

해상풍력단지 지원항만 여건 분석 및 평가에 관한 연구* -경상남도 항만을 중심으로-

양항진**, 장봉규***

A Study on the Conditions Analysis and Assessment of Supporting Port for Offshore Wind Farm : Focusing on Ports in Gyeongsangnam-do

Yang, Hang-Jin, Chiang, Bong-Gyu

Abstract

Offshore wind power is a representative renewable energy source and a rapidly growing industry. In Gyeongsangnam-do, offshore wind farms of 461.9MW are being pushed for in the Yokji island and are expected to expand further to over 1GW in the future. Accordingly, ports supporting the storage, assembly, transportation, and installation of offshore wind power equipment are expected to play an important role in the smooth progress of the offshore wind farm development project.

Based on previous research and cases in major countries, this study prepared criteria for assessment of ports supporting offshore wind farms and evaluated ports in Gyeongsangnam-do, which are linked to Yokji island offshore wind farms. The assessment criteria have been subdivided into distance from the offshore wind farm, port entry and exit restrictions, navigational areas, fishery rights factors, additional costs, berth length, depth of berth, size of the port yard, port berth bearing pressure, interference with other cargo, a civil appeal, and relevant industrial aggregation. The ports of Tongyeong, Samcheonpo, Kohyun, Masan, and Jinhae in Gyeongsangnam-do were selected and evaluated.

As a result, the port of Tongyoung was superior in terms of distance from the Yokji island offshore wind farm. The ports of Samcheonpo, Masan, and Jinhae were evaluated as excellent in other criteria such as berth length, depth of berth, and so on. This study is expected to be used as a source of basic data for offshore wind power companies and policymakers to select and evaluate the supporting ports of offshore wind farms.

Key words: Offshore Wind Farm, Supporting Port, Ports in Gyeongsangnam-do, Assessment Criteria

▷ 논문접수: 2019. 11. 21. ▷ 심사완료: 2019. 12. 17. ▷ 게재확정: 2019. 12. 27.

* 본 연구는 (재)경남테크노파크에서 지원한 「해상풍력단지 배후항만 사전조사 용역」을 수정·보완 및 발전하였음

** 경상대학교 경영대학 국제통상학과 박사, 제1저자, tooto21@hanmail.net

*** 경상대학교 경영대학 국제통상학과 교수(경영경제연구소 책임연구원), 교신저자, chiang@gnu.ac.kr

I. 서론

풍력산업은 부품 및 기자재 운송, 풍력발전시스템 제조, 풍력발전기 설치 및 시공 및 발전 서비스 제공으로 이어지는 가치사슬 체계로 구성되어 있으며, 풍력발전산업은 정밀한 설계기술과 높은 신뢰성 기술을 결합한 고도의 기술집약적 재생에너지 산업으로 분류되고 급속히 성장하고 있는 산업이다.

세계에너지기구(IEA)는 2017년 OECD 전체 전력 생산 중에서 재생에너지 비율이 24.9%이며, 이중 풍력발전은 6.4%를 차지하는 것으로 발표하였다. 또한, 풍력발전은 1990년 재생에너지 전체의 0.3%인 3.8TWh에 불과하던 것이 2017년에는 25.5%인 696.9TWh가 생산되어 연 평균 21.2% 정도 성장하고 있다고 밝혔다.(IEA, 2018).

우리나라의 경우 산업통상자원부는 2017년 12월 “재생에너지 3020 이행계획(안)”에서 2030년까지 국내 총 발전량의 20%를 재생에너지로 대체하는 정책목표와 이행계획을 발표하였다. 동 계획(안)에서는 재생에너지 중 풍력발전 비중을 2017년 기준 8%인 1.2GW에서 2030년까지 28%인 17.7GW로 확대하는 방안을 제시하였다. 또한, 재생에너지 산업 경쟁력 강화를 위해 해상풍력단지과 연계한 지원항만 및 생산·조립단지를 구축하고 전문인력 양성센터와 R&D실증 센터를 조성하여 혁신성장 클러스터 조성을 추진하는 내용을 담고 있다.

또한, 산업통상자원부를 중심으로 2019년 4월 관계부처 합동으로 마련한 “재생에너지산업 경쟁력 강화 방안”에서 동해권의 동해가스전 부유식 해상풍력(1GW), 전북권의 새만금 해상풍력(1GW), 전남권의 해상풍력(완도 0.8GW), 특히 경남권은 육지도 해상풍력 등 1.9GW 규모의 풍력 프로젝트를 추진하고 초대형 풍력시스템·부품 개발·실증 및 생산거점으로 특화하는 방안을 발표하였다. 이는 선진

국의 발전산업 패러다임의 변화에 대응하여 우리나라도 정부차원에서 해상풍력 등 풍력산업 생태계를 활성화하고 신성장동력으로 육성하고자 하는 의의가 높음을 알 수 있다.

통상 해상풍력은 육상풍력에 비해 발전기 부품 및 기자재의 해상운송, 하부 기초구조물의 제작 및 설치와 변전소 및 송전망 연결 등에 많은 비용이 소요된다(맹준호 외 5, 2012). 이중 해상운송은 날씨, 바람, 파도 등의 해양환경 조건과 보관·조립 공간, 안벽 및 수심 조건 등 항만시설 여건에도 크게 영향을 받는다.

특히, 해상풍력발전은 약 8,000개의 부품으로 구성되어 있고, 발전기 제조사에서 모든 부품을 생산하는 체계가 아니라 다수의 협력 업체로부터 부품을 공급받아 최종 제품이 완성되는 특성이 있다. 따라서 해상풍력발전을 설치하기 위해서는 특정 장소에서 최종 조립하는 작업이 필요하다(고현정, 2012; 이종필 외, 2018).

이에 따라 과거 해상풍력단지의 건설에 중점을 둔 정책들이 변화하여, 최근에는 대형화되는 해상풍력단지와 풍력 부품 및 기자재의 해상운송 수량의 증가로 지원항만 선정과 생산·조립단지 등을 구축하는 해상풍력 클러스터 구축까지 논의가 확장되고 있다.

본 연구는 해상풍력단지를 지원하는 최적 항만을 찾기 위해 해상운송 거리 및 항행여건 등과 항만시설 규모 및 활용 현황, 안벽 및 수심조건, 항로상의 제약 요인, 지역사회 여건 등을 종합적으로 연구하고, 이를 경상남도 항만을 중심으로 검토하여 시사점을 제시하고자 한다.

또한 본 연구를 통해 해상풍력기업 및 정책입안자들이 지원항만을 선정하고 기존 항만시설을 활용하기 위한 기반을 제공하고자 한다.

II. 선행연구

1. 해상풍력단지 지원항만에 대한 연구

해상풍력단지 지원항만은 풍력발전의 기본적인 구성 요소인 타워, 허브, 블레이드 등의 보관·조립·가공 등은 물론이고, 해상풍력단지까지 해상운송을 위해 필요한 안벽, 수심, 항로, 제조 및 가공 부지규모 등 여러 가지 요소를 고려하여 결정하여야 한다.

통상 해상풍력발전 기자재는 길이 50~70m의 블레이드나 중량 200톤 이상의 나셀, 타워높이가 100m에 달하는 중량화물이기 때문에 도로를 이용한 육상운송은 어렵다는 것이 일반적이다¹⁾. 따라서 항만 인근에 생산공장과 조립시설이 들어서는 추세이며 최종 조립공정은 해상풍력발전이 설치될 해상인근 지역에 이루어지는 것이 경제적으로 유리하다고 볼 수 있다.

이러한 점에서 조성우·박명섭·한낙현(2013)은 독일 브레머하펜(Bremerhaven)항 등의 사례분석을 통해 해상풍력 기자재 제조·조립 기능의 지원항만 및 배후단지 입주, 해상풍력단지와 지리적 접근성, 다른 해상풍력단지를 고려한 충분한 지원항만 개발 등이 필요하다고 주장하였다.

이강진·김민경(2013)은 서남해 해상풍력 단지 개발사업의 지원항만으로 선정된 군산항을 중심으

로 해상풍력전용단지 조성, 해상풍력 인증 평가기관의 설립 및 육성 등 6가지가 필요하다고 주장하였으며, 조상필(2014)은 전남지역 해상풍력 지원항만으로 목포신항 지정·운영, 충분한 항만 배후부지 확보, 지원항만과 연계한 신안 압해산단 해상풍력 전용산단 조성, 목포신항만과 배후단지 등이 필요하다고 보았다.

