

KEI 포커스

Korea Environment Institute Focus

제9권 제6호 통권 제76호

발행일 2021년 7월 31일
발행인 윤제용
발행처 한국환경정책·평가연구원



주소 30147 세종특별자치시 시청대로370
세종국책연구단지 B동(과학·인프라동)
Tel 044-415-7777
등록 제2015-000009호(1998년 1월 30일)
© 2021 한국환경정책·평가연구원

탄소중립 이행을 위한 해상풍력발전의 생태환경적 쟁점 및 개선방향

이후승 | 자원에너지평가실 연구위원 정슬기 | 환경평가모니터링센터 연구원

요 약

현 안 탄소중립 이행을 지원하는 국토환경정책 마련을 위하여 최근 해상풍력발전사업의 계획 수립 단계에서 환경적 영향에 대해 검토·지원해야 한다는 필요성이 제기됨. 하지만 환경영향평가 단계에서 입지의 환경성 문제로 회피·저감 등 대안 마련이 어려운 경우 사업계획 변경 등에 따른 환경·사회적 갈등이 초래됨. 또한, 탄소중립 전략에 따른 해상풍력 등의 신재생에너지 확산이 지연되므로 정부의 정책 추진에 어려움이 발생함. 육상과 다른 해상의 특이성을 고려하여 해상풍력이 생태계에 미치는 영향을 과학적이고 객관적으로 체크함으로써 잘못된 인식과 비과학적 주장을 정리하고 개선방안을 제시하고자 함.

주요 내용 국내외 해상풍력발전시설의 설치 현황과 국내에서의 부진에 따른 활성화 방안을 분석함. 해외 해상풍력발전의 입지 관련 고려사항을 생태환경적 측면에서 분석하기 위해 해상풍력 입지와 연계되는 해양생물의 서식역, 특히 해양 조류의 집단번식지에 대한 이격 등 사전예방적 입지 선정 현황을 분석함. 또한, 해상풍력발전 추진에 따라 국내에서 쟁점화된 해양성 조류 및 포유류에 대한 영향의 허와 실을 분석하고, 한반도 해양생태계의 지속가능성을 고려한 공간계획 수립의 필요성을 제시함.

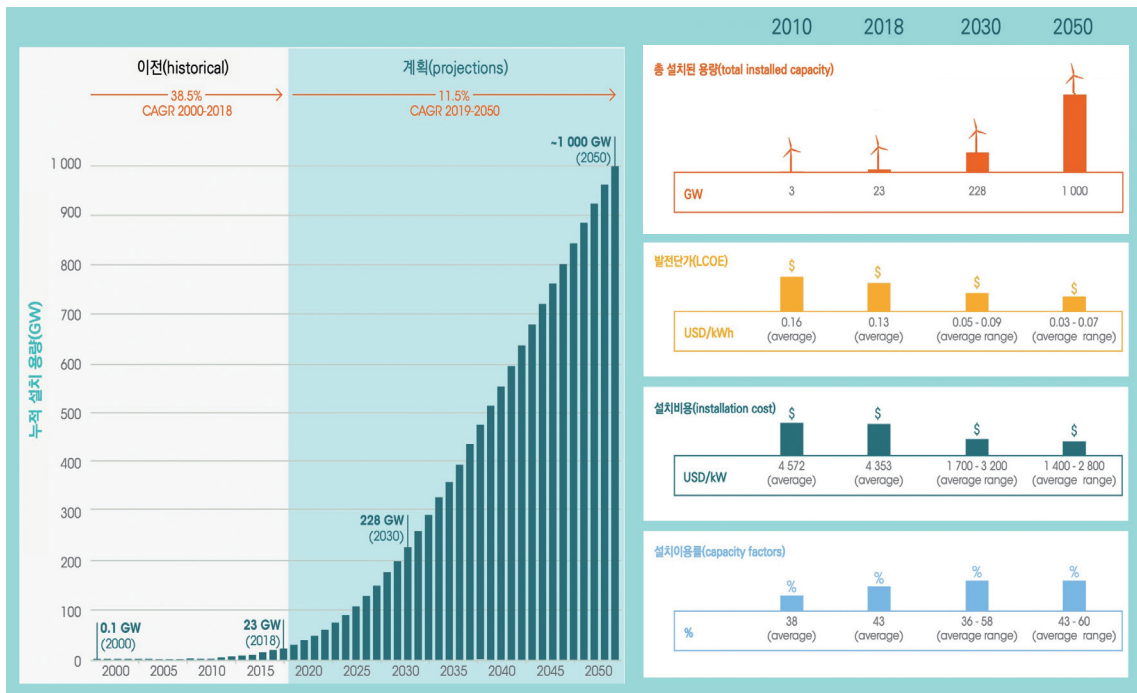
정책 제언 탄소중립 정책 목표 달성의 시급성을 고려할 때, 해상풍력발전사업 추진 시 한반도 해양생태계의 생물지리학적 특성을 고려한 지속 가능하고 균형 있는 적합입지 발굴과 계획 수립이 필요함. 현재 추진 중인 '해상풍력 고려지역(consideration zone)' 수립에 있어 입지환경적으로 중첩되는 해양생물의 서식역에 대한 사전예방적 고려가 필요함. 또한, 에너지 안보, 에너지 균형, 환경적 지속가능성의 에너지 트릴레마를 효과적으로 극복하기 위해, 한반도 자연생태계와 조화되는 '한국형' 자연기반해법 마련이 필요함.

I 국내외 해상풍력 추진 현황

1 탄소중립을 위한 해상풍력발전 설치의 빠른 증가

- ◆ 세계 해상풍력발전의 누적 용량은 2020년 기준 35GW에 달하며, 2020년 해상풍력 신규 설비 용량은 2018년 대비 약 35.5% 증가한 6.1GW임. 예측성장률은 2030년까지 약 228GW(2020년 기준 6.5배), 2050년까지는 약 1,000GW(2020년 기준 28.6배)로 지속적으로 높은 성장률이 예측됨
 - 2020년 기준 전 세계 해상풍력의 70.4%(24.8GW)가 유럽에 설치되었고, 아시아-태평양 지역에 약 29.5%(10.4GW), 그리고 미국에 0.1%(0.04GW) 설치
 - 환경 영향을 저감한 부유식 해상풍력발전기는 2030년까지 5~30GW, 2050년까지 50~150GW로 전체 해상풍력의 5~10%를 차지(그림 1 참조)
 - 해상풍력발전 단가와 설치 비용도 2018년 기준 2010년 대비 약 81%로 감소, 2030년 약 56%, 2050년 약 43% 수준으로 감소 예상(그림 1 참조)

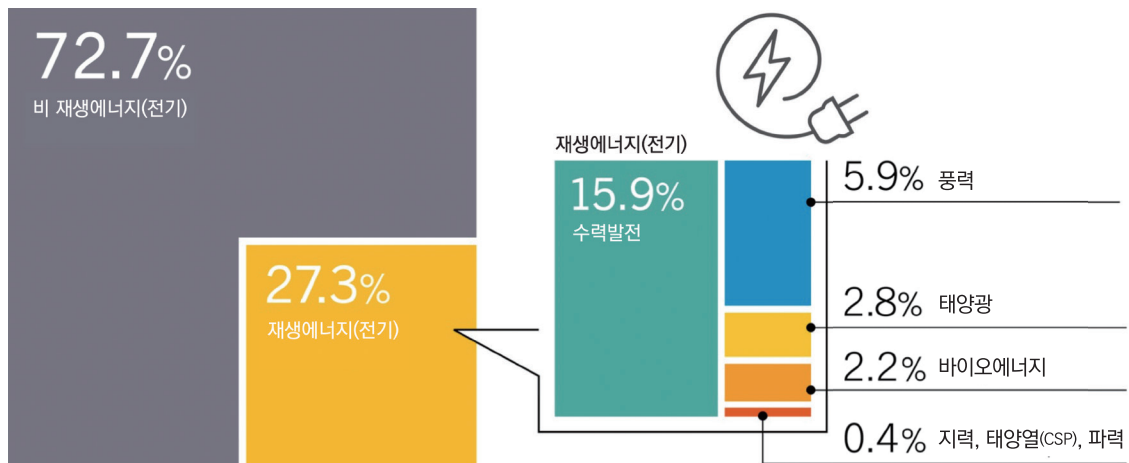
그림 1. 해상풍력발전의 연평균 누적 용량 성장 경향



자료: IRENA(2019), pp.44-45 바탕으로 저자 작성.

