

미국 해상풍력의 현황 및 상업적 도약 경로(DOE)¹⁾

해외에너지동향분석실 정귀희 전문원(ghjung@keei.re.kr)

- ▶ 현재 미국에서 가동 중인 해상풍력과 건설 중인 용량은 각각 250MW와 5GW에 달하고, 2024년 4월 기준으로 총 10GW 이상의 용량이 건설 허가를 취득하였으며, 2030년까지 미 동부 연안에 GW 규모의 청정전력을 공급할 전망이다.
- ▶ 해상풍력은 미국 에너지 시스템의 단기 및 장기 탈탄소화에서 매우 중요한 역할을 할 수 있으며, 장기적으로 2050년까지 100GW 이상의 전력을 공급할 수 있음.
- ▶ 해상풍력은 전력망 신뢰도 및 발전원 다양성을 지원하며, 평균 이용률은 일반적인 육상풍력이나 태양광보다 높아 다른 청정에너지원을 보완할 수 있는 뚜렷한 특징을 가지고 있음. 게다가, 부유식 해상풍력 기술을 이용하면 풍력 발전을 더욱 확대할 수 있음.
- ▶ 미국 해상풍력 도약은 세 단계를 통해 이뤄질 것이며, 상업적 도약이 실현되면, 해상풍력 구축에 투입될 수 있는 준비된 인프라, 미국 내에서 경험이 풍부한 공급자 생태계, 일원화되고 예측 가능한 프로젝트 개발 및 전력 구매 절차를 활용할 수 있음.
- ▶ 최근 초기 해상풍력 프로젝트의 낙찰 포기로 인해 불확실성이 가중되고 리스크가 높아졌으나, 각 주의 에너지 관할 당국의 리더십과 산업 전반에서 축적한 교훈을 바탕으로 이를 해소하기 위한 여러 조치가 시행되고 있음.

■ 미국 해상풍력 시장의 현황

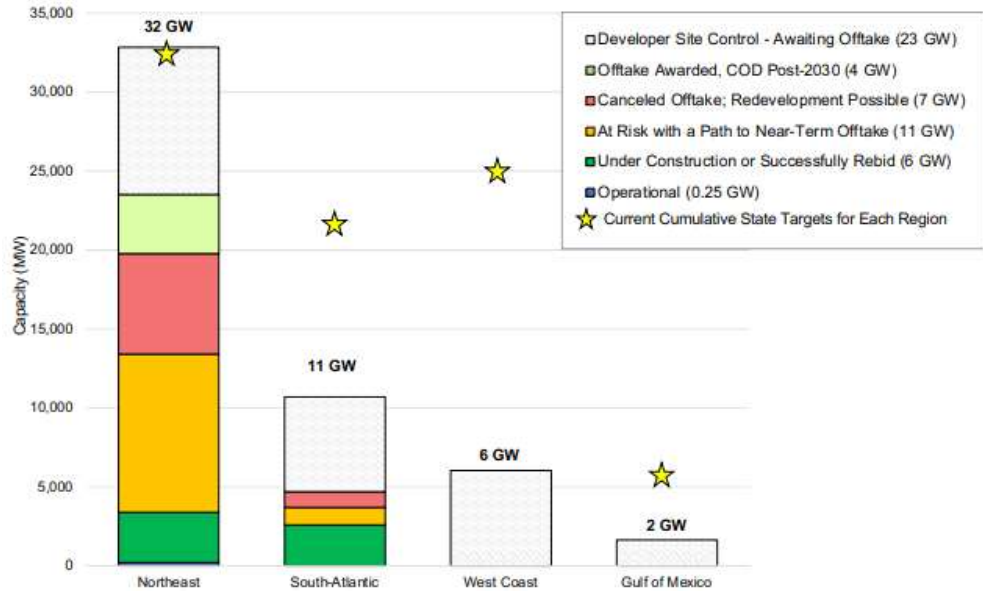
- 해상풍력은 2030년까지 미국 동부 연안에 GW 규모의 청정전력을 공급할 전망이다.
 - 현재 가동 중인 해상풍력은 250MW, 건설 중인 용량은 5GW에 달하며, 2024년 4월 기준으로 총 10GW 이상의 용량이 건설 허가를 취득하였음.
 - DOE는 추가로 향후 몇 년 안에 5~10GW 용량이 최종투자결정(final investment decision, FID)을 발표하고 착공할 수 있을 것으로 예상함.
 - 지원(enabling) 인프라에 대한 초기 프로젝트의 투자, 지속적인 입찰 약속, 향후 몇 년간의 프로젝트 보급 경험이 장기적인 미국 해상풍력의 보급을 실증·촉진할 것임.
- 거시경제적인 문제에도 불구하고, 해상풍력 부문은 현재 상황에 잘 적응해가고 있으며, 기획 단계에서 위험완화 역량이 개선되고 있음.
 - 최근 최종구매계약(offtake) 취소를 야기한 주요 요인(거시경제적 상황 등)은 새로운 구매계약 및 세계 해상풍력 투자 증가를 통해 해소될 것이며, 금리도 안정되기 시작하였음.