Kaiser & Snyder(2010)는 해상풍력발전에서 항만 시설은 해상풍력 기자재의 제작·조립·적재할 수 있는 제조 시설, 선박 접안 및 집결 등을 제공하기 때문에 매우 중요하다고 강조하였다. 또한, 해상풍력단지와 항만간의 거리, 운송 선박 용량 등이 풍력터빈의 설치 비용을 절감하는 요인이 된다는 점을 지적하였다(Sarker & Faiz, 2017; Kaiser & Snyder, 2013).

Musial et al.(2017)은 해상풍력단지가 보다 깊은 수심에 입지하고 관련 기자재가 중량화됨에 따라 특수 목적으로 제작된 장비 및 프로세스를 제조시설 및 집적 항만에 통합하여 공급망을 완성하는 추세임을 밝혔다.

WindEurope(2017)는 해상풍력산업의 효율성과 가치창출을 위해 항만선택이 우선 고려해야 하며, 항만 선택 시 위치와 함께 적절한 기반시설 보유 및 우수한 서비스 제공 여건도 충분히 검토해야 한다고 주장하였다.

2. 지원항만 입지평가에 관한 연구

해상풍력단지 지원항만의 입지평가와 관련한 연구로, 손충렬 외(2010)는 해상풍력 지원항만 요건으로 해상풍력단지와 2시간 이내 거리, 해상풍력 터빈을 조립할 수 있는 45,000㎡ 이상의 충분한 공간, 부두의 충분한 하중, 풍력터빈 조립을 위한 각종 시설, 2차선 이상의 도로 확보, 인근 해상풍력

1) 중량화물의 도로운송은 도로법 제77조 및 도로법 시행령 제79조에서 축하중 10톤 초과, 총중량 40톤 초과 차량, 차량 폭이 2.5m, 높이가 4.0m(최대 4.2m), 길이가 16.7m를 초과하는 차량은 운행을 제한할 수 있도록 규정하며, 차량의 구조나 적재화물의 특수성으로 인하여 도로관리청의 허가를 받아 운행하고자 할 경우 제한차량 운행허가 신청서를 작성하고, 구조물 통과 하중계산서를 첨부하여 도로관리청에 제출하도록 하여 중량물의 도로 운송은 어렵다는 것이 일반적이다. 이점에 대해 박두선 외(2017)은 법률이 중량물 운송의 불법화를 방조하고 있어 개선이 시급하다고 주장한 바 있다.

지원 산업단지 존재 여부, 선박 접안을 위한 6m 이상의 수심 확보 등이 필요하다고 제시하였다.

고현정(2012)은 해상풍력단지 전용항만 입지 선정 평가항목으로 집적요인(풍력산업 집적 등 3가지), 지역요인(노동 유연성 등 3가지), 경제 요인(물동량 확보 등 3가지), 입지요인(항만운영 효율성, 해상풍력단지 근접성 등 3가지), 컨소시엄 요인(사업추진 의지 등 3가지) 등 5가지로 구성하였다. 또한, 실증분석 결과로 풍력산업 집적도, 항만운영의 경제성 확보 물동량 규모, 해상풍력산업 발달 정도와 해상풍력단지와의 근접성 순으로 중요하다는 결론을 제시하였다.

한국에너지기술평가원(2013)의 해상풍력 지원항만 요구조건에 따르면, 부두·야적장(길이와 수심 확보 부두, 저장 창고, 충분한 야적장, 임항교통시설, 리드타임 없는 해상풍력 설치 산단), 하역시설(육상 대형크레인, 고중량물 적치 상재하중, 수백톤의 기항통지 수용 가능 용량), 부두운영 및 선박항행조건(연중 무휴 부두 운영, 정온도 및 항행수역 확보, 선박 높이와 관계없는 입출항, 항내 충분한 수심, 외해까지 최단거리 항로), 지리학적 위치(해양 인프라와 접근성, 해양풍력 부품 제조사와 접근성, 부두 운영에 영향을 주는 날씨와 독립성, 해상풍력단지와 접근성), 항만 배후여건(항만관련 편의시설, 숙련된 항만노동자 및 교육훈련 체계, 항만노동력의 용이한 고용, 해상풍력단지 개발에 대한 지역사회 및 관련기관 동의 및 지지, 지역 및 국가 경제 발전에 기여하는 개발계획 수립) 등으로 구분하고 있다.

또한, 한국에너지기술평가원(2015)의 해상풍력 단지개발 가이드북에서는 해상풍력발전 지원항만 시설의 필수조건으로 해상 운송을 일반 바지선으로 할 경우 최소 흘수 6m, 일반 화물선 이용시 최소 12m 이상의 수심 확보가 필요하고, 부두의 지내력

도 충분히 확보 가능한지 확인하여야 한다고 하였다.

해상풍력클러스터 구성과 관련한 연구로 이종필 외(2019)는 해상풍력클러스터 조성 조건을 제시하였다. 첫째, 수요요인으로 최소 1GW 이상의 집적개발 및 10년 이상 지속개발, 둘째, 경제성 요인으로 사업비용(해상풍력발전단지 조성 및 관리 운영비용과 항만개발)과 정부지원(공유수면 점·사용료와 항만 및 배후단지 입주비용), 셋째, 정책요인으로 민원, 해상풍력발전 전용선박 수용 및 사업다각화 등을 제시하였다 또한, 국내 항만의 유휴 부두 시설 및 배후부지를 활용하여 클러스터를 조성할 경우 신규 항만개발 대비 약 1조 4,799억의 사업비 절감효과가 있다고 주장하였다.

TETRA TECH EC. INC(2010)은 미국 매사추세츠(Massachusetts)의 3.6MW 풍력터빈 150개 규모의 해상풍력단지 계획에 따라 11개 항만을 대상으로 지원항만 선정 기준을 설정하고 평가하였다. 지원항만의 제1 기준으로 태풍 등에서 항만 안정성, 제약없는 선박통항, 선박 하역장비 작동에 필요한 최소 40m 이상의 수평간격 확보, 수심 7.4m 이상의 항로 깊이, 연중 24시간 운영, 지원설비의 전용사용 등을 제시하였다. 제2 기준으로 최소 138m 이상의 안벽, 최소 7.4m 이상의 안벽 수심, 4헥타르(4만㎡) 이상의 저장 및 조립부지, 해상풍력단지와 접근성을 제시하였다. 이 외에도 추가조건(Soft Criteria)으로 노동력 이용가능성, 교육 및 훈련시설, 정치적 환경/지역사회 수용성, 규제 사항 등을 제시하였다.

Kinetik Partners LLC(2011)는 미국 매릴랜드주(Maryland)에 제안된 450MW 해상풍력단지와 함께 미대서양 연안 해상풍력단지에 활용 가능한 지원항만을 평가했는데, 450ft(137m) 이상 2선석, 수심 24ft(7.3m), 제한없는 통항 최소 높이 150ft(46m),