- ◆ 2019년 기준으로 재생에너지는 세계 전력수요의 27.3%를 차지하며, 이중 약 15.9%가 수력발전 이고 뒤이어 풍력발전이 약 5.9%를 차지함. 이는 육상과 해상풍력발전으로의 빠른 전환이 추진되고 있음을 의미함(그림 2 참조)

그림 2. 세계 전력생산에서 재생에너지의 비중(2019)



자료: REN21(2020), p.48 바탕으로 저자 작성.

2 국내 해상풍력발전 부진에 따른 활성화 방안

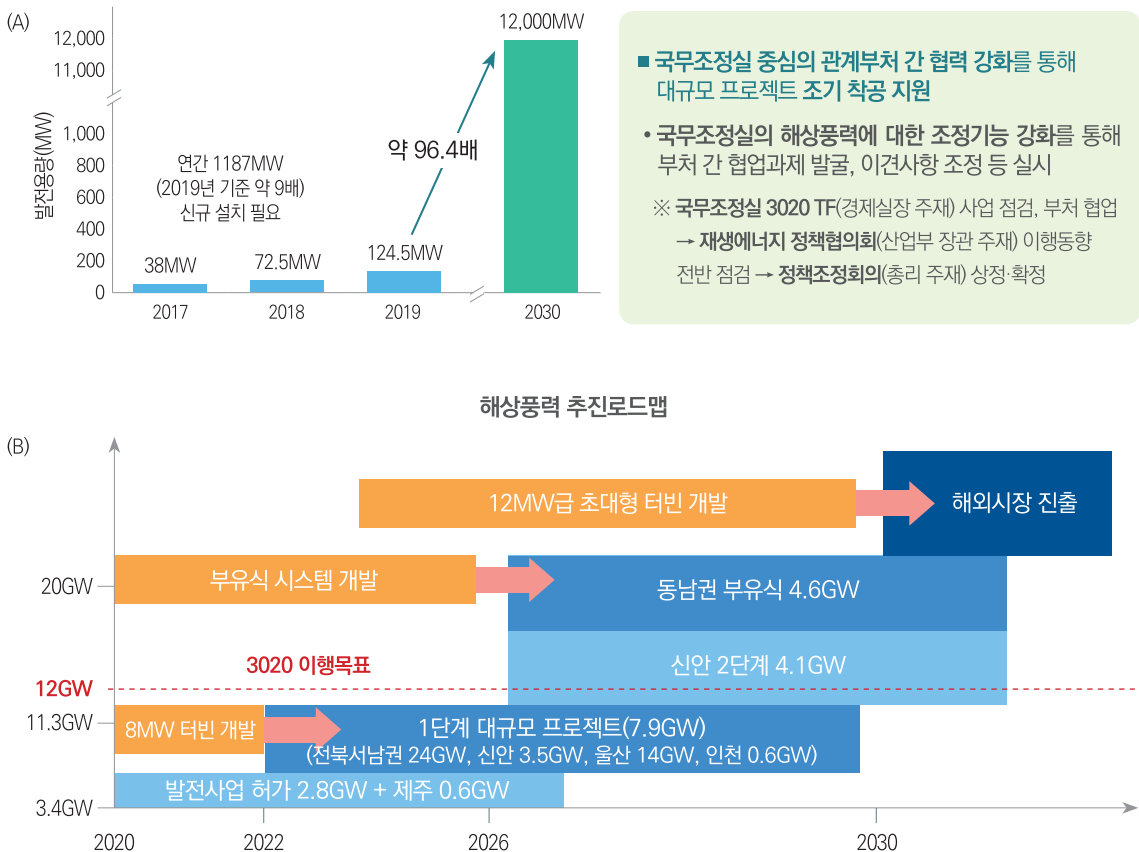
- ◆ 2017년 12월 『재생에너지 3020 이행계획』에 따라 전체 재생에너지 신규설비 보급 목표는 초과 달성되고 있으나, 해상풍력발전은 주민수용성 확보 어려움 등으로 추진이 지연됨(표 1 참조)
 - 2019년 대비 2030년 목표인 12GW는 약 96.4배로, 매년 약 10배의 성장률로 설치되어야 하는 상황으로 시급성이 매우 높음(그림 3 (A) 참조)
 - 목표 달성을 위하여 정부 주도 입지 발굴 및 인허가 간소화, 주민수용성 및 환경성 강화, 대규모 프로젝트 연계 및 산업경쟁력 강화의 3대 추진방안을 수립(그림 3 (B) 참조)

표 1. 해상 및 육상풍력발전 추진 지연의 주된 사유

구분	해상풍력발전	육상풍력발전
내용	<ul style="list-style-type: none"> · 풍황조사, 어업실태 파악, 주민·지자체와의 사전 협의 소홀 등 부실한 준비 · 주민수용성 확보에 대한 제도적 지원장치의 미흡 · 환경피해 우려 등 민원 발생 시 환경영향평가 및 각종 인허가를 받을 수 없는 구조 · 풍력산업 생태계 취약 	<ul style="list-style-type: none"> · 주민수용성 문제 · 입지규제 - 국유림 내 사업 추진 불분명 · 입지규제 - '백두대간 보호지역 등', '생태·자연도 1등급 권역' 등에 대한 불명확성 · 발전사업 허가 후 환경성 검토에 따른 이해충돌

자료: 관계부처 합동(2020.7.17), p.3, 산업통상자원부(2019.8.23) 보도자료, pp.1-4 바탕으로 저자 작성.

그림 3. 국내 해상풍력발전 설치 현황 및 목표량과 추진 로드맵



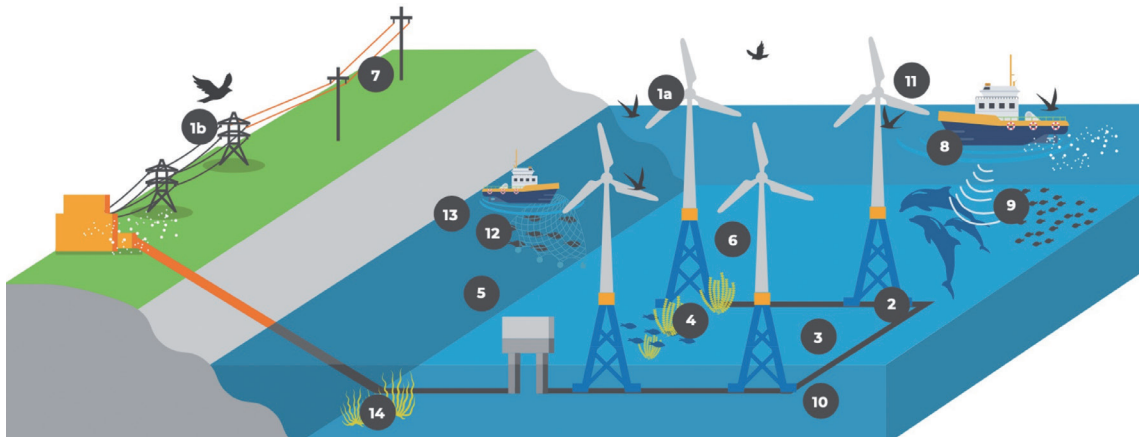
자료: 관계부처 합동(2020.7.17), p.3, 산업통상자원부(2019.8.23.) 보도자료, pp.1-4 바탕으로 저자 작성.

