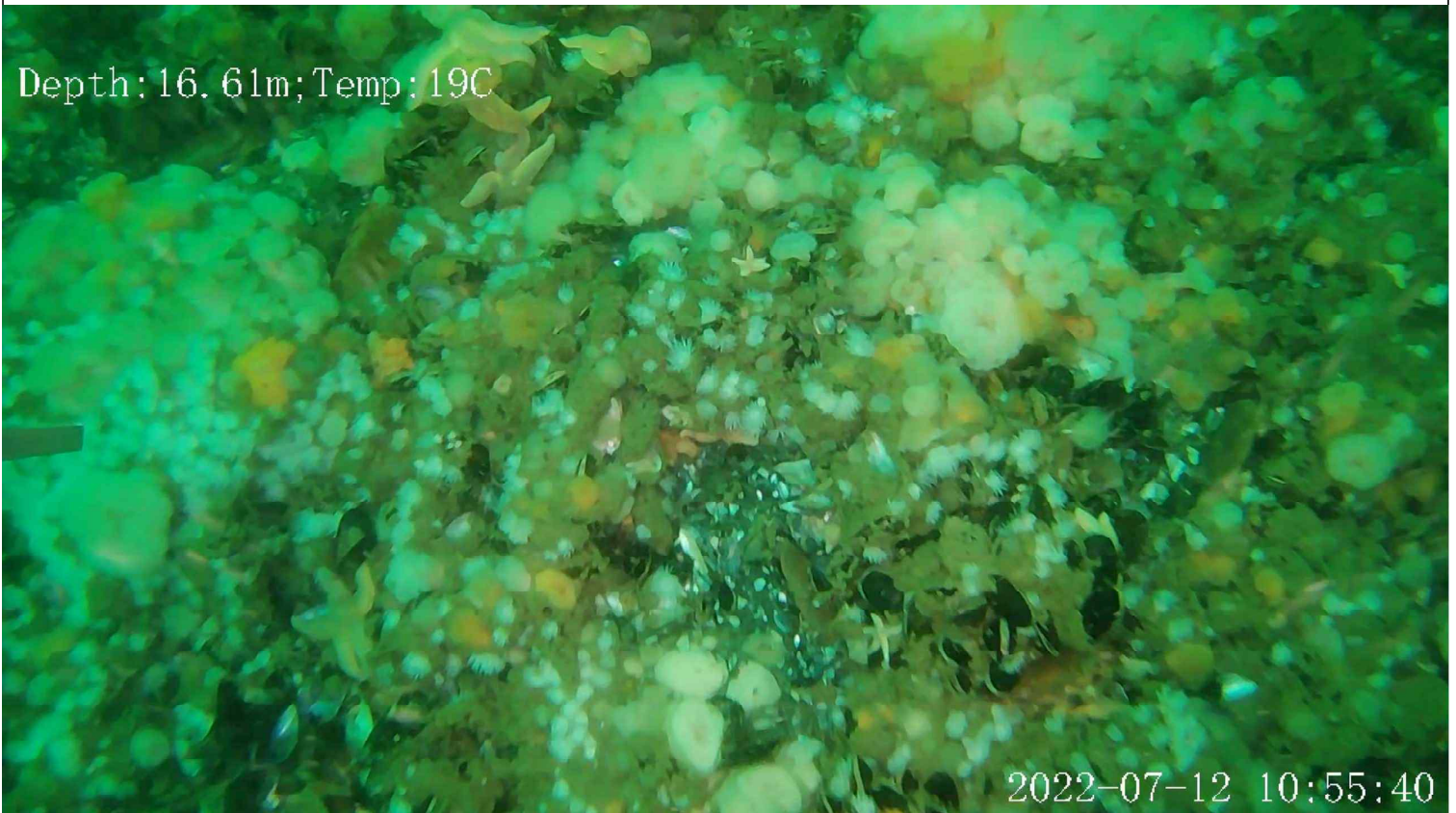


- First pilot in 2019
- 2000 adult flat oysters in 2022
- Use of broodstock structures
- eDNA and larvae sampling