“향후 수년 내에 5~10GW 용량의 해상풍력이 착공될 것으로 예상”

1) 본 포커스는 미국 에너지부(Department of the Energy, DOE)가 발행한 ‘상업적 도약 경로-해상풍력 (Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind)’ 보고서를 소개하기 위한 자료임.

- 게다가, 주정부와 개발 기업들은 프로젝트 조달, 송전망 업그레이드 공조, 초기 공급망 개발에 대한 투자 등에서 상당한 성과를 올리고 있음.
- 주 정부의 리더십은 해상풍력 개발 추진, 계획, 공급망 투자 등에서 여전히 매우 중요함.

< 미국 해상풍력 파이프라인(2024년 4월 기준) >



자료 : DOE(2024.4월), *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*

“해상풍력은 미국 에너지 시스템 장·단기 탈탄소화에 매우 중요”

- 해상풍력은 미국 에너지 시스템의 장·단기 탈탄소화에서 매우 중요한 역할을 할 수 있음.
 - 증가하는 전력 수요를 충족하고 기후 위기 극복을 위해 탈탄소화하려면 청정에너지원의 빠른 보급이 필요함.
 - 특히 토지는 부족하나 다른 청정에너지 대안이 없는 해안 수요 지역에서 대규모 해상풍력을 단기간에 보급하면, 증가하는 전력 수요 충족을 도울 수 있음.
 - 해상풍력이 증설되지 않는다면, 가스화력 추가나 다른 화석연료화력의 폐쇄 시기 연기가 필요할 수 있음.
- 장기적으로 해상풍력은 2050년까지 100GW 이상이 보급될 수 있음.
 - 이미 50GW의 해상풍력을 구축할 수 있는 지역이 개발사에 임대되었고, 초기 프로젝트 보급은 빠르게 진행되고 있으며, 추가로 임대할 지역도 계획되었음.
 - 향후 수십 년간 미국 전역에 해상풍력 보급 규모를 확대할 수 있는 분명한 경로가 있으며, 각 주의 2050년 해상풍력 목표(총 115GW)를 달성하려면, 연간 5GW가 보급되어야 함.

〈 미국 해상풍력 보급 목표 〉

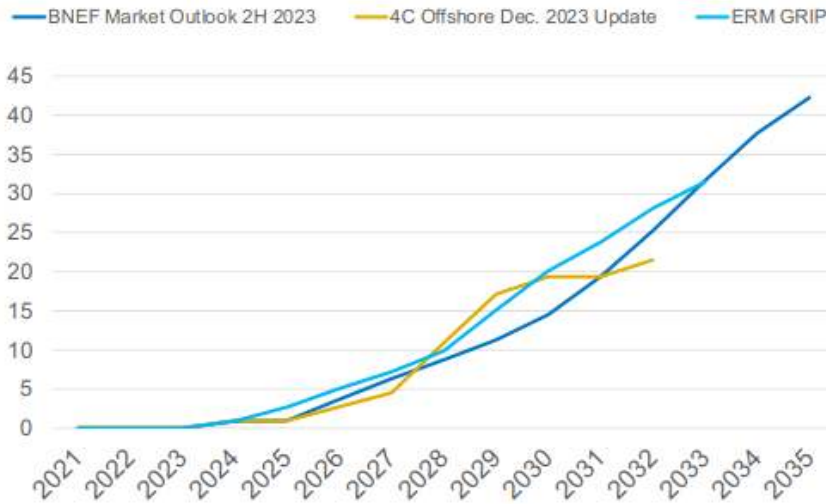


자료 : DOE(2024.4월), Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind

- 현재 업계에서는 2035년까지 미국에 40GW의 해상풍력 설비용량이 보급될 것으로 보고 있음.