II 해외의 해상풍력발전 입지 관련 생태환경적 고려사항

1 해상풍력 입지와 연계되는 해양생물의 서식역

- ◆ 해상풍력발전을 위한 주요 시설물은 ‘해상-해저-육상’으로 이어지는 복합적인 생태계와 연관되어 있기 때문에, 연쇄적이고 종합적인 영향을 고려한 분석이 필요함(그림 4 참조)
 - 시설물 설치의 입지적 특성을 검토함에 있어 종의 생활사적(life-history) 특성과 생태계 특이성을 고려한 영향을 분석

그림 4. 해상풍력발전이 생태계에 미치는 주요 영향



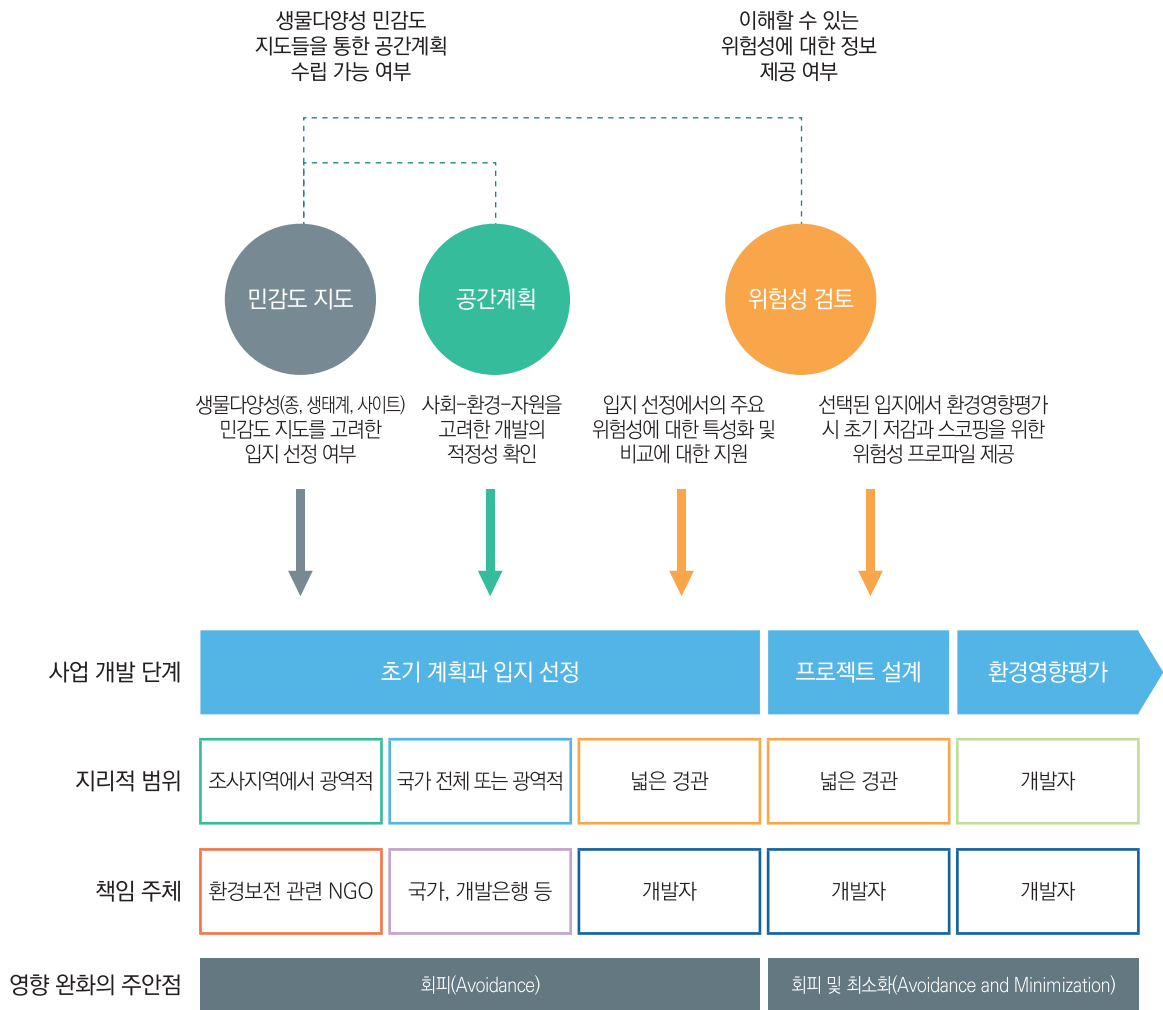
- | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. 조류 또는 박쥐 등과의 충돌 | 6. 장벽효과 또는 이동효과 | 11. 오염(예: 먼지, 빛, 고체/액체 오염) |
| 2. 해저 서식지 손실, 파편화 및 변화 | 7. 감전에 의한 조류 사망 | 12. 경제활동과 낚시 등의 활동 증가로 인한 간접적인 영향 |
| 3. 유체역학적 변경 | 8. 선박과 관련된 사망, 부상 및 행동학적 영향 | 13. 생태계 서비스에 미치는 영향 |
| 4. 서식지 생성 | 9. 수중 소음에 의한 사망, 부상 및 행동학적 영향 | 14. 외래종 유입에 따른 영향 |
| 5. 영양 종속(trophic cascade) | 10. 해저 케이블의 전자기장에 의한 행동학적 영향 | |

자료: IUCN and Global Business and Biodiversity Programme(2021), p.86 바탕으로 저자 재작성.

- ◆ 최근 국제자연보전연맹(IUCN)에서는 해양성 조류의 서식역과 해상풍력발전의 입지 조건이 서로 동일하기 때문에 계획 수립 단계에서부터 생태환경적 요소를 고려해야 함을 제시함
 - 탄소중립을 위한 해상풍력발전 등 재생에너지 전환 추진 과정에서 설치·운영이 미흡할 경우, 재생에너지 확장이 오히려 생물다양성의 추가적인 손실과 생태계 서비스의 붕괴를 초래할 수 있기 때문에 환경 영향을 방지·최소화 및 상쇄하기 위한 방안 마련이 필요

- 특히 해상풍력발전사업의 환경 영향 회피·저감 방안 마련 단계에서 지속 가능한 에너지 및 생물 다양성 목표를 달성하기 위해서는 사업 초기 계획 단계에서 위험성 지도 등을 이용한 평가를 함께 고려하는 것을 제안(그림 5 참조)