Partners: Eneco, Van Oord



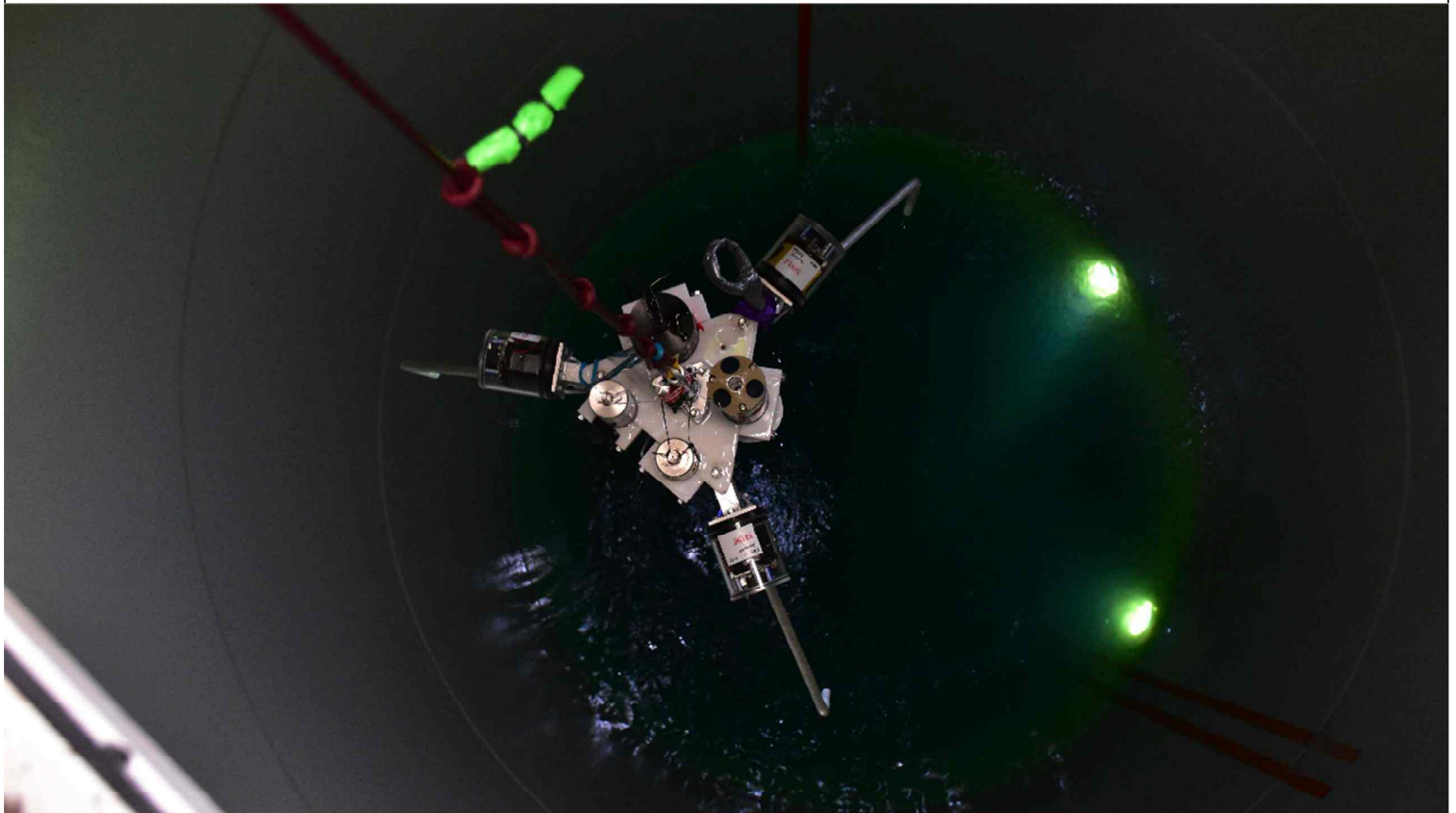
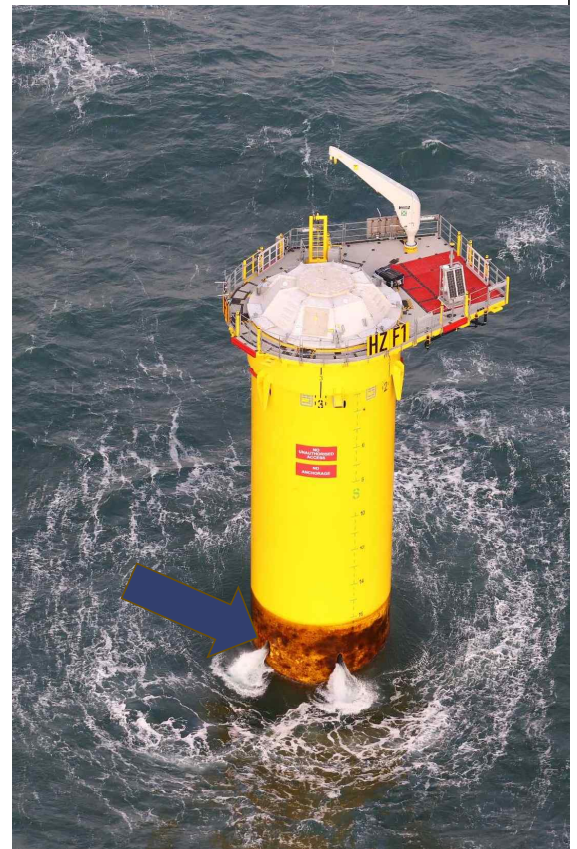
Depth: 16.61m; Temp: 19C



2022-07-12 10:55:40

Vattenfall

- Measurements inside and outside foundation
- 6 offshore missions
- First results are in, offer lot of scientific information for optimizing NID



Blauwwind

Borssele 3 & 4

2021

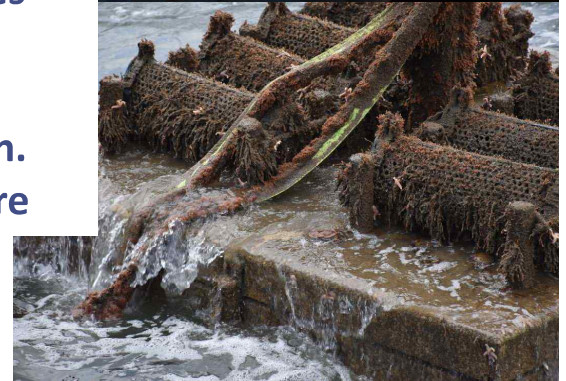
>96% survival after 9 months.

**Growth of oysters &
high biodiversity around the oyster tables**

2023

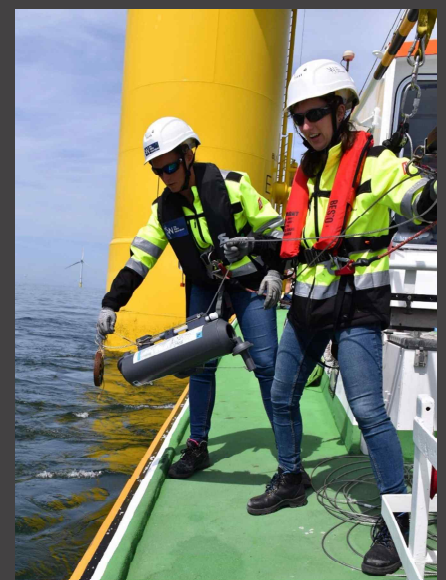
>69% survival with respect to installation.