표 1. 선행연구의 해상풍력단지 지원항만 평가항목

연구자	세부 평가항목	비고
손충렬 외(2010)	2시간 거리, 최소 45천㎡부지, 충분한 부두 하중, 풍력터빈 조립 각종 시설, 2차선 이상 도로, 지원 산업단지, (-)6m이상 수심	
TETRA TECH EC. INC(2010)	항만 정온도 확보, 제약없는 선박통항, 하역장비 작동 수평공간 확보, (-)7.4m 이상 항로 및 안벽 수심, 연중 운영, 138m 이상 안벽, 4만㎡ 이상의 저장 및 조립부지, 해상풍력단지와의 접근성, 노동력 이용 가능성, 교육 및 훈련시설, 사업반대 등 정치적 환경/지역 수용성, 규제 등	
Kinetik Partners LLC(2011)	137m 이상 선석 2개, 수심 (-)7.3m, 제약없는 통항 높이 46m, 크레인 1,000톤 이상, 81만㎡ 하역·저장·운송·제조 및 조립부지, 해상풍력단지와의 접근성, 바지선 수평이동 가능 안벽 137m, 도로 및 철도 연결	
고현정(2012)	풍력산업 집적, 기계·전자 등 관련산업 집적, 풍력터빈 R&D 및 인력양성 프로그램 등 지적 집적, 노동유연성, 정주여건, 지자체 지원 정책, 물동량 확보, 부지구입 비용 저렴성, 항만건설 용이성(건설비용 저렴성), 항만운영 효율성(수심, 부지구모, 작업일수 등), 해상풍력단지 접근성, 육상 등 교통접근성, 사업추진 의지, 사업추진 구체성, 전문성	
한국에너지기술평가원 (2013)*	부두·야적장(길이, 수심 (-)7m, 창고, 충분한 야적장(4만㎡), 임항교통시설, 해상풍력 설치 산단, 하역시설(대형 크레인, 부두 상재하중(3.5톤/㎡), 기항통지 수용 가능 용량), 부두 운영 및 항행조건(연중 무휴, 정온도 확보, 항행수역 확보, 제약없는 입출항, 충분한 항내수심, 최단거리 항로), 지리학적 위치(풍력부품사와 접근성, 날씨와 독립성, 풍력단지와의 접근성), 항만배후여건(노동자 및 관광객 편의시설, 숙련된 항만노동자 및 교육훈련 체계, 항만노동력 고용 용이, 지역사회 및 기관 동의, 개발계획 수립 등)	
Elkington 외 (2014)	접근성(항로 폭, 수심, 제약없는 통과높이, 중량물 안벽 길이), 안벽조건(중량물 안벽부지, 부두하중, 작업 바지선 접근), 저장공간(저장공간, 지반하중, 운송도로 폭, 운송도로 하중, 정박공간), 제조구역(제조 가능구역, 제조부지 길이 및 구역)	
한국에너지기술평가원 (2015)	바지선 이용시 (-)6m, 화물선 이용시 (-)12m의 수심, 부두 상재하중 확보	
이종필 외(2019)	최소 1GW 집적 개발, 10년 이상 개발, 사업비용(해상풍력단지 조성 및 관리 운영 비용과 항만개발), 정부지원(공유수면 및 항만 사용료 등), 정책요인(민원, 해상풍력 전용선박 수용, 사업다각화 여건)	해상풍력클러스터

주) * 조상필(2014), p.193 재인용하여 저자 작성

크레인 1,000톤 이상, 200에이커(81만㎡)의 하역·저장·운송·제조 및 조립부지, 해상풍력단지와 접근성, 바지선으로 제조품의 수평이동 공간 최소 450ft(137m)확보, 도로 및 철도 연결 등을 기준으로 하였다.

Elkington, Blatiak & Ameen(2014)는 미국 해상

풍력발전 공급망의 전략적 거점으로 인접한 항만을 이용할 필요가 있으며, 항만에 대한 평가기준을 제시하였다. 동 연구에서는 미국의 5개 해상풍력발전 예정지의 6개 항만을 검토하였는데, 활용한 평가기준으로 접근성(항로 폭, 수심, 통과높이 등 4가지), 안벽조건(중량물 안벽 규모, 하중 등 3가지), 저장

공간(저장공간, 지반하중 능력 등 4가지), 제조구역(제조능력, 길이 및 면적) 등으로 구분하였다.

이상의 선행연구를 요약하면 <표 1>과 같고, 해상풍력단지와 연계하여 각 항만별로 분석한 연구는 TETRA TECH EC. INC(2010), Kinetik Partners LLC(2011) 및 Elkington 외(2014) 정도가 있을 뿐이며, 국내 해상풍력단지와 연계하여 이용 가능한 지원항만의 항만시설 및 여건 등을 항만별로 분석한 연구는 거의 없는 실정이다.

3. 주요국 지원항만 사례

EU의 경우 해상풍력이 2008년 1GW에서 2018년 18GW로 18배 증가하였고 전체 풍력발전 설비 189GW의 약 10%를 차지하고 있다. 해상풍력발전의 대표적인 국가로는 영국, 독일, 덴마크, 네덜란드 등을 들 수 있는데, 2018년말 기준으로 영국은 39개 해상풍력단지에 8,183MW, 독일은 24개 해상풍력단지에 6,380MW, 덴마크는 14개 단지에 1,329MW, 네덜란드는 6개 단지 1,118MW 규모가 완료되었다(WindEurope, 2019).

또한, <그림 1>에서 보는 바와 같이 각국은 해상풍력단지를 지원하는 지원항만도 활발히 개발 및 운영 중에 있다.

영국의 지원항만으로 모스틴(Mostyn)항은 아일랜드해(Irish Sea)의 Rhyl Flats(90MW), Burbo Bank(90MW), North Hoyle(60MW), Robin Rigg(90MW)와 Gwynt y Mor(576MW) 등 7개의 해상풍력단지 지원항만으로 역할을 수행하였으며, 300미터 규모의 선석과 해상풍력단지에 공급될 각종 설비 및 부품을 보관할 수 있는 24헥타르(24만 m²) 수준의 부지도 확보하고 있다.

독일의 해상풍력발전 지원항만으로 중소형 항만인 독일 서북부의 쿡스항(Cuxport)은 독일 Deutsche Bucht(252MW) 해상풍력단지에 모노파일

등의 운송 거점으로 활용되었으며, 290m의 안벽과 해상풍력 기자재 조립·보관이 가능한 10만 m²의 배후부지, 고중량물 하역장비 등을 확보하고 있다.

덴마크의 해상풍력 지원항만으로 덴마크 동쪽 대벨트 해협(The Great Belt)에 위치한 님보르(Nyborg)항은 Baltic 1, Ródsand II, Lill-grund, Nysted Havmøllepark에 풍력터빈 231개의 해상운송 거점 역할을 하였다. 또한, 고중량의 풍력 터빈을 수용할 수 있는 항만으로 15만 m²에 달하는 배후부지를 보유하고 있으며, 수심 (-)11m의 항해 조건을 갖추고 있다.

네덜란드 서부의 이유무이텐(Ijmuiden)항은 300m 안벽, (-)11m의 수심과 이용 가능한 18헥타르(18만 m²) 부지를 보유하고 있으며, Egmond aan zee(108MW)와 Prinses Amaliawindpark(120MW) 해상풍력단지로 기자재가 운송된 바 있다. 또한, 최근 유럽 최대의 항만 중 하나인 로테르담(Rotterdam)항도 마스블라кте(Maasvlakte) 2에 해상풍력을 위한 시설을 제공하여 GBM Works사 등의 해상풍력 기자재 시험장소로 이용되었다.

한편, 미국의 풍력산업은 2016년 9월 Block Island(30MW) 해상풍력단지에서 최초 전력을 생산한 바 있으나 육상풍력이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 육상풍력에 필요한 풍력 기자재는 수입을 하고 있으며, 미국 동부 델러웨어(Delaware)의 윌밍턴(Willmington)항의 사례를 확인할 수 있었다. 이 항만은 수심 (-)11.6m, 풍력기자재 제조·조립·저장 가능한 약 24만 m²의 부지와 100톤 이상의 크레인을 운영하고 있으며 블레이드 39기를 운송하였다.

우리나라도 해상풍력 지원항만에 대한 계획을 수립한 적이 있는데, 지식경제부(현 산업통상자원부)는 2012년 7월 서남해 2.5GW급 해상풍력단지 건설을 지원할 지원항만으로 군산항 제7부두 75번 선

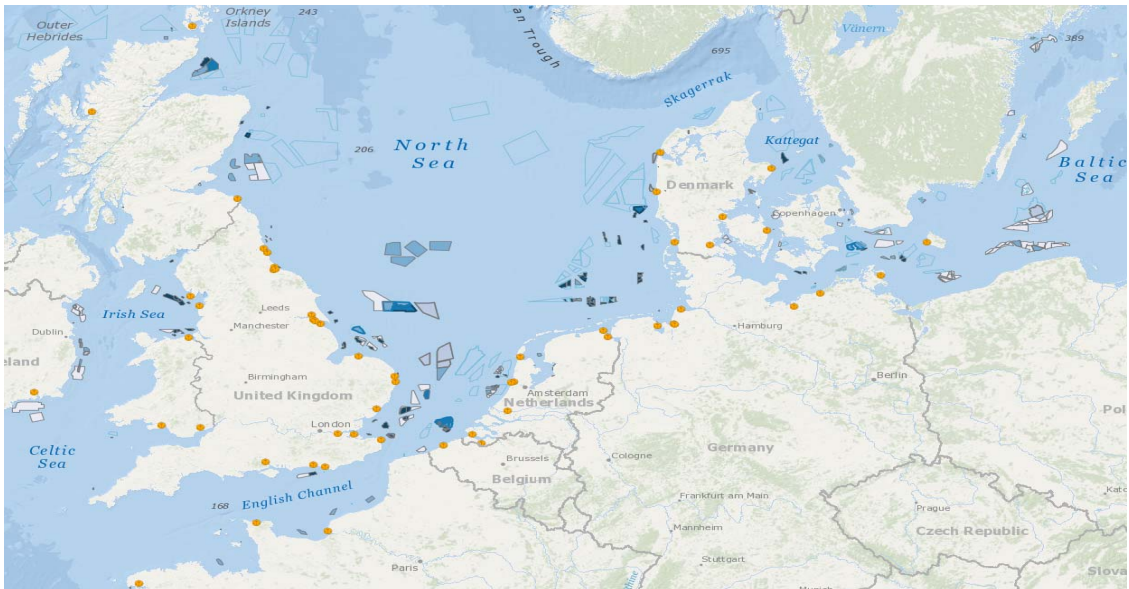


그림 1. 유럽 주요국 해상풍력단지 및 지원항만

자료 : www.4Coffshore.com

주) ● 지원항만, ■ 완료된 해상풍력단지, ■ 조성중, ■ 허가 완료, ■ 인허가 제출, □ 계획

석을 선정하였으나, 사업시행자인 (주)한진이 2016년 6월경 사업을 취소하여 국내에는 해상풍력 지원항만으로 선정되거나 전용항만으로 활용한 사례는 없다.