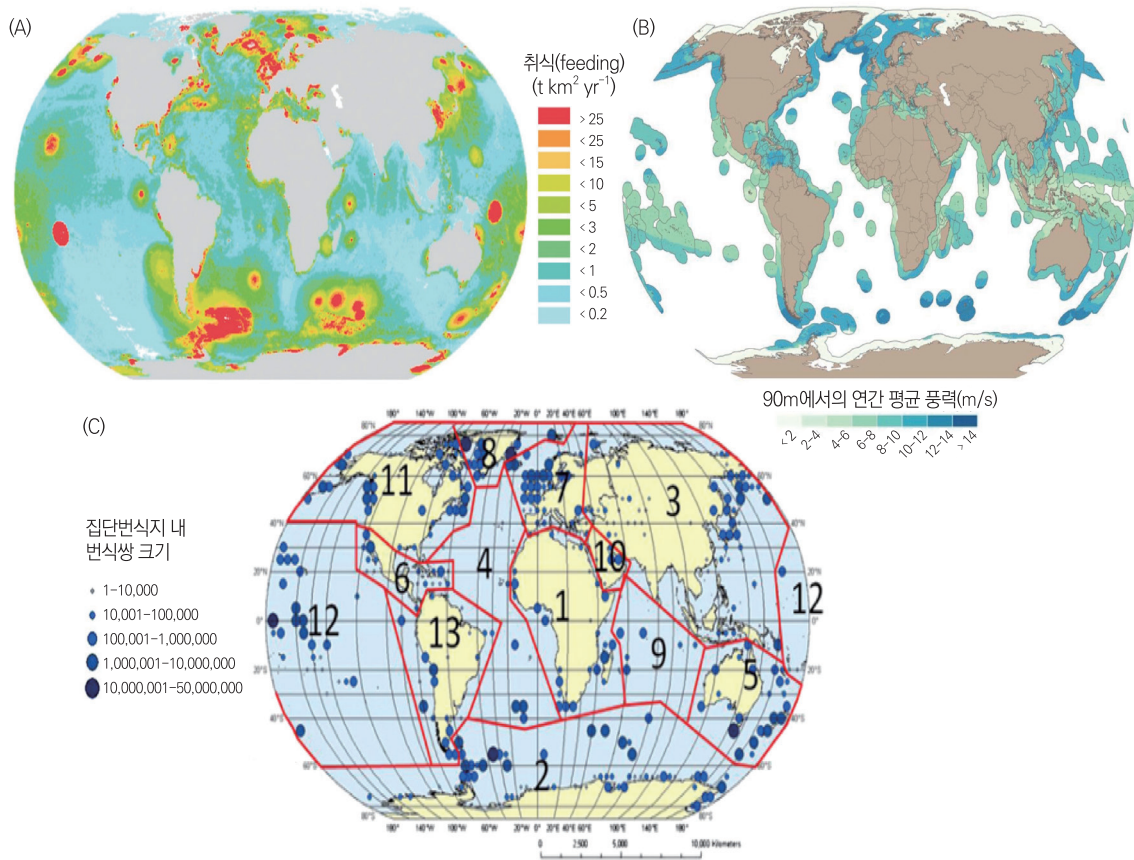
그림 5. IUCN에서 제안하는 해상풍력발전 계획 수립 시 생태환경적 요소 고려 시기



자료: IUCN and Global Business and Biodiversity Programme(2021), pp.20-21 바탕으로 저자 작성.

- ◆ 특히, 풍력이 높은 공간역은 해양성 조류에게도 최적의 취식을 제공하는 지역이기 때문에 해상풍력 발전의 입지 선정에서 함께 고려되어야 할 필요가 있음
 - 해양환경에서 어장의 형성에 영향을 미치는 요인 중 해류는 바람의 세기 및 방향과 밀접한 관계가 있으므로, 취식지역으로서 어장이 형성된 지역을 선호하는 해양성 조류의 밀도는 증가하고 집단번식지가 인접하게 됨(그림 6 참조)

그림 6. (A) 해양성 조류의 취식지역, (B) 연간 평균 풍속 현황, (C) 해양성 조류의 집단번식 현황

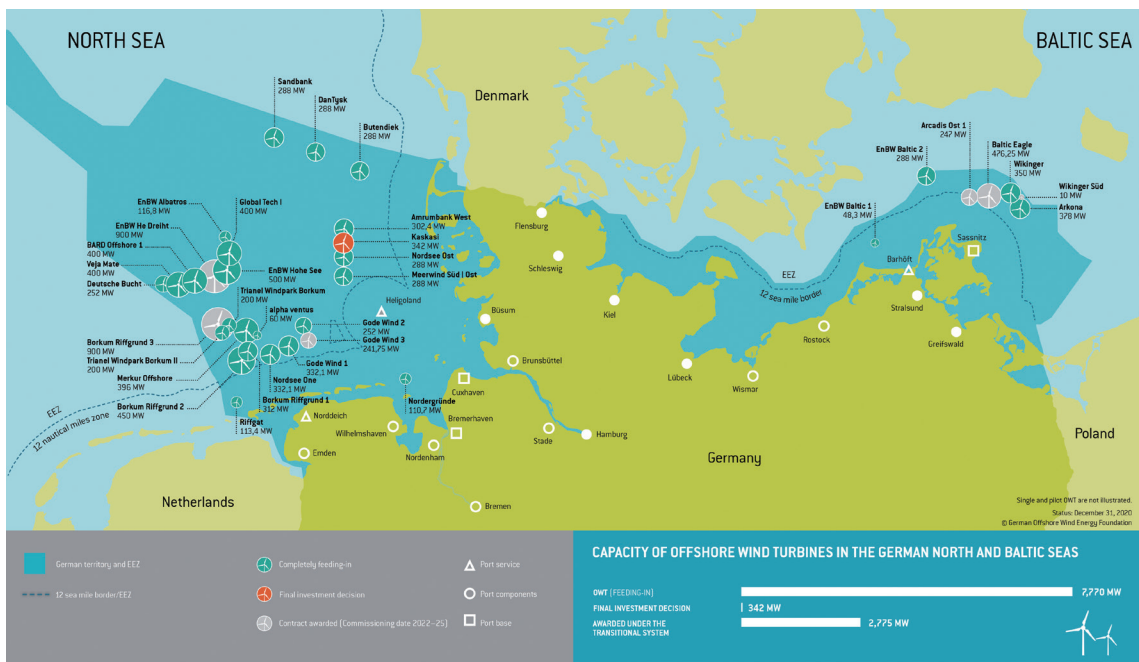


자료: Karpouzi, Watson, and Pauly(2007), pp.87-99, Arent et al.(2012), p.3, Riddick et al.(2012), pp.319-327
 바탕으로 저자 재구성.

2 해양생물 서식역에 대한 사전예방적 입지 선정

- ◆ 해상풍력발전 설치·운영의 선도국인 덴마크, 독일 등의 경우, 대부분의 해상풍력 발전단지가 12해리 보다 먼 바다에 설치되고 있어 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하고 있는 것으로 판단됨(그림 7 참조)