28 spat found inside baskets per structure



What did we learn?

- Both **active** and **passive** enhancement are needed to restore North Sea nature
- **Pilot projects** are giving insight into the possibilities for nature enhancement and provide practical experience
- For optimal results, projects need to be **large scale**, both in- and outside OWFs
- **Learning-by-doing** and adaptive management are the way forward
- We need internationale **knowledge** and **data sharing**



토론 및 질의응답

우리 바다의 미래

- 해상풍력발전과 해양생태계의 공존을 위한 다양한 노력

세션 2 패널 토론 (강금석)

□ 국내 해상풍력단지 장기환경모니터링 결과

한국은 서해안과 제주 2개 지역에서 해상풍력단지를 운영 중입니다.

건설 이전에는 수중소음, 전자파, 해저지형 변화 등 해상풍력단지의 환경영향에 대한 많은 우려가 제기되었고, 어민들은 긍정적 효과를 보여주는 해외사례와 국내의 경향이 일치하지 않을 수 있다고 의문을 제기하였습니다. 이에 따라 서남해 실증단지를 대상으로 건설 전, 건설 중, 운영 중 전 기간에 걸쳐 장기 모니터링을 수행하였습니다.

결과는, 제주 탐라 해상풍력 30MW, 전북 서남해해상풍력 60MW 운영 결과는 해외와 유사한 환경영향 결과를 보고하고 있습니다. 전체적으로, 해상풍력단지 운영에 의해 나타난 특이한 부정적 환경영향이 보고된 사례가 없으며, 오히려, 수산자원 조성 효과와 어류 개체수 증가 등 생태계에 긍정적 영향이 확인되었고 홍보되고 있는 실정입니다.

□ 서남해 해상풍력 실증단지과 제주 한림 해상풍력의 모니터링 결과

▷ 건설 중 공사로 인해 해양생태계에 일시적이고 제한적 영향

- 해양생물의 종다양성과 생물량 감소 (이동성 생물의 공간 회피)

▷ 운영단계에서 빠르게 안정상태로 회복

- 해상풍력 구조물은 해양생물의 산란장과 보육장 등 서식처로 활용

- 인공어초 기능으로 다양한 생물종의 집어 효과

▷ 서남해 해상풍력 실증단지 주변해역은 어류와 부착생물이 계절에 따라 다양한 종 (Species) 들이 서식

- 구조물 표면에는 해조류와 굴, 담치류, 말미잘 등이 부착서식

- 수중에는 조피볼락, 노래미, 돔류가 무리지어 분포

- 저층에는 망둑어류, 새우, 게, 해삼, 떡조개 등의 다양한 생물이 분포

□ 제주 한림 해상풍력단지 해역은 기반암으로 구조물과 유사한 저질 환경

- 생물 종은 일반적인 제주해역 서식생물과 차이 없음

- 자리돔, 돌돔, 파랑돔, 제비활치 등 어류의 서식 개체수 증가

위의 결과를 종합할 때 해양생태계는 공사 중 일시적인 영향을 받게 되나, 운영 중 다양하고 풍부한 생물상으로 빠르게 회복됩니다.

□ 해상풍력단지 내 공존어업 실험 결과

서남해 해상풍력 실증단지의 경우 수산업과의 공존을 위해, 선박의 크기 및 톤수, 어업의 종류는 제한하고 있지만, 통항과 어업 활동은 허용하고 있습니다. 뿐만 아니라 해상풍력단지 내에 양식(marine aquaculture)을 병행하는 기술을 개발하였고 실증 실험을 마친 상태입니다.

서남해 실증단지 내 4ha 면적에 연승수하식 외해양식(Long-Line Suspended Type Marine Aquaculture) 실험을 성공적으로 마쳤습니다. 기존에 양식을 하지않던 외해 고에너지(파도가 높은) 영역인 해상풍력단지 환경에서 어업설비가 공학적으로 안전성을 확보하도록 설계하여 태풍 등 실제 환경을 경험하였으며, 해조류와 패류 등 적합한 생물자원을 확보하는 실험을 성공적으로 수행하였고 보급을 목표로 하고 있습니다.



그동안에는 해상풍력의 환경에 대한 영향과 어업감소 등 부정적 영향에 대한 모니터링과 대응이었다면, 전세계적으로 개발이 활발하고 미래의 주력에너지로서 위상을 확보하고 있어 해양의 매우 넓은 공간을 차지하게 될 해상풍력단지를 적극적으로 활용하여 해양에서 새로운 산업을 만드는 방향으로 가는 것이 타당하다고 생각합니다.

한편, 최근에는 해조류 양식을 통한 블루카본 사업이 세계적으로 주목을 받고 있는데 본 기술을 활용할 수 있으며, 해상풍력단지 내에서 해조류 양식을 통한 탄소배출권 확보도 가능할 것으로 판단됩니다.

이를 위해서는 국가 차원에서 해상풍력단지 내 공존어업 시범사업을 하는 등 해양신산업 관점에서 접근이 필요합니다.

□ 한편, 해상풍력 개발 및 운영에서 지속적으로 환경영향을 모니터링하고 평가하는 과정과 함께, 환경영향을 줄일 수 있는 신기술, 신공법의 채택을 요구해야 합니다. 설치시 수중소음을 줄일 수 있는 구조물 형식, 운영 중 수중소음을 제어하는 기술, 해양 수중공간의 교란 및 점유면적을 줄일 수 있는 지지구조 등 다양한 신기술을 활용하도록 하여야 합니다.