이상과 같이 주요국의 해상풍력 지원항만은 (-)11m 이상의 수심, 300m 규모의 안벽과 10만㎡에 이르는 항만부지 및 고중량 화물 처리시설을 보유하고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 앞서 살펴본 선행연구에서 제시되었던 평가 기준 및 한계점과 실제 운영 중인 주요국 항만의 시설 여건 등을 바탕으로 해상풍력단지 지원항만 선정에 필요한 평가기준을 검토하고자 한다.

이후 경상남도 육지도에 계획 중인 해상풍력단지와 연계가 가능한 지원항만으로써 경상남도 항만의 시설별 여건에 대한 종합적인 분석과 상대적 비교평가를 통해 해상풍력사업자 및 정책입안자에게 필요한 시사점을 제시하였다는 점에서 선행연구와 차별성을 가진다.

III. 지원항만 선정 평가 기준 검토

선행연구 및 주요국 사례를 기초로 지원항만 선정시 요구되는 평가 기준을 우선 추출하고, 추가적으로 경상남도에 소재한 항만과 여건을 고려한 필요조건을 추가로 제시하고자 한다.

선행연구와 주요국 사례를 살펴보면 해상풍력단지의 규모나 해상풍력 터빈 등의 용량에 따라 요구되는 항만시설의 여건들이 모두 상이하여 기준을 명확히 하는 것은 현실적으로 어려움이 있으나, 본 연구는 선행연구에서 제시되었던 기준을 바탕으로 <표 3>과 같이 지원항만의 평가 항목을 크게 해상운송 여건, 항만 시설 여건, 지역 여건으로 구분하고, 세부적으로 12가지 항목을 제시하고자 한다.

1. 해상운송 여건

해상운송 여건은 선행연구에서 제시되었던 해상 풍력단지과 지원항만까지 거리, 교량 등에 따른 입출항 제약 여부, 해상운송 선박의 정박수역 확보 여부와 함께, 예인선 등의 사용에 따른 비용 여건과 해상운송시 어업권 등의 산재로 민원 및 비용 발생 가능 여부를 추가적으로 고려하였다.

예인선 등 사용에 따른 부대비용과 관련하여, 해상풍력단지 시공 과정은 하부 기초구조물의 이송 및 설치, 나셀·블레이드·허브 등 발전기의 설치에 장시간이 소요되며, 이때 작업 바지선과 예인선 등이 통상적으로 이용되므로 추가적 비용 상승의 요인으로 작용할 수 있다(이동욱·김도형, 2014).

Ahn 외(2017)는 유럽 해상풍력단지 건설에 이용된 선박의 1일 용선료로 WTIV(Wind Turbine Installation Vessel)은 15만\$~25만\$, 작업 바지선은 10만\$~18만\$, 크레인바지선은 8만~10만\$, 예인선은 1천\$~5천\$ 등에 이른다는 연구결과를 제시하였다.

또한, 한국개발연구원(2009)은 새만금 풍력산업 클러스터 예비타당성 조사에서 풍력발전 시범단지(40MW) 조성에 따른 총비용 1,590억원의 약 2%에 해당하는 2,959백만원의 바지선 및 예인선 사용료를 추가비용으로 책정하였다.

따라서 <표 2>와 같이 해상풍력단지와의 거리가 멀수록, 예인선의 마력이 높을수록 부대비용이 높을 수밖에 없으므로 지원항만의 평가항목에 추가로 포함하였다.

표 2. 예선사용 요율표

주기관 마력	외항선(원)	내항선(원)
6,000	1,393,550	1,211,710
5,500	1,296,890	1,125,580
5,000	1,198,620	1,038,370
4,500	1,098,630	950,020
4,000	997,880	860,930
3,500	896,500	771,290
3,000	794,560	680,320

자료: 중앙예선운영협의회(2019), 예선사용요율표

주) 1척 1시간당 요금 기준, 3,000마력 미만 생략

해상풍력단지는 연안에 위치하므로 일정 항로를 이용하는 수출입 화물의 해상운송과 달리 항로가 정해져 있지 않은 연안운송을 하는 경우가 높을 것으로 예상된다. 즉, 해상구조물의 해상운송이 항로가 아닌 곳으로 이동함에 따라 어업권 등에 영향을 미칠 가능성이 높다.

해상풍력단지는 해안과 근접되어 어장 및 항로 등 각종 민원발생 요인이 많은 단점이 있으며, 양식장이 다수 분포하면 해상풍력 설치 및 운영시 민원발생 등 갈등요인을 내포하고 있다(맹준호 외 5, 2012: 155). 또한, 어업권에 직·간접적인 영향을 미치면 “수산업법” 제34조 및 “공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률” 제61조 등 관계법령에 따른 손실보상에 해당될 여지가 높다.

이에 따라 해상풍력단지와 지원항만 간에 최단거리 운송경로가 있으나 어업권이 산재하여 실제 이용이 어려운 경우에는 많은 시간을 소요되는 우회항로를 이용할 수밖에 없고, 이에 따른 추가적 비용 상승 요인이 될 수 있다.

예컨대 마산항, 진해항 및 고현항에서 육지도 해상풍력단지까지 최단거리 해상운송은 통영시와 거제도 사이를 통과하는 것으로 각각 약 79km,

72km 및 55.3km 정도이나, 이 해역은 어업권 등이 산재한 지역으로 민원과 어업보상 등 추가적 비용이 발생할 가능성이 높다.

반면, 이 지역을 통과하지 않고 우회항로로 거제를 돌아서 이용할 경우 각각 111km, 103km 및 110km에 달하여 약 1.4배 이상 해상운송 거리가 증가하고, 이에 따라 건설기간 및 부대비용의 증가는 불가피할 것이다.

이는 양식산업의 생산량이 높지 않는 유럽이나 미국²⁾과 달리, 우리나라는 지원항만과 연계하여 어업권 등 통항요인을 고려하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 이에, 본 연구는 어업권 등에 따른 통항요인도 지원항만의 평가항목에 추가로 포함하였다.



그림 2. 고현항 인근 어업권 현황

자료: 국립해양조사원 전자해도를 이용하여 저자 작성

주) 어업권은 사각형태이며, 전자해도상의 어업권으로 실제와는 차이가 발생할 수 있음

다만, 선행연구의 항만 정온도 확보 여부는 국내 무역항의 대부분이 항만 건설단계부터 정온도를 고려하여 건설하기에 항만별로 차이점을 발견하기 어

려워 평가항목에서 제외하였다.

2. 항만시설 여건

항만시설 여건은 선행연구에서 제시된 조건 중에서 최소기준으로 해상풍력 기자재 운송 선박의 접안에 필요한 약 138m의 안벽, (-)6m 이상의 안벽 수심, 해상풍력 기자재의 보관·조립·제조 등을 위한 4만㎡ 이상의 항만부지 확보 여부, 증량의 기자재 야적 및 조립 등을 위한 안벽 및 야적장의 상재하중을 고려하였다.

또한, 통상적으로 우리나라의 화물부두는 다양한 화물을 처리하고 있어 기존 화물과의 양립이 곤란한 경우도 발생할 수 있다. 일례로 군산항에서 취급하는 사료부원료의 분진으로 GM 군산공장과 현대중공업 군산공장의 자동차 및 기자재 화물에 피해를 입힌 사례 등도 보고된 바 있다(해양수산부, 2016).