그림 7. 덴마크와 독일 국경 지역에 설치된 해상풍력발전단지 현황

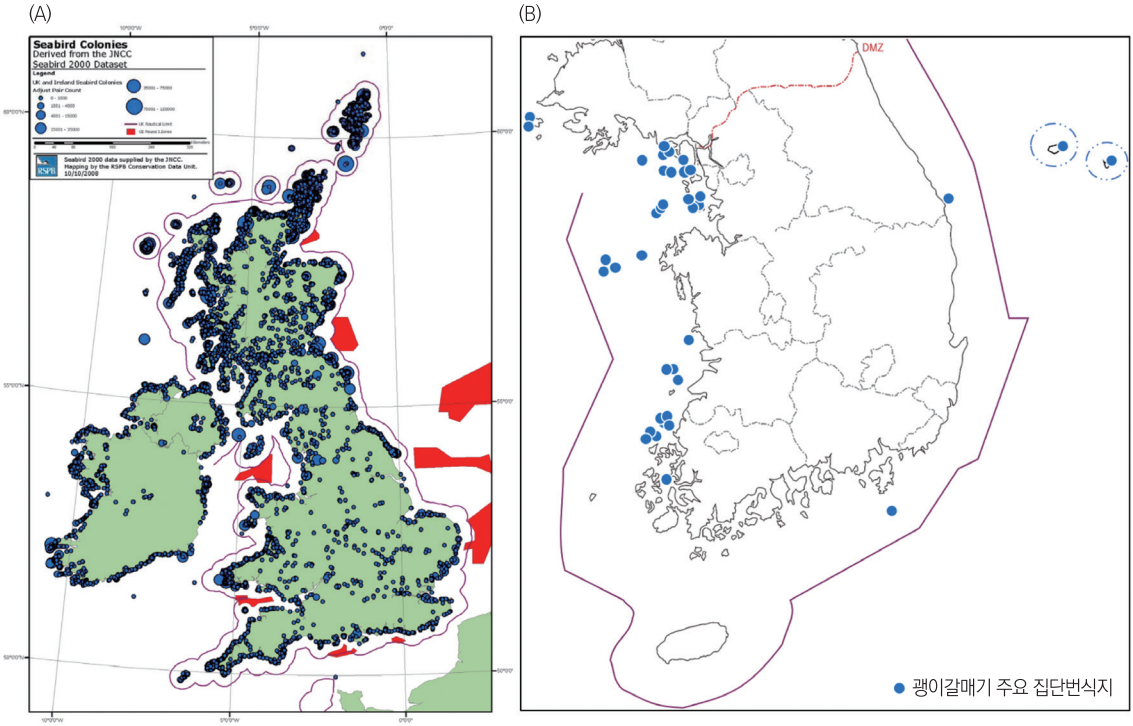


자료: Foundation Offshore Wind Energy, “Map Offshore Wind Energy Germany 2021”, 검색일: 2021.6.1.

- ◆ 대규모로 집단번식하는 갈매기류 등의 해양성 조류의 생태적 특성을 고려하여 지속적이고 심각한 영향을 초래할 수 있는 입지 회피가 필요함
 - 영국은 주요 해양성 조류의 번식도서에서¹⁾ 최대한 이격된 공간을 입지역으로 선택함으로써 해양 생태계에 미치는 영향을 최소화(그림 8 (A) 참조)
 - 우리나라의 경우, 주요 우점종인 갯가래의 집단번식지가 영해(기선으로부터 12해리)에 위치하고 있어 해상풍력발전 입지 선정 시 우선적 고려가 필요(그림 8 (B) 참조)

1) 대부분의 번식도서는 12해리(nautical mile) 이내에 위치함.

그림 8. (A) 해양성 조류 번식지와 이격된 영국의 해상풍력발전단지, (B) 갯이갈매기 주요 번식지와 영해선



자료: Bennun et al.(2021), pp.20-21, 국립생태원 회의자료(2021.5.14) 바탕으로 저자 작성.

III 해상풍력발전사업의 생태환경적 쟁점 사항 및 팩트체크

1 장벽효과로 인한 해양 조류에 대한 영향

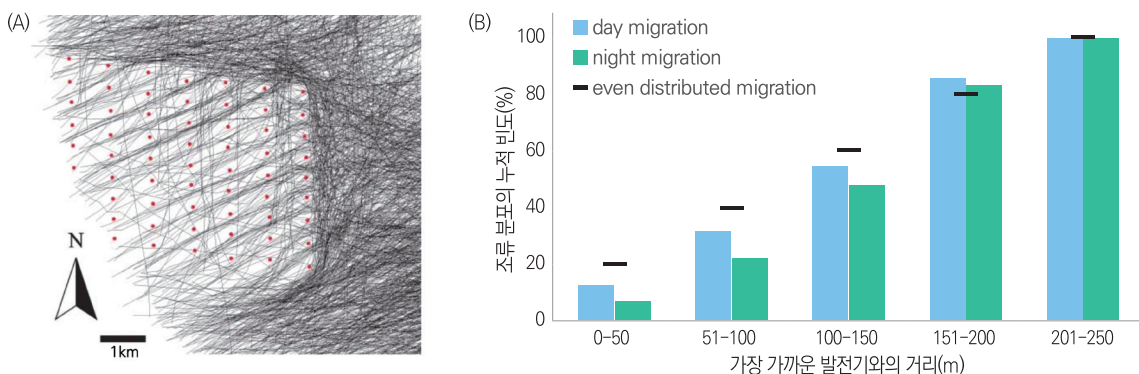
쟁점 1. 해상풍력발전기는 야생 조류의 이동에 큰 영향을 주지 않는다



조류는 해상풍력발전기와와의 충돌에 영향을 받을 수 있다. 하지만 번식, 취식, 이동 등 생활사 상황에 따라 충돌로 인한 영향의 정도는 달라질 수 있기 때문에, 해상풍력발전사업 추진 계획 수립 시 생태환경적 특성을 고려한 입지 선정이 필요하다.

- ◆ 풍력발전사업이 가지는 입지적 특성으로 인하여 조류와 박쥐처럼 비행하는 동물에 대한 충돌 위험의 문제는 지속적으로 제기되고 있으나, 영향의 정도에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 상황
 - 해양환경을 고려할 때, 충돌로 인하여 부상 또는 사망한 조류를 직접적으로 확인하는 것은 거의 불가능
 - Desholm and Kahlert(2005)에 따르면, 공사 시와 운영 초기에 발전단지 내로 유입하는 조류가 급격히 감소했으며 이는 발전단지가 이동에 장애를 초래할 수 있는 장벽효과에 따른 것으로 분석 (그림 9 참조)²⁾

그림 9. 해상풍력발전단지 운영 초기 해양 조류의 이동 현황



주: 그림 (A)의 붉은 점은 발전기를 의미함.
 자료: Desholm and Kahlert(2005), pp.296-298 바탕으로 저자 재구성.

2) 초기 가동 시, 야간에 이동하는 조류의 13.8%가 발전기(붉은 점) 내로 진입하였고 발전기에 근접(50m 이내)하는 경우는 6.5%였음. 주간에는 4.5%가 발전기 내로 진입하고 근접하는 경우는 12.3%였음. 전체적으로 이동 개체군의 약 1%가 발전기 가까이 접근하는 것으로 확인됨. 하지만 운영 직후 1년간의 모니터링에 불과하고 수조류(주로 기러기와 참새깃오리(Common eiders))를 중심으로 조사한 것이라는 한계성이 있음. 더욱이 운영 초기 시설관리를 위한 빈번한 방문 등이 결과에 영향을 주었을 가능성도 고려해야 함.