해상풍력과 생태수용성

Copyright 2024. 제주환경운동연합 all right reserved

제주환경운동연합 김정도 정책국장

제주도의 해상풍력발전 현황

발전소명	위치	규모	비고
탐라해상풍력발전	한경면 두모리, 금등리	30MW	운영중
한림해상풍력발전	한림읍 수원리	100MW	건설중
한동평대해상풍력발전	구좌읍 한동리, 평대리	105MW	사업자 공모중
대정해상풍력발전	대정읍 동일리	100MW	지구지정 절차 이행
월정행원해상풍력발전	구좌읍 월정리, 행원리	125MW	지구지정 절차 이행
표선하천세화2해상풍력발전	표선면 표선리, 하천리, 세화2리	135MW	지구지정 절차 이행
8MW급부유식 해상 풍력 시스템 개발	한경면 용수리	8MW	공모사업선정
탐라해상풍력 확장	한경면 두모리, 금등리	72MW	지구지정 도의회 동의절차이행

탐라해상풍력발전 생태계 수용성

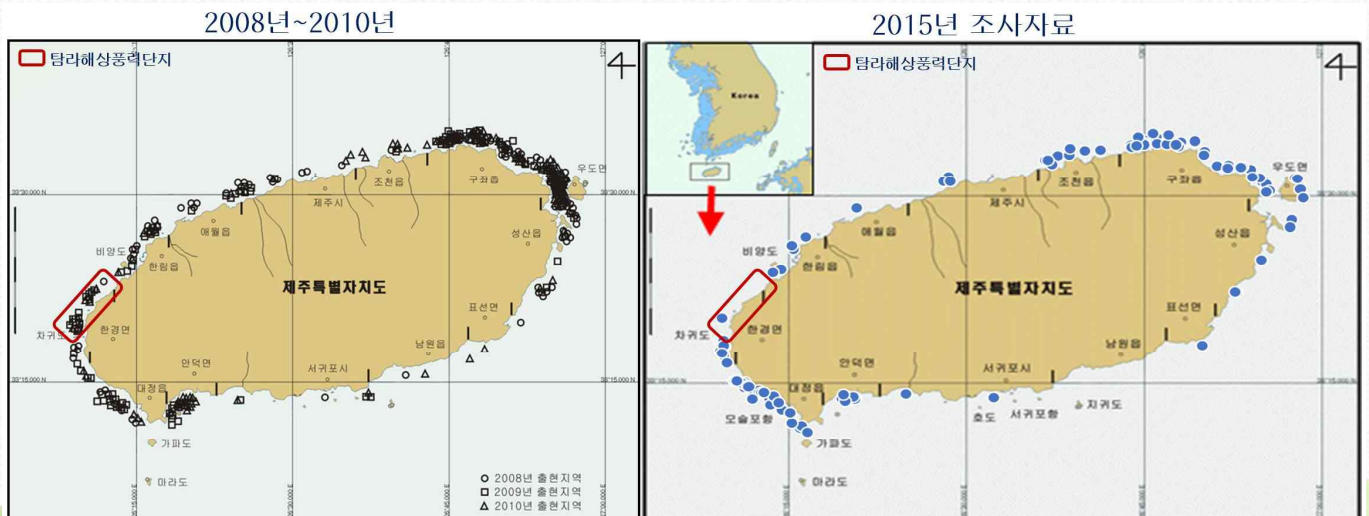
긍정적 영향을 주장하는 탐라해상풍력발전

1. 발전소 건설로 인해 해저 바닥에 단단한 기판이 형성돼 저서생물이 증가하고, 이를 먹이로 삼는 어류가 늘어나 주변 생물 다양성이 증가.
 2. 해상풍력 발전소 건설은 주변 지역 트롤 어업활동을 배제시켜 어류 개체수와 어종 구조에 긍정적인 영향을 끼친다는 결과를 발표.
 - 국제해양탐사협의회(ICES) 연구보고서(2022):북미 최초 해상풍력단지 건설 및 운영이 해저 어류 및 무척추동물 어획현황에 미치는 영향
- ❖ 어류와 패류, 조류에 긍정적인 영향을 미친다는 것은 해외자료에서도 비슷하게 나타나는 경향. 해상풍력발전단지 주변으로 어획활동과 선박의 이동, 개발행위 등이 차단되어 일종의 노테이크존이 형성되는 효과는 있을 것으로 추정.

탐라해상풍력발전 생태계 수용성

정말 모든 것이 긍정적일까?

1. 해상풍력발전에서 발생하는 소음에 따른 돌고래 피해
 - 단순 이동은 서식이 아니다!



탐라해상풍력발전 생태계 수용성

정말 모든 것이 긍정적일까?