“업계에서는 2035년까지 40GW의 해상풍력이 보급될 것으로 기대”

〈 미국 해상풍력 단기 보급 전망(2024년 1분기 기준) 〉



* 프로젝트 파이프라인에 대한 가시성 부족으로 인해 전망은 2032~2035년까지로 제한됨.

자료 : DOE(2024.4월), Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind

■ 해상풍력의 가치

- 해상풍력은 다른 청정에너지원을 보완할 수 있는 뚜렷한 특징을 가지고 있음.
 - 해상풍력은 전력망 신뢰도 및 발전원 다양성을 지원하며, 해상풍력의 평균 이용률은 일반적인 육상풍력이나 태양광 프로젝트보다 높음.

- 특히 다른 자원을 보완할 수 있는 특징 덕분에 동절기 증가하는 수요를 충족하는데 적합함.
 - ※ 전기화로 인해 화석연료가 전기로 대체되면서 날씨가 추울 때는 수요가 빠르게 증가됨에 따라, 추운 날씨에는 부하가 빠르게 상승함.
- 전력 수요가 높은 해안 인구 밀집지역과 직접 연결되는 해상풍력을 이용하면 육상 청정전력 발전소 및 송전 인프라의 부지 선정 문제를 해소할 수 있음.
- 해상풍력은 일자리, 제조, 전력망 인프라 등을 위한 지속가능한 기회를 제공함으로써 경제성장을 견인함.
- 추가로, 미국 해상풍력 산업의 규모가 확대됨에 따라 장기적으로 비용이 하락될 것으로 보임.

○ 부유식 해상풍력 기술을 이용하면 풍력 보급이 확대될 수 있음.

- 부유식 기술을 이용하면 수심이 200피트 이상인 지역에서 해상풍력 보급이 가능하며, 이는 미국 서부 및 메인만 등의 지역에서 해상풍력 도입의 열쇠가 될 수 있음.
 - ※ 미국 해상풍력 잠재량의 2/3는 고정식 해상풍력을 이용하기에 수심이 너무 깊은 지역에 위치함.
- 부유식 해상풍력은 장기적으로 미 동부와 서부 연안 및 오대호, 하와이, 미국 멕시코만 등에서 전력 수요를 충족할 수 있는 잠재력을 가짐.
- 또한, 부유식 해상풍력은 특히 고정식 해상풍력이나 육상 재생에너지, 기타 청정 에너지원의 이용이 제한된 지역의 탈탄소화에 매우 중요함.

“부유식 해상풍력, 미 서부와 메인만 등에서 해상풍력 도입의 열쇠”