이와 같은 취급화물의 혼재에 따른 문제점을 최소화하고 고중량 화물의 취급을 위해서는 손충렬 외(2010) 및 고현정(2012) 등이 제기한 전용항만이 필요하다. 그러나 전용항만의 건설 혹은 항만 기능재배치에는 상당한 기간이 소요되므로 이종필 외(2019)에서 주장한 기존 항만시설의 활용한 방안이 보다 현실적이라고 판단된다.

이 경우 기존에 목재, 모래 혹은 자동차와 같은 화물이 정기적으로 이용하는 항만이라면 기존 화물을 포기하고 해상풍력 기자재를 위한 시설로 이용하기에는 현실적으로 어려움이 발생할 가능성이 높다. 따라서 해상풍력 지원항만 평가 시 타 화물과의 간섭 여부를 추가적으로 포함하였다.

다만, 본 연구는 선행연구 및 주요국 항만의 사례에서 본 대형 크레인의 유무는 고려하지 않았다. 그 이유는 부산항 등의 컨테이너전용

2) 강중호(2012)에 따르면, 양식생산량 상위 10개국 중 전체 생산량의 93%를 차지하고 세계 1위는 중국(22.4백만톤)이며 한국은 4위(1.3백만톤)에 해당되나 유럽은 노르웨이와 스페인(합계 1.2백만톤)만 순위에 포함되며, 미국은 순위에 없다.

부두와 같이 민간투자에 따라 건설된 항만시설은 상부의 크레인 등을 민간사업자가 구입하여 활용하지만, 그 외 전국 대다수의 항만은 정부 재정으로 건설되었고 화물하역은 하역전문회사가 하고 있기에 동일한 조건으로 판단하였다.

3. 지역여건

지역여건은 중 민원 발생 가능성 여부는 선행연구에서도 중요한 평가항목으로 제시하고 있다. 해양수산부(2016)에 따르면 우리나라 항만은 도심 내

에 위치하여 항만구역 내 항만산업시설에서 발생하는 오염물질 및 소음 등에 따라 인접 지역주민들의 민원 대상이 되고 있다고 밝히며, 총 29개 무역항 중 16개 무역항에서 민원이 발생한 것으로 조사되었다. 특히 인천항의 모래 및 석탄부두와 마산항 2, 3부두 등과 같이 주거지와 인접한 항만시설은 민원이 다수 발생하는 것으로 분석하였다. 이처럼 항만시설이 도심과 가까우면 해상풍력 기지재의 운송·보관·조립·제조 등에 따른 민원 발생 가능성이 높으므로 이를 평가 기준에 포함하였다.

표 3. 해상풍력단지 지원항만 평가항목 및 기준

평가항목		평가내용	관련연구
해상운송 여건	거리	해상풍력단지와의 거리(근접도)	손충렬 외(2010), TETRA TECH EC(2010), 고현정(2012), 한국에너지기술평가원(2013), 이종필 외(2019)
	제약없는 입출항	교량 등에 따른 선박 입출항 제약 여부	TETRA TECH EC(2010), 한국에너지기술평가원(2013), Kinetik Partners(2011), Elkington 외(2014)
	항행수역	항로 및 정박 수역 확보 여부	한국에너지기술평가원(2013), Elkington 외(2014)
	어업권 등 통항 요인	항행시 어업권 등 영향 요인	저자 추가
	부대비용	예인선 등 비용 여건	저자 추가
항만시설 여건	안벽길이	138m 이상 안벽 길이	TETRA TECH EC(2010), 한국에너지기술평가원(2013), Kinetik Partners(2011), Elkington 외(2014)
	수심여건	(-)6m 이상 안벽 수심	손충렬 외(2010), TETRA TECH EC(2010), Kinetik Partners(2011), 고현정(2012), 한국에너지기술평가원(2013), Elkington 외(2014)
	항만부지	보관·조립·제조부지(4만㎡ 이상)	손충렬 외(2010), TETRA TECH EC(2010), Kinetik Partners(2011), 고현정(2012), 한국에너지기술평가원(2013), Elkington 외(2014)
	부두하중	안벽 및 야적장 상재하중	손충렬 외(2010), 한국에너지기술평가원(2013), Elkington 외(2014)
지역 여건	타 화물 간섭	기존 화물과의 간섭 여부	저자 추가
	민원	풍력 기지재 보관·조립·제조 등에 대한 민원 발생 소지	TETRA TECH EC(2010), 한국에너지기술평가원(2013), 이종필 외(2019)
	관련산업 집적	해상풍력 및 조선·기계·전기 등 관련 산업 집적 여부	손충렬 외(2010), TETRA TECH EC(2010), 고현정(2012), 한국에너지기술평가원(2013)

한편, 해상풍력발전은 약 8,000개의 기자재로 구성되어 있어 조선·기계·전기 등 관련 산업과 연계될수록 효율적이어서 손충렬 외(2010) 등의 선행 연구와 같이 산업 집적 여부도 평가 기준으로 포함하였다.

다만, 선행연구의 항만노동자 숙련도 및 노동력 이용 가능성 등은 유럽과 달리 우리나라 해상풍력 발전은 시작점에 있고, 통상 항운노동조합이 하역작업을 수행하여 항만별로 차별화하기 어려워 평가 항목에서 제외하였다.

IV. 경상남도 지원항만 여건 및 평가

1. 경상남도 해상풍력단지 현황

현재 경상남도의 해상풍력단지는 <표 4>와 같이 통영시 육지도에 계획 중에 있으며, 이 중에서 산업통상자원부 전기위원회의 허가가 완료된 단지는 통영 소초풍력(9.9MW)과 육지해상풍력단지(352MW) 2곳이며, (재)경남테크노파크와 두산중공업 등이 참여하는 육지 해상풍력 실증단지(100MW)는 전기위원회의 허가를 준비 중에 있다.

표 4. 경상남도 해상풍력단지 예정지 현황

구분	통영 소초풍력	육지 해상풍력	육지해상풍력 실증단지
사업주체	영동발전(주)	육지풍력(주)	경남테크노파크 등
위치 (통영시)	육지면 동항리 산6-1 공유수면	육지면 동항리 및 서항리 일원	육지면 동항리 일원
용량(MW)	9.9	352	100
사업비	-	15,164억원	-
최초허가	2017.02	2019.03	용역 중

자료: 전기위원회(www.korec.go.kr) 및 경남도민신문 (2019.4.22.) 기사를 바탕으로 저자 작성

특히, 육지해상풍력은 2013년 이후 산업통상자원부 전기위원회에서 허가된 해상풍력단지 중 3번째로 규모가 큰 352MW에 달하며³⁾, (재)경남테크노파크에서 준비 중인 육지 해상풍력실증단지도 최대 1GW까지 확장을 목표로 하고 있다.

2. 경상남도 항만별 이용 여건⁴⁾

1) 통영항

통영항에는 1,000톤급 이상 선박이 접안 가능한 부두가 총 11개가 있으나, 이중 9개 부두는 대부분 수산물의 하역과 어선 접안용으로 이용되고 있어 해상풍력 지원항만으로 이용하기에는 부적절하며, <표 5>와 같이 2곳의 화물부두는 이용 가능할 것으로 판단된다.

통영항 일반부두와 다목적부두로 총 안벽길이는 5,000DWT급 화물선 2척이 동시 접안 가능한 190m 정도이며, 수심은 DL (-)6~7m 정도 확보되어 있다. 또한 화물 하역을 위한 에이프런 구역을 제외한 화물의 보관·조립·가공 등을 위한 야적장은 14,701㎡ 규모이다.

표 5. 통영항 이용가능 항만시설 현황

구분	안벽 길이	수심 DL(-)	접안능력 (DWT)	취급화물	야적장 (㎡)
화물부두	140m	6~7	6,000×1	수산물, 잡화, 철재 등	6,860
다목적 부두	150m	6~7	5,000×1		7,841

자료: 경상남도 항만시설 운영세척(2018.12.개정)

- 3) 2019년 7월말 기준으로 육지 해상풍력단지 보다 큰 규모는 전남 신안군의 신안우이해상풍력(396.8MW)와 전남 영광군 낙월해상풍력(354.48MW)이 있다.
- 4) 경상남도에는 총 9개의 무역항이 있으나, 이중 컨테이너 전용부두로 이용 중인 부산항 신항, 어선 및 여객선 접안이 주목적인 장승포항과 옥포항, 항만시설이 없는 하동항은 제외하였다.