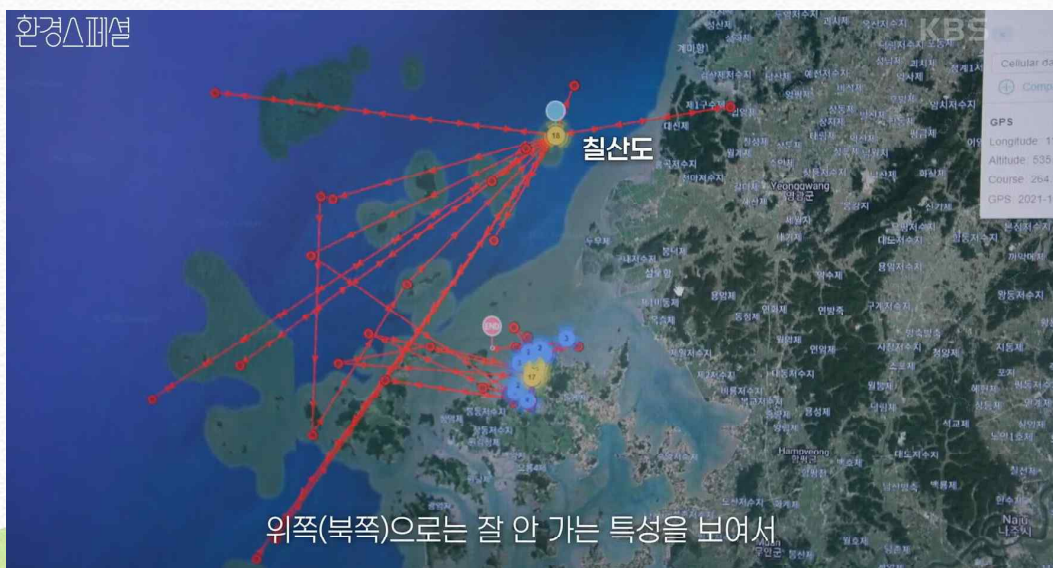
2. 해상풍력발전이 철새에 미치는 영향



탐라해상풍력발전 생태계 수용성

정말 모든 것이 긍정적일까?

2. 해상풍력발전이 철새에 미치는 영향



탐라해상풍력발전 생태계 수용성

정말 모든 것이 긍정적일까?

2. 해상풍력발전이 철새에 미치는 영향

- ❖ 영국 이스트앵글리아대학교(UEA) 연구팀은 풍력발전기에 조류가 충돌할 위험이 높은 위치를 분석한 연구 결과
- ❖ 비행 중 풍력발전기 터빈과 충돌할 확률이 높은 높이는 지상 15~135m로 간주
- ❖ 해안가와 인접할 수록 조류충돌 증가

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(철새)

- ❖ 조류피해의 경우 추자도는 봄과 가을 이동철새의 중간 기착지로 이용되고 있다는 점에서 큰 피해가 발생할 가능성이 우려.
- ❖ 추자도의 산림지역은 여름철 번식을 위해 찾아오는 여름 철새와 1년 내내 터를 잡고 살아가는 텃새들의 중요한 번식지로 이용되고 있으며, 바다와 맞닿아 있는 포구나 해안은 겨울철 갈매기류와 가마우지류의 중요한 쉼터.
- ❖ 현재까지 알려진 바에 따르면 추자도에는 210종의 새가 기록되어 있고 이중 철새는 여름철새 35종, 겨울철새 55종 등 90종에 이르는 철새가 추자도를 거쳐 계절에 따라 남북으로 이동하거나 추자도에서 서식.

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(철새)

- ❖ 이들 철새중에는 법정보호종도 다수 확인되는데 천연기념물만 하더라도 황조롱이, 붉은배새매, 호사도요, 두견이, 소쩍새, 솔부엉이 등 7종이 확인되며 멸종위기야생생물 2급인 철새도 새호리기, 매, 물수리, 벌매, 솔개, 조롱이, 새매, 참매, 큰말뚝가리, 알락꼬리마도요, 흑비둘기, 팔색조, 섬개개비, 검은머리축새, 무당새 등 14종이 확인.
- ❖ 특히 추자도 인근 사수도는 여름철새인 흑비둘기의 서식지로 추자도 양쪽을 둘러싸는 형태로 대규모 풍력발전기가 들어설 경우 서식에 상당한 방해를 받을 것으로 우려.
- ❖ 철새들은 중간에 쉬어갈 수 있는 지역이 굉장히 제한되어 있는데 이런 중간기착지는 오랜 기간 진화의 시간속에서 이동경로가 형성된 것으로 갑자기 대규모 풍력발전단지가 개발되어 중간기착지를 이용하지 못하게 되었을 때 성공적으로 이동하는 것에 상당히 큰 위협.

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(철새)

천연기념물

제주 사수도 바닷새류(흑비둘기, 습새) 번식지 (濟州 泗水島 바닷새類(흑비둘기, 습새) 繁殖地)

Breeding Ground of Sea Birds (Black Wood Pigeon and Streaked Shearwater) on Sasudo Island, Jeju



습새

분류	자연유산 / 천연기념물 / 생물과학기념물 / 생물상
수량/면적	138,701㎡
지정(등록)일	1982.11.20
소재지	제주 제주시 추자면 사수도일원
시대	해당 없음
소유자(소유단체)	추자초등학교 운영위원회
관리자(관리단체)	제주특별자치도

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(고래)

- ❖ 해양포유류 특히 고래류의 피해도 무시할 수 없는 상황.
- ❖ 추자도는 쿠로시오해류에서 파생한 제주난류가 통과하는 지역으로 이주 과정에서 남쪽과 북쪽을 오가는 다양한 고래류가 통과할 가능성이 높은 수역.
- ❖ 특히 남해안과 제주도 사이의 추자도를 비롯한 해역은 황금어장이 형성될 만큼 해양생태계가 우수한 것으로 평가되고 있으며, 해양포유류 출현과 서식 가능성이 큰 곳으로 예측되고 있는 지역.
- ❖ 하지만 이 수역에 대해서는 그 어떠한 조사도 이뤄진 바 없어 이에 대한 면밀한 조사의 필요성이 늘 제기되는 수역.

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(고래)



추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(고래)

- ❖ 해당 수역에서 국제적인 보호종인 대형 고래류가 이곳을 통과하고 있을 가능성.
- ❖ 남해안에서는 이미 향고래, 꼬마향고래, 범고래, 긴수염고래, 브라이드 고래 등의 좌초 사례들이 보고.
- ❖ 이를 종합해보면 제주난류가 흐르는 추자도 권역이 다양한 고래의 주요 이동통로로서 역할을 하고 있을 가능성이 높음.
- ❖ 게다가 추자도에서는 육안으로 상괭이가 상시 목격되는 등 상괭이의 서식지로서의 역할도 확인해야 하는 상황.