- ◆ 해상풍력발전단지와 충돌하는 조류를 모니터링하거나 충돌 확률을 예측하는 데에는 한계가 있기 때문에(Desholm, 2009), 집단번식지 또는 주요 이동경로 등의 입지적 특성을 고려한 충돌 위험성 평가 방법이 고려됨
 - 그림 8 (A)처럼 해양성 조류의³⁾ 집단번식지로부터 충분히 이격된 공간을 입지가능지역(consideration zone)으로 선정함으로써 장벽위험을 최소화

2 조류의 비행고도에 따른 영향



쟁점 2. 조류의 비행고도는 낮거나 높기 때문에 영향이 없다

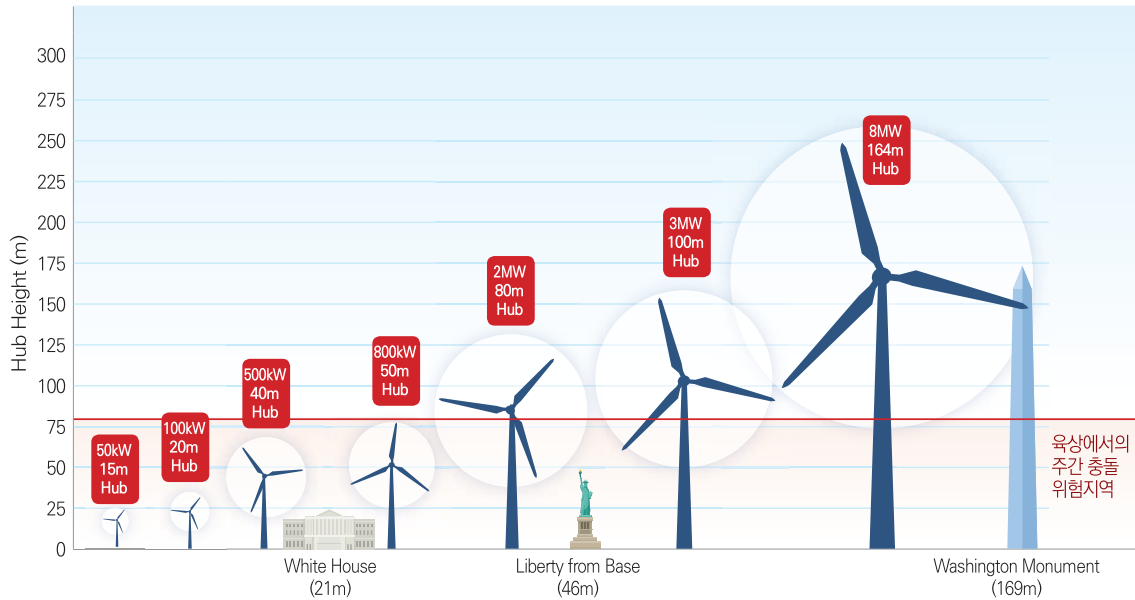
발전 용량에 따라 크기가 다르다(그림 10 참조). 또한 조류는 종에 따라 일상적인 비행고도는 다양할 수 있다. 특정 연구에서 제시된 평균 고도를 통해 영향 여부를 판단하는 것은 제한적인 정보에 따른 잘못된 결론을 유도할 수 있기 때문에 관련 연구 추진이 필요하다.

- ◆ 조류의 비행고도는 비행 시 환경(바람의 세기, 온도 등)과 비행의 목적에 따라 다르기 때문에 일반화하는 것은 매우 어렵고 정확성도 낮음. 선박에서 조사되는, 혹은 문헌에서 제공되는 비행고도 또는 평균 비행고도는 모두 특정 목적에 따라 수행된 결과로 이를 직접 인용하는 것은 예측 결과의 신뢰도를 감소시킬 수 있음
 - Furness et al.(2013)은 조류와 해상풍력발전기와의 충돌 여부를 평가하는 데 조류의 비행 고도가 가장 다양하게 사용될 수 있는 요소임에도 불구하고, 조류의 비행고도 측정과 평균고도 제시에 어려움이 있음을 고찰. 특히 조류의 비행고도를 제시한 문헌들의 결과가 매우 다양하고 이는 관찰 시기의 바람의 세기와 상황 등 다양한 요소가 반영된 결과로 분석
 - 이러한 사유로 조류의 비행고도를 ‘조류가 발전기 블레이드와 충돌할 수 있는 높이로 비행하는 비율’로 제시하여⁴⁾ 조류의 충돌 위험 여부를 평가하였으나 이를 검증할 충분한 데이터가 없다는 한계성도 함께 제시

3) 갈매기류 등 해양성 조류는 약 1,000~50,000마리 이상이 집단으로 섬 등에 모여 번식하는 특성을 지님. 또한 한 종이 아닌 다양한 종이 함께 번식함으로써 취식 장소에 대한 정보 공유, 포식자에 대한 공동 대응 등의 행동 생태를 보임. 이에 해상풍력발전단지의 입지 선정 시 해양성 조류의 번식생태의 특이성을 고려하여 충분히 이격하는 것이 필요함.

4) 예를 들어, 재갈매기(Herring gull)는 전체 비행의 약 35%(자료 10건), 흰꼬리수리(White-tailed eagle)는 약 25%(자료 1건)가 블레이드 높이로 비행하는 것으로 평가.

그림 10. 풍력발전기 발전용량 증가에 따른 높이 변화



주: 육상에서의 주간 충돌 위험지역은 Audubon Minnesota(2010), p.12의 기준값을 이용하여 제시함.

자료: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, "Top 10 Things You Didn't Know About Offshore Wind Energy", 검색일: 2021.6.1 바탕으로 저자 재작성.

3 해양 포유류 분포에 미치는 영향

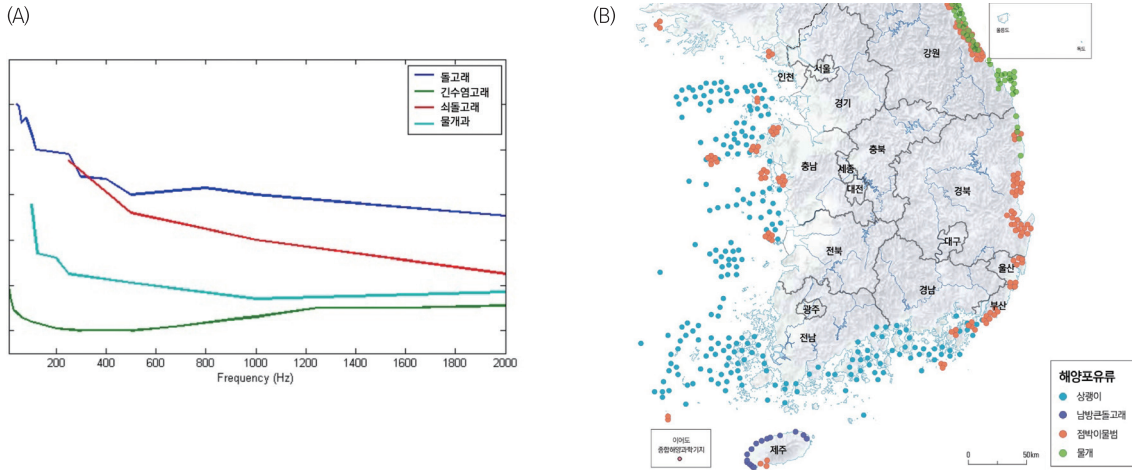
쟁점 3. 해상풍력발전기가 해양 포유류에 미치는 영향은 없다



해상풍력발전기는 고래 등 해양 포유류의 분포와 이동에 영향을 줄 수 있다. 다만 최근 연구에서 공사 후 개체 수가 회복되는 등 장기적 영향은 크지 않은 것으로 보고되고 있다. 하지만 부유식 발전기 설치에 따른 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

- ◆ 해상풍력발전 건설 시 발생하는 소음과 진동은 해양 포유류에게 스트레스를 초래하거나 개체 간의 의사소통에 교란을 야기하는 등 직·간접적으로 분포와 이동에 영향을 줄 수 있음
 - 해양 포유류 종별로 행동에 영향을 초래할 수 있는 소음의 폭이 다양하기 때문에 사업 예정 해역에서 서식하는 종의 현황을 면밀히 파악하고 영향을 최소화할 수 있는 방안 마련이 필요(그림 11 참조)
 - 특히 국내 해양 포유류 현황과 관련하여 서남해안을 중심으로 상괭이 서식이 광범위한 것으로 확인되었으나, 해양공간 이용 여부, 서식 범위 등에 대한 구체적인 분석 결과 등 추가적인 정보 확보가 필요(그림 11 참조)