2) 삼천포항

삼천포항은 총 10척의 화물선이 동시 접안 가능하나, 삼천포화력발전소 전용을 사용되는 3선석을 제외하고 화물의 보관·조립·가공 등을 위한 화물부두는 삼천포 신항 총 7개 선석이 활용 가능하므로 판단된다.

〈표 6〉에서 보는 바와 같이, 삼천포 신항 부두 중 활용 가능한 수심(-)6m 이상의 안벽은 총 5개 선석 838m에 달하며, 실제로 화물의 보관·조립·가공 등을 위해 활용 가능한 야적장은 227,000㎡ 규모이다.

표 6. 삼천포항 이용가능 항만시설 현황

구 분	안벽 길이	수심 DL(-)	접안능력 (DWT)	취급화물	야적장 (㎡)
신항 부두	224m	5	1,000×2	일반화물 철재 등	227,000
	260m	7	5,000×2		
	338m	8.5	10,000×2		
	240m	11	20,000×1		

자료: 경상남도 항만시설 운영세칙(2018.12.개정)

3) 고현항

고현항에는 총 2개 선석이 운영 중에 있으며, 이중 20,000DWT급 선석은 삼성중공업 내에 위치하여 지원항만으로 이용하기 어려우며, 오비부두 1선석은 모래화물이 이용 중에 있다. 또한, 고현항 항만재개발 사업에 따라 모래부두 옆 일반부두 1선석이 2020년 말까지 조성될 예정으로 공사 중에 있다.

따라서 활용가능 한 부두는 〈표 7〉과 같이 오비부두와 연결되어 공사 중에 있는 일반부두 1선석으로 안벽 길이는 260m 정도이며, 2개 선석의 야적장은 35,727㎡ 규모이다.

표 7. 고현항 이용가능 항만시설 현황

구 분	안벽 길이	수심 DL(-)	접안능력 (DWT)	취급화물	야적장 (㎡)
오비부두	130m	5.5~6	5,000×1	모래	12,539
일반부두	130m	5.5~6	5,000×1	일반화물	23,188 (공사중)

자료: 경상남도 항만시설 운영세칙(2018.12.개정)

4) 마산항

마산항에는 총 29개 선석이 운영 중에 있으나 마산가포신항 등 민간기업 혹은 전용 성격의 부두를 제외하면, 제2부두, 제3부두, 4부두와 제5부두 등이 활용 가능할 것으로 판단된다. 이중 제2부두는 관공선 전용, 제3부두는 마산수출자유지역 지원항만, 제4부두와 제5부두는 창원국가산업단지 지원항만으로 이용되고 있다. 따라서 〈표 8〉과 같이 대표적인 해상풍력기업인 두산중공업이 인접하여 위치한 제5부두와 두산부두를 검토할 필요가 있다.

표 8. 마산항 이용가능 항만시설 현황

구 분	안벽 길이	수심 DL(-)	접안능력 (DWT)	취급화물	야적장 (㎡)
제5부두	840	11	20,000×4	원목, 고철, 일반화물	171,428
두산부두	240	11	20,000×1	기계, 철재, 플랜트	22,147

자료: 마산항 항만시설 운영세칙(2019.1.개정)

마산항 제5부두와 두산부두는 DL (-)11m과 야적장 193,575㎡를 확보하고 있다. 또한, 철재부두로 일정한 중량화물에 충분히 견딜 수 있는 ㎡당 3톤의 상재하중을 보유하고 있다.

5) 진해항

진해항에는 제1부두 5개 선석과 제2부두 4개 선

석 등 총 9개 선석이 운영 중에 있다. 이중 제1부두 5개 선석은 대부분 모래부두로 이용 중에 있어 해상풍력 지원항만으로 이용하기에는 곤란하며, 제2부두 1개 선석은 관리부두로 이용 중에 있다.

표 9. 진해항 이용가능 항만시설 현황

구 분	안벽 길이	수심 DL(-)	접안능력 (DWT)	취급화물	야적장 (㎡)
제2부두	635	11	20,000×3	농산물, 철재, 등	122,000

자료: 경상남도 항만시설 운영세칙(2018.12.개정)

따라서 <표 9>와 같이 진해항 제2부두의 철재부두 3선석(635m)은 이용 가능하다고 판단된다. 또한 약 DL (-)11m 이상의 수심을 확보하고 있고 상재하중은 ㎡당 3톤 이상이며 야적장은 122,000㎡ 규모에 이르고 있다.

3. 경상남도 지원항만 여건분석 및 평가

1) 경상남도 항만별 지원항만 여건분석

앞서 살펴본 경상남도 소재 항만별 기본적인 현황을 바탕으로 육지도에 계획 중인 해상풍력단지와 연계한 경상남도 지원항만 여건을 살펴보면 <표 10>과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 통영항은 육지도 해상풍력단지 대상지와 해상거리가 약 34km 정도로 10knot 속도로 해상운송시 1시간 50분 소요될 것으로 추정된다. 또한, 해상풍력단지까지 해상운송시 교량과 어업권 등에 따른 통항 제약 요인도 없으며, 상대적으로 예인선의 비용은 저렴할 것으로 예상된다. 다만, 해상운송 선박이 접안 대기하기 위한 정박지는 없는 것으로 파악되었다.

통영항 화물부두와 다목적부두를 합한 안벽길이는

290m, 안벽 수심은 DL (-)6~7m로 선행연구의 최소 기준을 만족하고 있다. 그러나 이용 가능 항만부지는 약 14,701㎡에 불과하고 잡화부두로 중량의 풍력기자재의 보관·조립·가공에 필요한 상재하중은 보유하고 있지 못한 것으로 평가되며 기존 수산물 화물과 일부 충돌이 예상된다.

한편 부두가 통영시 도심 한가운데 위치하여 조립·제조과정에서 발생할 수 있는 소음 등에 따른 민원 소지가 있으나, 통영시 및 인근 고성군은 조선·해양플랜트산업이 발달해 있어 산업집적 여건은 긍정적으로 평가할 수 있다.

둘째, 삼천포항은 육지도 해상풍력단지와의 거리가 약 43km로 10knot로 운송시 약 2시간 20분 정도로 추정되고, 해상운송시 교량과 어업권 등에 따른 통항 제약 요인도 없어 상대적으로 예인선 등의 비용이 저렴할 것으로 예상된다. 또한 해상운송선박이 접안 대기 등을 위한 정박지 4곳이 있는 것으로 파악되었다.

삼천포 신항 부두의 안벽길이는 838m, 수심은 DL (-)7~11m 및 항만부지는 약 227,000㎡이며 기존 화물과의 간섭도 적을 것으로 예상된다. 그러나 잡화부두로 철재화물을 포함하여 처리하고 있으나 중량의 풍력기자재에 필요한 상재하중은 보유하고 있지 못한 것으로 평가된다.

한편 주거지와 떨어져 있어 해상풍력 기자재의 보관·조립·제조과정에서 발생할 수 있는 소음 등에 따른 민원 발생 소지는 적은 편이지만, 산업집적 측면에서 사천시에 나셀 제조기업인 (주)유니슨이 있으나 항공산업이 발달된 지역으로 연관산업은 부족한 것으로 평가하였다.