추자도에 드리워진 해상풍력 생태계 파괴 논란

정말 모든 것이 긍정적일까?

3. 추자도 해상풍력이 낳은 생태계 수용성 논란(고래)

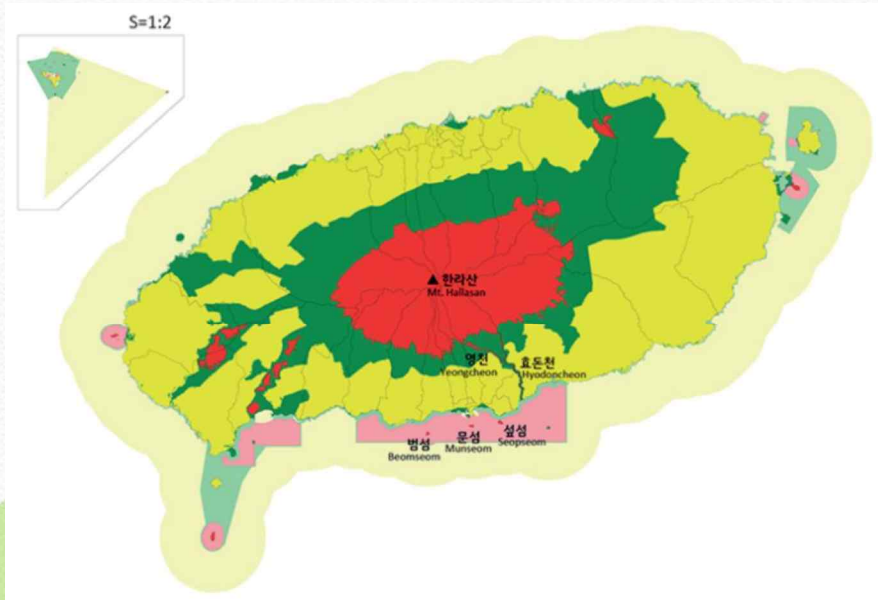


2023년 5월 18일 문섬에서 발견된 혹등고래 새끼(제주지역 최초 확인)

대안은 무엇인가?

가까운 바다는 해상풍력발전의 적지가 아니다

❖ 최소 5.5km~10km 해상풍력발전 속고해야



대안은 무엇인가?

가까운 바다는 해상풍력발전의 적지가 아니다

- ❖ 근해를 벗어난 곳에 크게 지구를 지정하는 방식은?
 - 연해(20마일 이내 수역, 약 32킬로미터)를 벗어난 곳
 - 생태계 우수한 지역 배제(황금어장 배제)





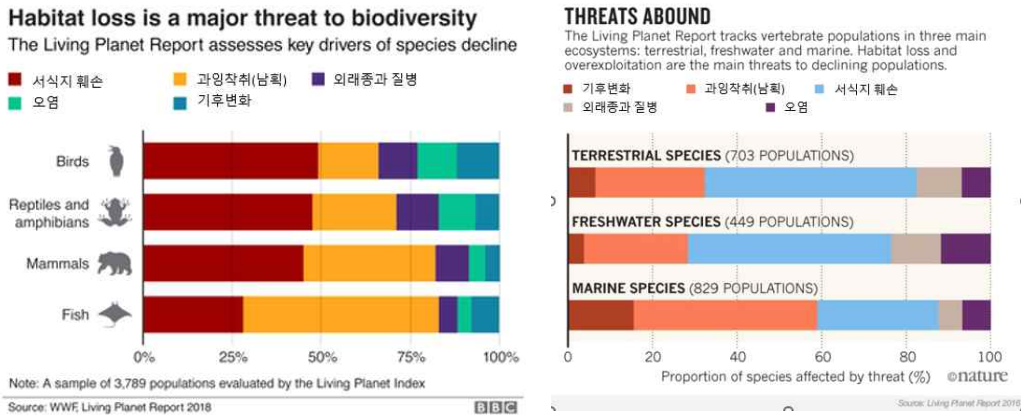
감사합니다. 😊

토론문

신재은 풀씨행동연구소 캠페이너

생물다양성의 붕괴와 기후변화 대응

- 1970년부터 2018년까지 Living Planet Index는 평균 69% 하락¹⁾했음. 생물다양성에 위협 요인은 주로 서식지의 손실과 훼손이 가장 주요함. 하지만 종별로 살펴보면 어류 부문에서 과잉착취(Exploitation)이 가장 심각한 요인이며, 생태계 종류별 요인 역시 해양에서는 서식지 훼손보다 과잉착취가 더 핵심적인 영향을 미치는 것으로 확인됨.
- 인간의 활동은 육상의 75%, 바다의 66%를 심각하게 변화시켰으며, 현재의 손실속도로는 2050년까지 지구의 10% 미만이 인간의 영향 밖에 있을 것²⁾.



- 모든 생태계에서 향후 가장 우려되는 위협요인은 기후위기라는 것이 중요하고, 문제 해결을 위해서 신속한 재생에너지의 확대가 필요하다는 것에는 이견의 여지가 없지만 생물다양성을 고려한 세심한 재생에너지 확대 정책은 여전히 부족함.
- ‘자연을 위한 파리협약’이라고 불리는 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(이하 ‘K-M GBF’) 역시 Target8을 통해서 재생에너지 발전시설과 같은 기후조치가 생물다양성에 미치는 부정적 영향을 최소화하고 긍정적 영향을 향상시키는 목표를 달성하도록 강조하고 있음.
- 장기적으로 ‘더많은자연(Nature Positive)’를 달성해야만 생물다양성의 붕괴를 막고 인류가 자연의 생태계서비스를 바탕으로 생존할 수 있을 것.