〈 미국 해상풍력 자원과 에너지 수요가 높은 도시 지역 〉



자료 : DOE(2024.4월), *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*

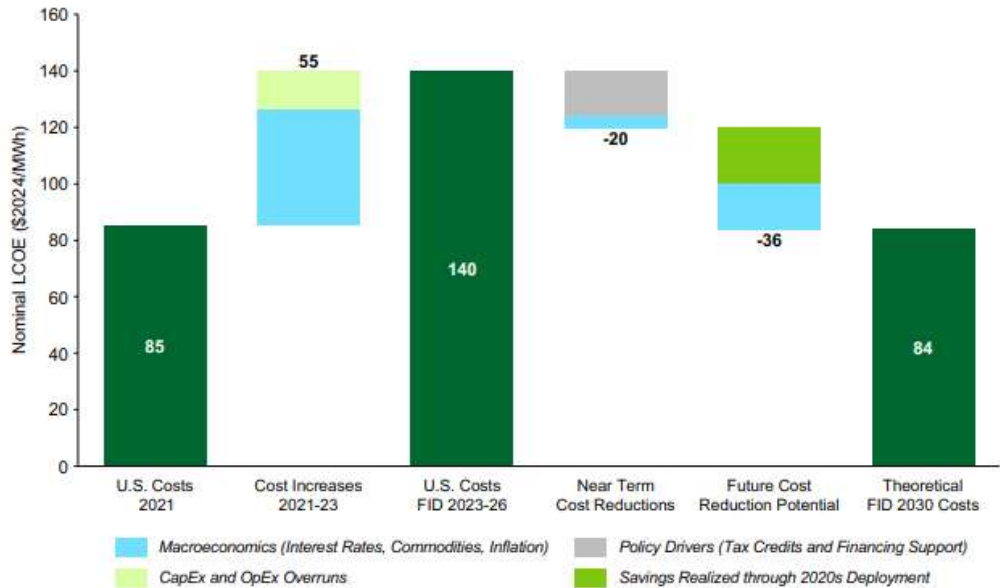
■ 시장 전망: 최근 비용 문제 및 향후 나아갈 방향

- 초기 프로젝트가 최악의 상황에 직면함에 따라 지속가능한 해상풍력 산업을 위한 투자 방향과 구조에 대한 중요한 교훈이 도출되었음.
 - 프로젝트별 차이는 있으나, 미국 해상풍력 프로젝트의 LCOE는 2021년 약 \$85/MWh에서 2023년 말 \$140/MWh으로 상승하였음.
 - 이는 인플레이션, 금리 인상, 공급망 제약, 일정 지연 등에 따른 것임.
 - 전력 조달과 최종투자결정(final investment decision, FID)이 발표되기 이전 (3~5년 소요)에 상기 문제가 발생함에 따라, 해상풍력 비용이 최종구매계약 (offtake) 가격을 상회하면서 다수의 계약이 파기되었음.
 - 2023~2026년 사이에 FID를 목표로 했던 프로젝트가 가장 큰 리스크에 노출되었음.
 - 반면, 그보다 장기적으로 계획된 프로젝트는 2020년대 프로젝트와 인프라 확충, 거시경제적 문제 안정화, 주정부와 개발사의 리스크 완화 노력 등에 따라 취소 위험이 상대적으로 낮음.
- 계약 파기 등 최근 몇 년간의 경험을 바탕으로 앞으로 시장이 나아갈 방향이 결정될 것임.
 - 여기에는 프로젝트와 공급사 확보를 개선하려는 주정부와 산업의 노력, 공급망과 송전망 계획을 위한 지역 간 공조 촉진, 필요한 인프라 지원을 위한 연방정부의 투자 등이 포함됨.
- 2030년까지 FID를 발표하는 고정식 해상풍력 프로젝트의 LCOE는 \$100/MWh (2024년 미국 달러) 이하가 될 수 있으며, 이는 프로젝트 구축, 관련 공급망과 인프라의 개발 덕분에 가능해졌음.
 - 비용은 거시경제적 상황, 주와 연방정부의 해상풍력 정책, 최종구매계약 (offtake) 조항, 향후 몇 년 안에 FID를 발표하고 착공하는 초기 프로젝트의 수 등에 의해 결정됨.
 - 2030년 이후에 FID에 도달하는 프로젝트의 LCOE는 \$84/MWh까지 하락할 수 있음.
 - 그러나 내재적 불확실성(거시경제적 상황 등)을 고려할 때, 이 같은 추정치를 비용 전망으로 해석해서는 안 됨.

“미 해상풍력 프로젝트의 LCOE는 2023년 말 \$140/MWh으로 상승”

“2030년 이후 FID를 발표하는 프로젝트의 LCOE는 \$84/MWh까지 하락 가능”

〈 2020년대 프로젝트의 비용 증가 추이 및 향후 프로젝트의 비용 감소 방법 〉



* 비용은 매매계약 가격이 아닌 기술 LCOE를 나타내며, 최근 재입찰한 프로젝트의 비용과는 다름.
 자료 : DOE(2024.4월), *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*

“최소한의
 프로젝트 보급이
 이뤄지면, 장기
 비용 하락도 가능”