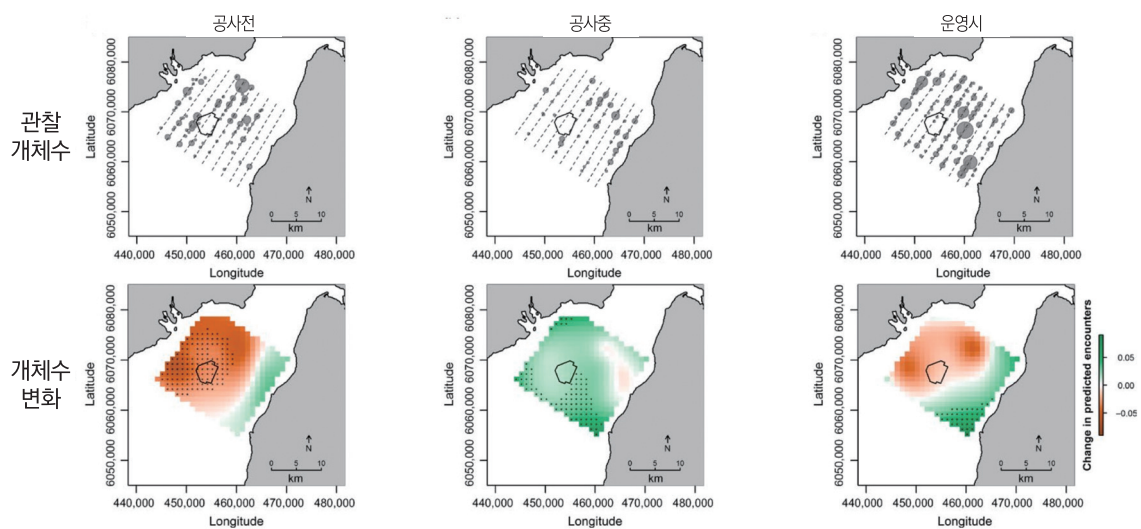
그림 11. (A) 주요 해양 포유류의 소음 민감도 시뮬레이션 결과와 (B) 국내 중요 해양 포유류 분포 현황



자료: COMSOL Blog(2014.6.25), "Seas of Chang for Wind Turbines", 검색일: 2021.6.1, 국토교통부 국토지리연구원 (2020), p.186 바탕으로 저자 재구성.

- ◆ 최근 연구에서 해상풍력발전 공사는 발전단지 부근에서 서식하는 쇠돌고래(Harbor porpoise) 개체수의 감소를 직접적으로 초래하였으나, 공사 완료 후 풍력발전 운영 시 개체수가 다시 증가하는 것이 보고됨⁵⁾
 - 해상풍력발전 공사 전의 개체수 크기로 회복되었으나, 주된 활동지역(그림 12 참조)이 발전단지로부터 이격되어 지속적인 모니터링을 통해 영향 여부에 대한 추가적인 분석이 필요

그림 12. 해상풍력발전 건설 과정에 따른 쇠돌고래 분포 현황



주: 개체수 변화에서 검은 점(하단)은 쇠돌고래의 주된 서식 지역을 나타냄.
 자료: Vallejo et al.(2017), pp.8698-8708 바탕으로 저자 재구성.

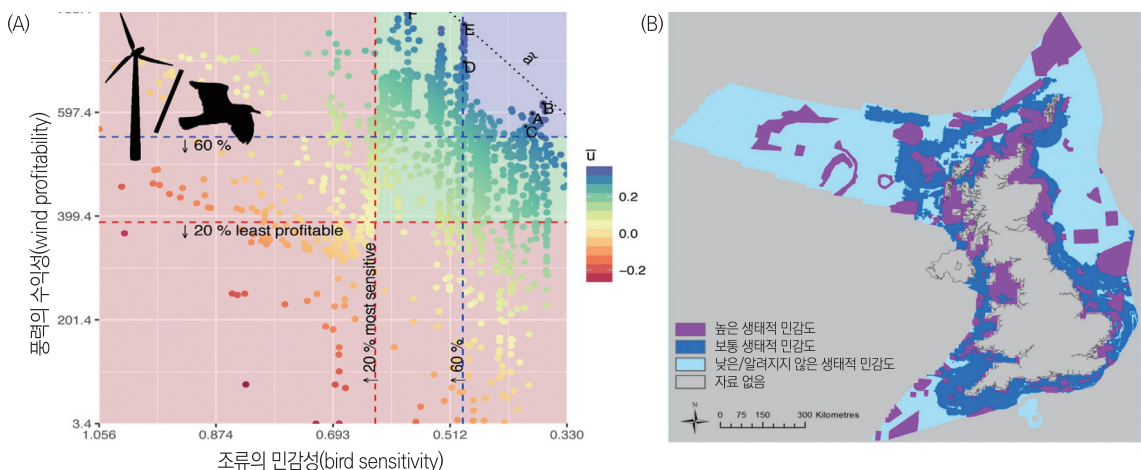
5) Vallejo et al.(2017), pp.8698-8708.

IV 탄소중립 실현을 위한 해상풍력발전 추진의 정책적 제언

1 한반도 해양생태계 지속가능성을 고려한 공간계획 수립 추진 필요

- ◆ 탄소중립의 정책적 목표 달성을 위한 해상풍력발전단지의 추진에 있어 한반도 해양생태계의 생물지리학적 특성을 고려한 지속 가능하고 균형 있는 적합입지 발굴과 계획 수립이 필요함
 - 현재 진행 중인 ‘해상풍력 고려지역(consideration zone)’ 수립의 방향성은 적정하나 소위 ‘비고려지역’ 내 기허가된 사업의 환경 영향 최소화를 위한 노력이 필요
 - ‘해상풍력 고려지역’으로의 이전(relocation)과 손실 보상과 같은 국가 차원의 경제적 지원 등 사업자의 경제적 손실 최소화와 해양생태계의 지속가능성을 함께 고려한 큰 틀에서의 고민과 합의가 필요
 - 특히 풍력을 이용하는 해상풍력발전과 해양성 조류에게 중요한 입지는 중첩될 수밖에 없기 때문에 모두의 이득(benefit)을 최대화하기 위한 trade-off를 고려(그림 13 참조)⁶⁾
 - 해양생태계의 지속가능성과 에너지 전환의 목표 달성을 위해 해양공간계획은 관리 가능한 수준으로 위험을 줄이기 위한 사전계획 단계에서의 면밀한 검토가 필요