생물다양성 순증대(Net-Gain) 원칙과 정량적 평가

- ‘더많은자연(Nature Positive)’의 달성을 위한 이행방안 중 하나로 자연자본공시제도(TNFD)가 향후 의무화(K-M GBF Target15) 될 예정이며, 재생에너지 발전 사업자 역시 투자자들로부터 생물다양성에 미치는 영향을 고려하는 방식의 사업 추진을 요구받게 될 것.
- 해양에서는 어업과 관련된 이해관계자 그룹과의 협업이 주요하며, 생물다양성 순증대의 목

1) 지구생명보고서, WWF(2022)

2) IPBES(2019): Nature’s Dangerous Decline ‘Unprecedented’; Species Extinction Rates ‘Accelerating’

적이 달성될 경우 풍력발전 관련 갈등 완화에 기여할 수 있을 것.

- 발전소 개발 과정에서 생물다양성에 미치는 영향을 줄이고 나아가 순증대(Net-gain)되기 위해서는 순차적 저감(Mitigation Hierarchy)의 적용이 중요함((K-M GBF Target19). 이 과정에서는 보호구역에 대한 엄격한 회피와 영향저감 뿐만 아니라 복원과 상쇄에 이르는 절차를 적용해야 함.

- 순차적 저감(Mitigation Hierarchy)을 제도적으로 반영하는 자연자원총량제도(Biodiversity offset policy)는 육상생태계에서도 중요한 과제이지만, 도입의 어려움을 겪고 있음. 육상의 경우, 독일의 자연침해조정제도를 모델로 생태계 데이터를 정량화하는 도시생태현황지도(Biotope Map) 제작이 의무화되고 이를 바탕으로 도시계획과 동일한 수준의 위상을 갖는 환경계획 작성이 의무화되어 작성되고 있음.

- 순차적 저감(Mitigation Hierarchy) 단계가 효과적으로 작동되기 위해서는 생물다양성에 대한 기초 데이터와 공간상의 경합을 조정하기 위한 법정 계획의 준비가 선행되어야 함. 해양의 경우 기초데이터가 사실상 전무한 상황이며, 바다숲 조성 등 기존 정부주도의 해양 생태계 복원사업의 실효성이 지적받고 있음. 따라서 한국에서 해상풍력 추진시에 이같은 프로세스가 적절히 작동되기 위해서는 보다 세심한 기획과 접근이 필요함.

성공적인 시범사업과 신뢰 회복 중요

- 해양의 경우 기초 데이터가 부족하고, 모범사례가 많지 않기 때문에 복해의 사례에서 보듯 세심하게 설계된 시범사업(Pilot)이 중요함.

- 특히 한국의 경우 연근해 조업밀도가 굉장히 높으며, 어획강도는 증가하지만 어업 생산량은 꾸준히 감소하고 있음³⁾. 해상풍력 입지 시에 조업금지구역(No fishing zone)을 지정하여 해양생태계를 회복을 고려할 수 있을 것임. 이처럼 기후변화 대응과 생물다양성 보전 부문의 성과를 함께 만드는 방식의 다양한 아이디어를 검토해야 함.



자료: 통계청, 어업생산동향조사

▼ 연근해어업 생산량 감소

- 1986년 173만 톤 을 정점으로 최근 100만 톤 이하

▲ 어획강도는 지속적으로 증가

- 에너지전환이 시급한 것은 사실이지만, 더 긴 호흡에서 효율적인 사업을 추진하기 위해서는 지속가능한 방법론 개발과 성공 사례를 만드는 것이 필요함. 정부의 관계기관, 발전사업자, 해양 생태 전문가 및 시민사회가 긴밀하게 소통하고 협업하면서 충분한 신뢰를 쌓는 과정이 필수적이며 시범사업의 경우 기획과 모니터링에 대한 연구 및 평가에 대한 투자가 중요함.

3) 통계청, 어업생산동향조사

- 또한 아직 해상풍력 등의 재생에너지 시설이 해양생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 초기 단계인 만큼, 과학적 연구조차도 현재와 미래에 미치는 영향을 과소평가할 수 있다는 점을 인식하고 고려하는 것도 중요함.

토론문

연안환경생태연구소 유재원 박사

해상풍력 해역이용영향평가 해양생태계 분야의 조사 및 보고서 작성 가이드라인이 여러 전문가들이 머리를 맞대고, 논의를 거쳐 소수의 풍력단지가 자리를 잡고 여러 지자체에서 확산을 계획하고 있는 지금 단계에서 마련되었다. 이는 조사 방법과 항목의 일치화/표준화를 통해 조사 결과 간 비교를 가능케 해주고, 주요 조사 아이템의 결손, 누락을 피하도록 해주기 위한 노력의 일환으로 볼 수 있어 반길만한 일이다. 게다가 2022년 버전의 가이드라인에서 일부 조사 분야의 비현실적인 채집 노력량에 대한 수정을 요구하는 의견이 제시된 것으로 아는데 이런 부분이 최근 버전에서 반영된 것으로 보여 다행이고 옳은 방향으로 가고 있는 것으로 생각할 수 있었다.