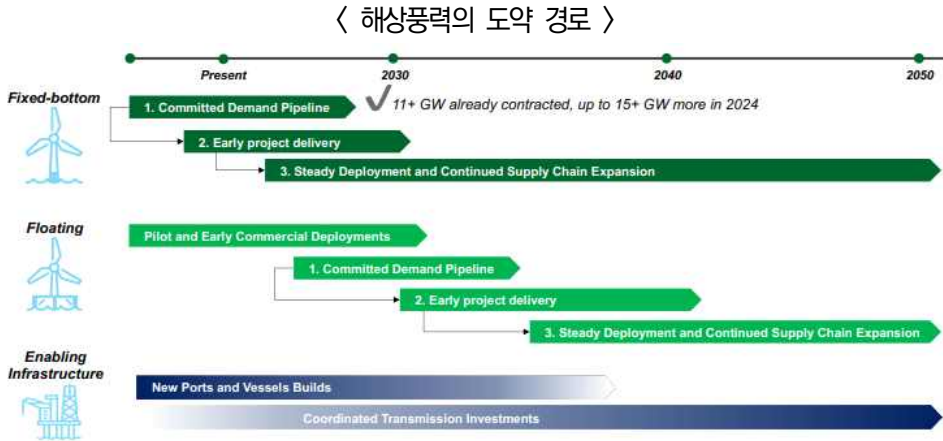
- 장기적인 비용 하락은 최소한의 프로젝트 보급이 이루어질 때 실현 가능함.
 - 비용은 상당히 중요하고, 전력 최종구매(offtake) 가격은 프로젝트가 제공하는 다양한 가치를 반영함.
 - 최종구매 가격에는 청정전력 생산비용, 전력 수송 비용, 해상인프라 구축 비용, 경제 활성화 기회 등도 반영됨.

▣ 해상풍력의 상업적 도약 경로

- 상업적 도약이 실현되면, 해상풍력 산업은 해상풍력 구축에 투입될 수 있는 준비된 인프라, 미국 내에서 경험이 풍부한 공급자 생태계, 일원화되고 예측 가능한 프로젝트 개발 및 전력매매 절차를 활용하게 될 것임.
 - ※ 도약이 의미하는 바는 미국 해상풍력 산업이 일관된 프로젝트 파이프라인을 갖추게 되고 해상풍력이 정기적으로 보급되면서 주의 탈탄소 목표에 적극적으로 기여하는 상황을 일컬음.
- 해상풍력의 전면 도약은 서로 상충되는 세 단계를 통해 이뤄질 것임.
 - **약속된 수요 파이프라인:** 장기 해상풍력 최종구매계약을 위한 수요 확실성은 해상풍력 개발, 공급망, 장기 송전망 구축 등으로 민간 투자를 유인하는 데 매우 중요함.
 - **초기 프로젝트 공급:** 초기에 보급되는 10~15GW 규모의 프로젝트들은 미국 내 해상풍력 개발 및 건설 과정에 대한 소중한 경험을 제공할 것임.

- 이들 초기 프로젝트들은 장기 구축을 용이하게 하는 데 필요한 주요 지원 인프라 및 공급망 투자를 도울 것임.
- **안정적인 개발과 지속적인 공급망 확대:** 신규 프로젝트가 예산 내에서 지속적으로 적기에 보급되면서 모멘텀을 얻게 되면, 해상풍력 산업이 계속해서 성장하면서 매년 GW급 프로젝트를 보급할 수 있으며, 이를 통해 장기 탈탄소 목표를 달성할 수 있음.

“미 해상풍력 프로젝트의 LCOE는 2023년 말 \$140/MWh으로 상승”



자료 : DOE(2024.4월), *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*

- 현재 미국 해상풍력 시장은 각각 다른 단계에 있음.
 - 고정식 해상풍력 시장은 1단계 도약을 위한 궤도에 있음. 현재 2단계가 진행 중이며, 조만간 3단계로 이어질 것임.
 - 부유식 해상풍력 시장은 아직까지 초기 단계로, 도약을 위해서 인프라(항만, 조립 라인, 송전망 등) 계획, 수요 프레임워크 수립, 적응 가능한 생태계 관리 등이 필요함.
 - 이 같은 조치를 취하면, 미국 내 활발한 개발을 도울 수 있고, 부유식 해상풍력을 활용해 탈탄소화하려면 지금 바로 항만, 조립 라인, 송전망 등에 대한 투자와 계획이 필요함.