그림 13. (A) 해상풍력발전 입지에 유리한 풍력의 수익성과 중첩되는 조류의 민감성, (B) 영국 해상풍력 발전을 위한 생태적 민감도 지도



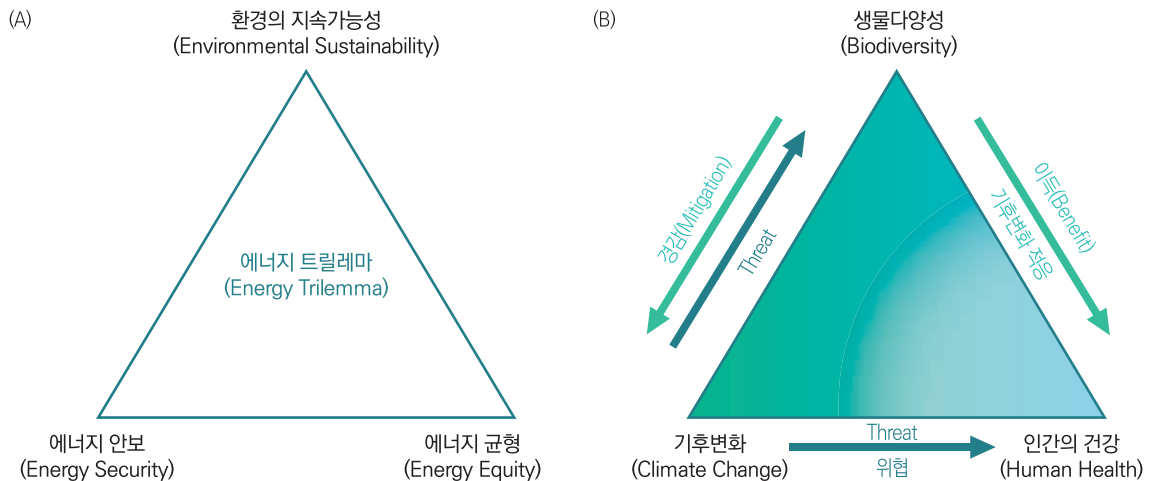
주: 영국의 생태적 민감도 지도는 해양성 조류, 해양 포유류, 풍력 등 다양한 정보를 종합적으로 평가하여 도출함.
 자료: Best and Halpin(2019), p.e0215722, RSPB(2016), p.186 바탕으로 저자 작성.

6) 대규모 해양성 조류의 집단번식지와 철새들의 이동경로에 속하는 한반도 연안역은 ‘동아시아-대양주 철새 이동경로 파트너십’을 비롯하여 한-호주, 한-러 철새보호협정 등으로 국가 간 협력이 수행되는 공간역임.

2 자연과 조화되는 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 협력

- ◆ 2050 탄소중립 목표 달성을 위하여 탄소흡수 확대의 지지기반이 되는 해양생태계 건강성 고려 등 자연과 조화되는 해상풍력발전 추진을 위한 협력이 시급함
 - 북유럽과 영국 등 해상풍력발전 설치·운영 선진국의 사례에서 보듯이 ‘에너지 안보-에너지 균형-환경적 지속가능성’의 균형을 유지하기 위해 신규사업 추진은 먼바다에서의 입지 선택을 우선적으로 고려하는 것을 제안
 - 지속 가능한 에너지 전환과 생물다양성 목표를 함께 달성하기 위하여 해양생태도 등급, 해양환경 등을 종합적으로 고려한 해상풍력발전 입지 가이드라인 제정이 필요

그림 14. (A) 에너지 트릴레마와 (B) 기후변화-생물다양성-인간 건강의 삼중관계



주: 에너지 안보, 에너지 균형, 환경적 지속가능성은 서로 상충되어 셋 중 어떤 것을 택해도 다른 문제가 발생하는 에너지 트릴레마를 초래. 우리나라의 에너지 트릴레마 지수는 31위지만 환경적 지속가능성은 하위권으로 평가(에너지 안보 45위, 에너지 균형 11위, 환경적 지속가능성 66위, World Energy Council(2020), pp.40-42).
 자료: RSPB(2016), p.19, Korn, Stadler, and Bonn(2019), p.317 바탕으로 저자 재구성.

- ◆ 자연기반해법(Nature-Based Solutions)으로서의 해상풍력발전을 추진하기 위해 자연과 조화되는 탄소중립 실천목표 계획 수립이 필요함
 - 탄소중립의 기후목표 달성을 위해 자연과 조화되는 구체적인 단계별 계획을 수립
 - 한반도 자연생태계 및 생태적 특성을 고려한 ‘한국형 실천목표’ 계획을 강구
 - 해상풍력 관련 국내 자료의 한계성으로 여러 갈등 요인을 해소할 수 있는 대안 제시의 어려움이 있는바, 과학적·정책적 연구개발이 수행될 수 있는 로드맵 마련이 필요

참고문헌

국내문헌

- 관계부처 합동(2020.7.17), 「주민과 함께하고, 수산업과 상생하는 해상풍력 발전 방안」, p.3.
- 국립생태원 회의자료(2021.5.14), “보호지역 주변 해양조류 공간이용 정밀조사 위탁연구사업 착수보고”, p.11.
- 국토교통부 국토지리정보원(2020), 「대한민국 국가지도집 II 2020」, p.186.

국외문헌

- Arent D. et al.(2012), “Improved Offshore Wind Resource Assessment in Global Climate Stabilization Scenarios”, *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, p.3.
- Audubon Minnesota(2010), *Bird-Safe Building Guidelines*, p.12.
- Best, B. D. and P. N. Halpin(2019), “Minimizing Wildlife Impacts for Offshore Wind Energy Development: Winning Tradeoffs for Seabirds in Space and Cetaceans in Time”, *PLoS One*, 14, p.e0215722.
- Desholm, M.(2009), “Avian Sensitivity to Mortality: Prioritising Migratory Bird Species for Assessment at Proposed Wind Farms”, *Journal of Environmental Management*, 90, pp.2672–2679.
- Desholm, M. and J. Kahlert(2005), “Avian Collision Risk at an Offshore Wind Farm”, *Biology Letters*, 1, pp.296–298.
- Furness et al.(2013), “Assessing Vulnerability of Marine Bird Populations to Offshore Wind Farms”, *Journal of Environmental Management*, 119, pp.56–66.
- International Renewable Energy Agency: IRENA(2019), *Future of Wind – Development, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-economic Aspects*, pp.44–45.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) and Global Business and Biodiversity Programme(2021), *Mitigating Biodiversity Impacts Associated with Solar and Wind Energy Development: Guidelines for Project Developers*, pp.20–21, p.86.
- Karpouzi, V. S., R. Watson, and D. Pauly(2007), “Modelling and Mapping Resource Overlap between Seabirds and Fisheries on a Global Scale: A Preliminary Assessment”, *Marine Ecology Progress Series*, 343, pp.87–99.
- Korn, H., J. Stadler, and A. Bonn(2019), “Global Developments: Policy Support for Linking Biodiversity, Health and Climate Change”, *Biodiversity and Health in the Face of Climate*, p.317.
- REN21(2020), *Renewables 2020 Global Status Report*, p.48.
- Riddick, S. N. et al.(2012), “The Global Distribution of Ammonia Emissions from Seabird Colonies”, *Atmospheric Environment*, 55, pp.319–327.
- The Royal Society for the Protection of Birds: RSPB(2016), *The RSPB’s 2050 Energy Vision: Meeting the UK’s Climate Targets in Harmony with Nature*, p.19, p.186.
- Vallejo et al.(2017), “Responses of Two Marine Top Predators to an Offshore Wind Farm”, *Ecology and Evolution*, 7, pp.8698–8708.
- World Energy Council(2020), *World Energy Trilemma Index 2020*, pp.40–42.

온라인자료

- 산업통상자원부 보도자료(2019.8.23), “당정, 「환경과 공존하는 육상풍력 발전 활성화 방안」 발표”, pp.1–4, https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156346819&call_from=naver_news, 검색일: 2021.6.5.
- COMSOL Blog(2014.6.25), “Seas of Change for Wind Turbines”, <https://www.comsol.com/blogs/seas-of-change-wind-turbines>, 검색일: 2021.6.1.
- Foundation Offshore Wind Energy, “Map Offshore Wind Energy Germany 2021”, https://www.offshore-stiftung.de/sites/offshorelink.de/files/mediainages/SOW_Offshorewind%20Übersicht_ENG_180121.jpg, 검색일: 2021.6.1.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, “Top 10 Things You Didn’t Know About Offshore Wind Energy”, <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/top-10-things-you-didnt-know-about-offshore-wind-energy>, 검색일: 2021.6.1.