앞서 언급했듯이, 여러 전문가가 참여하였음에도 불구하고, 오늘 발표된 가이드라인에 대해서는 다음과 같은 부분에서 추가적인 검토가 필요하다고 본다. 먼저 해상풍력 영향평가의 주요 평가항목에 대한 그림에서, 그간 문헌 등을 통해 알수 있는, 잠재적인 impact sources를 다수 제시(부유사, 지형변화, 전자기장 등)하였다. 반면 영향평가의 생태계 조사는 직간접 영향 공간 및 대조구에 대한, 다소 단순한 디자인만을 제시하였다. 대형저서동물 군집 조사를 예로 들면, 최소 12개 정점을 조사하고 대조구를 2개 또는 3개 이상을 포함하여 조사하는 것으로 되어 있다. 현장에서 우려되는 main sources를 2가지 이상의 유형으로 제시하고 균형잡힌 정점 개수를 대조구에 할당하여 해당 source에 대한 사후의 반응을 통해 영향력을 이해하고 평가하는데 어려움이 없는 디자인을 수립하거나 field experiment를 별도로 수행하도록 가이드라인에 적시해야 할 것이다.

앞서 언급한 바와 같이, 일부 조사 분야의 채집 노력량은 과도하게 책정되었으며, 이는 2023년 버전에서도 변함없이 유지되는 것으로 보인다. 포유류의 조사에서 조사 구역을 사업지구 포함하여 최외곽 경계로부터 5km 이상을 제시하였는데, 65km² 면적의 서남해 시범사업 구역을 예로 들면 조사 구역은 300km²가 된다. 본 토론자가 참여한 상괭이 조사에서 시기별로 12~53km²(시기별 평균 약 30km²)를 조사했는데 각 시기별로 평균 3일이 소요되었고, 조사 고도 150~190m(200m 고도의 1 pixel 크기는 4cm)를 기준하여 조사 면적 약 5km² 당 1시간 내외의 시간이 소요되었다. 이를 위 면적의 70%인 약 200km²에 적용하면 약 40 시간의 순 조사 시간이 필요할 것으로 예상된다. 2023년 버전 가이드라인의 촬영 고도 50~70m를 기준하면 4배 이상, 160 시간이 필요할 것으로 예상되며 beaufort sea state 3이하의 조건을 적용하면 전체 조사에 최소 1개월 이상이 소요가 될 것은 자명하다.

이는 조류 조사의 경우에도 마찬가지이며, 이 분야는 사업지구를 포함한 20km 이내의 섬과, 육지, 해양을 대상으로 도보, 선박, 항공조사 1년간 월 1회를 조사하게 되어 있다. 조사 항목은 다양성 및 분포조사, 위치추적 및 레이더 조사, 미기록 번식지

발굴을 위한 매일 밤낮 2시간(2022년 버전 가이드라인) 음향조사, 번식지 조사 등이다. 레이더를 이용한 조류 조사를 수행한 경험이 있는 곳은 국내의 국가기관 1곳 정도이며, 고가의 장비를 활용하는 이 조사를 굳이 해야 한다면 협의를 통해서 시설이 들어선 사후에 실시하는 것이 바람직하다. 번식지 발굴을 위한 음향조사 역시 조사 구역 내 유무인도를 이동하며 주야간 측정하는 것도 많은 인력과 예산(1회당 4천만원, 12회 약 5억원)이 필요하다.

오늘 예시된 발표를 보면, 해상풍력의 해역이용영향평가는 사업 영향 예측 결과에 대한 기술이 필요한 것으로 보인다. 국내 생태학 연구에서도 전통적인 통계 모형부터 인공지능까지 다양한 모형이 활용되고 있고 이를 통한 생태계 모니터링의 중요성이나 효용성이 제고되어야 한다고 생각하는 본 토론자 입장에서는 생태계 변화의 예측 결과 제시에 매우 반길 일이다. 좋은 모형 연구와 활용을 위해서는 data quality를 향상시키고 보증하는 절차가 도입되어야 한다. 잘못된 결과가 잘못된 정책으로 이어질 수 있다는 점에서 QA/QC 프로세스가 작성 가이드라인의 업데이트 시 추가되길 바란다. 오늘 제시된 주요 종 서식범위 파악에서도 일부 좋은 타당한 서식확률 예측치가 도출된 것으로 보이나 낮은 예측 확률과 (준)완전 분리 문제, 접근방법의 적절성 여부 그리고 다양한 환경 요인을 활용한 모형 구축 등과 같은 문제 등이 분석 단계나 평가 센터의 보고서 검토 과정에서 점검될 수 있어야 하며, 특히 후자의 적절한 검토와 피드백을 위해서는 확대된 규모의 전문가 집단이 활용되어야 할 것이다.

자연 생태계의 조사 결과는 다양한 요인들로부터 영향을 받는다. 특히 소모적인 채집 디자인과 연구 노력량의 불균형, 현장과 실험실 인력의 낮은 숙련도, 현실적이지 못한 예산 등은 산출되는 결과물의 질에 상당한 영향력을 미친다. 어떠한 연구든 현장 조사는 계획되는 대로 진행되기 어렵고, 관측치 오차의 상당 부분이 현장에서 발생하며 시료의 운반, 실험실의 전처리나 동정(identification) 과정에서도 마찬가지이다. 그럼에도, 자연 보전 취지에 방점을 둔 해역이용영향평가의 발전을 도모하기 위해서는 위에서 언급한 프로세스에 내재된 위험요소들을 식별하고, 제어하여 질 높은 현장/실험실 자료를 생산하기 위한 목표에 집중해야 할 것이다.

오늘까지 이어져 온 과정은 각계 각층의 상당한 지식과 경험이 바탕이 된 것이다. 본 토론자는 제도의 중요성과 효과성을 사회로부터 더욱 인정받을 수 있도록, 일선 전문가들의 통찰력을 보다 적극적으로 활용하고 이들로부터의 의견을 충실히 반영하여 앞서 언급된 것과 같은 문제의 해결이나 목표 달성을 위한 적절한 의사결정을 촉진함으로써, 해상풍력 해역이용영향평가 제도가 깊은 사회적인 신뢰를 얻어가며 더욱 발전해 나가길 희망한다.