- 주요 공급망의 연결을 포함하는 지원 인프라는 고정식·부유식 해상풍력 시장의 도약에 핵심임.
 - 항만과 선박이 확보되면, 매년 해상풍력을 보급할 수 있는 잠재력이 생길 것이며, 미국 내·외에서 증가하는 해상풍력 확대 수요를 지원하기 위해 부품 공급망의 확대가 필요함.
 - 해상풍력 프로젝트는 수요 지역과의 연결 및 비용 문제로 어려움을 겪기 때문에 송전망 구축도 중요함.
 - 장기 계획은 미래 해상풍력 보급 리스크를 감소시키고, 장기적으로 더욱 복원력 있고 효율적인 전력망 구축을 도울 수 있음.

“2030년 이후 FID를 발표하는 프로젝트의 LCOE는 \$84/MWh까지 하락 가능”

- 연방정부는 ‘인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act, IRA)’과 ‘초당적 인프라 법(Bipartisan Infrastructure Law)’에 의거한 장기 프로그램과 함께 신규 재원을 통해 해상풍력의 도약을 지원하고자 노력함.

▣ 도전과제 및 해법

- 해상풍력 산업이 도약하려면 4가지 도전과제를 반드시 극복해야 함.
 - 각 주의 에너지 관할 당국의 리더십과 산업 전반에서 축적한 교훈을 바탕으로 이를 해소하기 위한 여러 조치가 이미 시행되고 있음.

〈 해상풍력 산업의 도전과제와 현재 실행 중인 해결책 〉

“최근 초기 프로젝트 최종구매계약 파기 등의 문제가 불거졌으나 주정부의 리더십과 산업 전반의 교훈을 바탕으로 여러 해결책이 실행 중”

| 도전과제 | 현재 실행 중인 해결책 |
|--|--|
| 최근 최종구매계약 파기: 거시경제적 상황에 의한 계약 파기로 인해 구축 시기에 대한 불확실성이 커지고, 해상풍력 확충을 위한 자금조달이 부족해짐. | <ul style="list-style-type: none"> ▷ 2023년 이전에 매매계약을 체결한 2020년대 프로젝트를 대상으로 경쟁 입찰(재입찰) ▷ 현재 시장 상황에서도 추진 가능한, 장기적인 지원 인프라(선박, 항만 등)에 자금지원을 재 약속한 수정된 프로젝트 |
| 현재 시장 구조로 인해 해상풍력 산업이 상당한 리스크에 노출되고 있으며, 초기 프로젝트가 비용 부담을 안고 장기적으로 산업을 구축해야할 필요성 등의 복잡성이 생겨남. | <ul style="list-style-type: none"> ▷ 최종구매계약, 허가, 프로젝트 FID의 순서 개선 ▷ 리스크 저감을 통합하고 프로젝트 추진 가능성을 우선시하기 위해 매매계약을 세분화 ▷ 보조 인프라에 선별적 투자 |
| 특히 공급망을 중심으로 장기 투자를 위한 시장 가시성이 부족함. | <ul style="list-style-type: none"> ▷ 수요 가시성과 일관성을 제공하는 분명한 입찰 일정 ▷ 지역 차원의 공급망 및 송전망 구축 지원을 위해 협력 ▷ 공급망 구축을 위해 기술 세부사항과 표준에 대한 산업 차원의 합의 |
| 개발 병목현상 및 비효율적인 전력망으로 인해 송전 리스크가 높음. | <ul style="list-style-type: none"> ▷ 공조를 통한 상호 연계점(point of interconnection) 확인 및 육상 업그레이드 요청 ▷ 저비용 해상 송전 및 효율적인 연결에 맞춘 해상풍력 프로젝트 규모 설정 및 표준 수립 ▷ 지역 간 송전 계획 활용 |

자료 : DOE(2024.4월), *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*

- 현재 해상풍력 시장은 도약을 앞두고 있으며, 총 10~15GW에 달하는 프로젝트가 향후 수년 안에 FID에 도달할 수 있는 경로에 있음.
 - 이들 프로젝트가 미국 내에서 일관되고 장기적인 해상풍력 보급, 탈탄소화, 경제적 편익 등을 실현하는 토대를 마련할 것임.

참고문헌

Department of the Energy, *Pathways to Commercial Liftoff: Offshore Wind*, Apr 2024.4월.