셋째, 고현항은 육지도 해상풍력단지와 최단거리는 55.3km(3시간)이나 통과하는 통영과 거제도 해역에는 어업권이 산재해 있고 거제도교를 통과해야 하는 제약요인이 있다. 반면, 우회 해상운송 경로는

110km(5시간 56분)에 달하여 시간 및 비용 증가 요인이 있지만 교량과 어업권 등에 따른 통항 제약 요인은 없는 것으로 파악되었다. 또한, 해상운송선

박이 접안 대기 등을 위한 정박구역은 3곳이 있다. 고현항 오비부두 및 일반부두의 안벽길이는 260m이지만, 안벽수심은 DL (-)5.5~6m, 항만부지

표 10. 경상남도 항만별 지원항만 여건 분석

구분	통영항	삼천포항	고현항	진해항	마산항
거리* (시간, 10knot)	34km (1시간 50분)	43km (2시간 20분)	최단 55.3km (3시간) 우회 110km (5시간 56분)	최단 72km (3시간 53분) 우회 103km (5시간 33분)	최단 79km (4시간 16분) 우회 111km (6시간)
입출항 제약	계약없음	계약없음	최단거리는 거제대교 통과 (우회는 제약없음)	최단거리는 거제대교 통과 (우회는 제약없음)	항로 입구에 마창대교 통과, 최단거리는 거제대교 통과
항행수역	정박수역 없음	항로 및 정박수역 확보	항로 및 정박수역 확보	항로 및 정박수역 확보	항로 및 정박수역 확보
어업권 요인	없음	없음	최단거리는 어업권 등으로 통항 우려	최단거리는 어업권 등으로 통항 우려	최단거리는 어업권 등으로 통항 우려
부대비용** (예인선 비용)	4시간	5시간	최단 6시간 우회 12시간	최단 8시간 우회 11시간 30분	최단 9시간 우회 12시간
안벽길이	290m	838m	260m	635m	1,080m
수심여건	DL (-)6~7m	DL (-)7~11m	DL (-)5.5~6m	DL (-)11m	DL (-)11m
항만부지	14,701㎡	227,000㎡	35,727㎡	122,000㎡	193,575㎡
부두하중	잡화부두로 하중 부족 예상	잡화부두이나 철재 처리 가능	모래 및 일반부두로 하중 부족 예상	철재부두로 상대적 하중 높음	철재부두로 상대적 하중 높음
화물간섭	수산물 하역과 일부 간섭 우려	간섭 적음	모래화물과 간섭 우려	간섭 적음	간섭 적음
민원	통영 도심 가운데로 민원 우려	주거지와 이격	주거지와 이격 항만기본계획에 친수공간과 연결	주거지와 이격	주거지와 이격, 주변이 산업단지
산업집적	고성·통영지역 조선·해양플랜트 산업 발달	경남 사천에 풍력기업 있으나 연관산업 부족	조선·해양플랜트 산업 발달	인근에 중견조선업체 및 창원국가산단 기계산업 발달	두산중공업 등 풍력기업 및 창원국가산단 기계산업 발달

주) * 국립해양조사원 홈페이지(www.khoa.go.kr)의 해상거리 및 google Earth를 이용으로 저자가 제작하였으며, 육지도 해상풍력단지까지 시간은 무역항의 항만내 속력제한이 통상 10knot이므로 이를 기준으로 산정하였음

** 부대비용의 예인선 이용 비용은 출발지(정계지)~사업지역~출발지(정계지)로 돌아오는 전체 시간에 대해 비용을 지불하며, 예선사용요금표에 따라 30분 초과시 1시간, 1시간 초과시 1시간 30분으로 계산됨

35,727m² 중 12,539m²는 모래화물 전용으로 사용 중에 있어 타 화물과의 간섭도 높은 수준이라고 평가할 수 있다. 또한 모래 및 일반부두로 풍력기자재에 필요한 상재하중은 보유하고 있지 못한 것으로 평가된다.

한편, 부두는 주거지와 떨어져 있으나 해양수산부의 제3차 항만기본계획 수정계획에서 부두 옆에 친수공간 조성계획이 수립되어 있어 민원 발생 가능성이 있다. 산업집적 측면은 인근에 삼성중공업 및 조선·해양플랜트 기업이 집중되어 있어 산업집적 효과는 긍정적으로 예상된다.

넷째, 진해항은 육지도 해상풍력단지와의 최단거리는 72km(3시간 53분)이나 해상운송 경로인 통영과 거제도 해역에는 수많은 어업권이 산재하고 있고 거제대교를 통과해야 하는 제약요인이 있다. 반면, 우회하는 해상운송 경로는 103km(5시간 33분)에 달하여 시간 및 예인선 등의 비용 증가 요인이 발생하나 교량과 어업권 등에 따른 통항 제약 요인은 없으며, 선박의 접안 대기를 위한 정박구역은 2곳이 있다.

진해항 제2부두의 안벽길이는 635m, 안벽수심은 DL (-)11m, 항만부지는 마산항과 삼천포항에 비해 적으나 약 122,000m²를 확보하고 있으며 타 화물과의 간섭도 적을 것으로 예상된다. 또한 철재부두로써 m²당 3톤 이상의 상재하중을 보유하고 있어 일정규모까지의 해상풍력 기자재의 보관·조립·제조가 가능할 것으로 판단된다. 한편 주거지와 떨어져 있어 민원 발생 소지는 적은 편이며, 산업집적 측면에서 인근의 (주)STX조선해양과 창원국가산업단지와의 가까워 산업집적 효과는 긍정적으로 판단된다.

끝으로 마산항은 육지도 해상풍력단지와의 최단거리는 79km(4시간 16분)이나 해상운송 경로인 통영과 거제도 해역에는 수많은 어업권이 있고 거제대교를 통과하여야 한다. 우회 해상운송 경로는

111km(6시간)에 달하여 평가하는 항만들 중 시간 및 비용 요인이 가장 높다고 할 수 있다. 또한 정박구역은 4곳이 있으며, 마산항 입구에 마창대교가 있어 작업 바지선 등의 통항 가능성에 대한 검토가 필요하다.

마산항 제5부두 및 두산부두의 안벽길이는 1,080m, 안벽수심은 DL (-)11m, 항만부지는 약 190,701m²로 타 화물과의 간섭도 적을 것으로 보인다. 또한 철재부두로써 m²당 3톤 이상의 상재하중을 보유하고 있어 일정규모의 해상풍력 기자재의 보관·조립·제조가 가능할 것으로 판단된다. 한편 창원국가산업단지와 연결되고 주거지와 떨어져 있어 민원 발생 소지는 거의 없으며, 대표적 풍력기업인 (주)두산중공업과 창원국가산업단지의 기계산업이 발달되어 있어 산업집적 효과도 높을 것으로 판단된다.

2) 경상남도 항만별 지원항만 평가

경상남도 육지도에 계획 중인 해상풍력단지와 연계한 항만별 지원항만 여건을 분석한 <표 10>과 앞선 <표 3>의 지원항만 평가항목 및 기준을 바탕으로 보다 세분화하여 정리하면 <표 11>과 같이 제시할 수 있다.

다만, <표 11>의 세부평가 기준은 육지도 해상풍력단지에 소요되는 기자재 종류 및 규모, 해상운송 선박 제원 및 운송 경로 등 세부적인 사항이 결정되지 않았고, 현재 국내에서 추진 중인 해상풍력단지와 연계 가능한 항만별 조건이 각각 상이하기에 절대적 기준이 아닌 항만별 상대적 기준으로 평가하고자 한다.

우선, 해상운송 여건 중 거리는 손충렬 외(2010)가 제시한 2시간을 기준으로 육지도 해상풍력단지와 거리가 2시간 이하인 경우 “매우 좋음”, 2~3시간은 “좋음”, 3~4시간은 “보통”, 4~5시

간은 “나쁨”, 5시간 이상은 “매우 나쁨” 으로 평가하고자 한다.

입출항 제약, 항행수역 및 어업권 요인은 제약이 없으면 “매우 좋음” 으로, 제약이 있으면 “매우 나쁨” 으로 이원화 하였다. 또한, 부대비용은 육지도 해상풍력단지까지 예인선 이용 시간이 4시간 이하면 “매우 좋음” 으로 하고, 11시간 이상은 “매우 나쁨” 으로 평가하였다.

표 11. 경상남도 지원항만 세부 평가 기준

구분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
거리	2시간 이하	2~3시간	3~4시간	4~5시간	5시간 이상
입출항 제약	교량 없음	-	-	-	교량 있음
항행 수역	정박지 보유	-	-	-	정박지 없음
어업권 요인	어업권 없음	-	-	-	어업권 있음
부대 비용	예인선 4시간 이하	예인선 5~6시간	예인선 7~8시간	예인선 9~10시간	예인선 11시간 이상
안벽 길이	414m 이상	276m 이상	138m 이상	138m 미만	100m 이하
수심 (-)	11m 이상	7m 이상	6m	5m	4m 이하
항만 부지	10만㎡ 이상	5만㎡ 이상	4만㎡ 규모	3만㎡ 규모	2만㎡ 이하
부두 하중	철재부두 (3.5톤/㎡이상)	철재부두 (3톤/㎡)	잡화부두 (철재처리)	일반부두	수산물 등 취급
화물 간섭	간섭 없음	-	일부 간섭	-	전용화물 간섭높음
민원	주거지 이격	-	주거지 이격, 도심화	-	도심내 위치
산업 집적	풍력기업 + 산업단지	-	풍력기업 혹은 산업단지	-	산업단지 등 없음

다음으로, 항만시설 여건 중 안벽길이는 TETRA TECH EC, INC(2010)가 제시한138m 규모는 “보통”, Kinetik Partners LLC(2011)가 주장한 2개 선석 규모인 276m 이상은 “좋음”, 3개 선석 규모인 414m 이상이면 “매우 좋음” 으로 구분하였다.

수심여건은 선행연구 중 최소인 DL (-)6m를 기준으로 TETRA TECH EC, INC(2010) 및 한국에너지기술평가원(2013)에서 제시한 DL (-)7m 이상이면 “좋음”, 뉘보르(Nyborg)항과 이유무이텐(Ijmuiden)항의 사례와 같이 DL (-)11m 이상이면 “매우 좋음” 으로 평가하고, DL (-)5m면 “나쁨”, 그 이하이면 “매우 나쁨” 으로 평가하고자 한다.

항만부지는 선행연구 중 최소 규모인 4만㎡ 규모를 기준으로 콕스항(Cuxport) 등 주요국 항만의 사례와 같이 10만㎡ 이상이면 “매우 좋음”, 5만㎡ 이상은 “좋음”, 3만㎡ 규모이면 “나쁨”, 2만㎡ 이하는 “매우 나쁨” 으로 평가하였다. 또한, 부두 하중으로 철재화물 처리가 가능한 잡화부두는 “보통”, 철재부두(3톤/㎡)는 “좋음”, 한국에너지기술평가원(2013)에서 제시한 3.5톤/㎡ 이상이면 “매우 좋음” 으로 하였다.

화물 간섭은 일부 간섭을 기준으로 간섭이 거의 없으면 “매우 좋음”, 전용화물 등으로 간섭이 높으면 “매우 나쁨” 으로 하였다.

끝으로, 지역여건 중 민원은 해양수산부(2016)의 무역항 환경실태조사 결과와 같이 주거지와 이격되어 있으면 “매우 좋음”, 주거지와 이격되어 있으나 개발계획으로 도심화가 예상되면 “보통”, 도심내에 위치하면 “매우 나쁨” 으로 하였다. 산업집적은 풍력기업과 산업단지가 함께 인근에 있으면 “매우 좋음”, 풍력기업 혹은 산업단지만 있으면 “보통”, 산업단지 등이 없으면 “매우 나쁨” 으로 평가하고자 한다.

이상과 같은 기준으로 육지도 해상풍력단지와 연계한 경상남도 지원항만을 평가한 결과를 도식화하여 제시하면 <표 12>와 같다.

구체적으로 해상운송 여건 중 거리는 해상풍력단지와의 가장 가까운 통영항이 가장 좋고, 입출항 계

포항, 진해항 및 마산항이 가장 우수한 것으로 평가할 수 있었다.

지역여건 중 민원은 주거지와 이격된 삼천포항, 진해항 및 마산항이 우수한 것으로 평가할 수 있으며 고현항은 친수공간이 계획되어 있어 보통으로

표 12. 경상남도 항만의 지원항만 평가 결과

구 분	해상운송 여건					항만시설 여건					지역여건	
	거리	입출항 제약	항행 구역	어업권 요인	부대 비용	안벽 길이	수심 여건	항만 부지	부두 하중	화물 간섭	민원	산업 집적
통영항	●	●	◆	●	●	◎	○	◆	◇	○	◆	○
삼천포항	◎	●	●	●	◎	●	●	●	○	●	●	○
고현항	○ (◆)	◆ (●)	●	◆ (●)	◎ (◆)	○	◇	◇	◇	◆	○	○
진해항	○ (◆)	◆ (●)	●	◆ (●)	○ (◆)	●	●	●	◎	●	●	○
마산항	◇ (◆)	◆ (◆)	●	◆ (●)	◇ (◆)	●	●	●	◎	●	●	●

주) 1. ● 매우 좋음, ◎ 좋음, ○ 보통, ◇ 나쁨, ◆ 매우 나쁨
2. ()는 우회항로를 기준으로 평가

약은 교량 제약이 없는 통영항, 삼천포항이 가장 우수한 것으로 평가할 수 있으며, 항행구역은 항만 내 정박지 등이 없는 통영항을 제외한 평가 항만 모두 우수한 것으로 평가하였다. 어업권 요인은 어업권 등이 없는 통영항과 삼천포항이 가장 좋은 것으로 평가할 수 있으며, 부대비용은 거리가 예인선 비용이 가장 저렴한 통영항이 우수한 것으로 평가하였다.

항만시설 여건 중 안벽길이, 수심 및 항만부지는 414m 이상의 안벽 길이와 DL (-)11m 이상의 수심을 확보하고 10만㎡가 넘는 항만부지를 보유한 삼천포항, 진해항 및 마산항이 가장 우수한 것으로 평가하였다. 또한, 부두하중은 m당 3톤의 하중을 견딜 수 있는 진해항 및 마산항, 화물 간섭은 삼천

포항이었다. 산업집적은 대표적 풍력기업이 소재하고 창원국가산업단지가 있는 마산항을 가장 우수한 것으로 평가하였다.

V. 결론

해상풍력은 발전기 부품, 기자재 및 하부 기초구조물의 해상운송과 변전소 및 송전망 연결 등 건설이 필요한 대표적인 재생에너지이며 급속히 성장하고 있는 산업이다.

경상남도의 경우에도 육지도를 중심으로 해상풍력단지 건설을 추진하고 있으며 예정된 발전규모가

461.9MW에 달하며, 향후 최대 1GW 이상으로 추가 확대할 것으로 예상된다. 따라서 중량물인 해상풍력 기자재의 보관, 조립, 운송, 설치 등의 기능을 지원하는 지원항만의 선정은 해상풍력단지 개발의 원활한 진행과 경제성 확보에 미치는 영향이 높다고 할 것이다.

본 연구는 선행연구의 해상풍력 지원항만 평가항목과 주요국 사례를 바탕으로 평가기준을 마련하고, 육지도 해상풍력단지와 연계한 경상남도 항만을 평가하였다.

평가 기준은 해상운송 여건, 항만시설 여건, 지역여건으로 구분하였다. 이중 해상운송 여건은 해상풍력단지와의 거리, 입출항 제약, 항행수역, 어업권 요인 및 부대비용 등 5가지, 항만시설 여건은 안벽길이, 수심여건, 항만부지, 부두하중 및 타 화물 간섭 등 5가지, 지역여건은 민원과 산업 집적 등 2가지로 구분하였다. 이후 이 기준을 바탕으로 경상남도 항만 중 육지도 해상풍력단지와 연계가 가능한 통영항, 삼천포항, 고현항, 마산항, 진해항을 선정하여 평가하였다.

각 항만별로 지원항만 여건을 보면, 해상운송 여건 중 육지도 해상풍력단지와의 거리는 통영항이 가장 근거리이고, 최단거리 해상운송 경로에서 고현항, 진해항 및 마산항은 거제대교 등에 따른 입출항 제약을 검토할 필요가 있으며, 통영항은 정박지가 없어 항행수역에 문제가 있을 수 있다고 평가하였다. 또한 고현항, 마산항, 진해항은 최단거리 해상운송에는 어업권 등에 따른 제약 요인도 높은 것으로 확인되었으며, 이와 따른 부대비용도 높을 것으로 예상되었다.

항만시설 여건 중 안벽길이는 마산항이 1,080m로 가장 길었고, 수심은 고현항 외에는 최소 DL(-)6m 이상을 확보하고 있으며, 항만부지는 삼천포신항이 227,000㎡로 가장 넓은 조건을 가지고 있었

다. 또한 마산항과 진해항은 m당 3톤을 하중을 견딜 수 있는 철재부두이며, 고현항은 기존의 모래화물과의 간섭 가능성이 높은 것으로 보였다.

지역여건으로 통영항은 도심지 한가운데에 위치하여 민원 야기 요인이 있으며, 관련 산업 집적은 대표적인 해상풍력기업이 입지해 있고 창원국가산업단지와 연결된 마산항을 가장 우수한 것으로 제시하였다.

평가 기준으로 살펴보면, 해상운송 여건 중 거리는 통영항, 입출항 제약과 어업권 요인은 통영항과 삼천포항이 가장 우수한 것으로 평가하였다. 항행수역은 삼천포항, 고현항, 진해항 및 마산항, 부대비용은 거리가 가장 가까운 통영항이 가장 우수한 것으로 평가하였다.

항만시설 여건 중 안벽길이, 수심 및 항만부지는 삼천포항, 진해항 및 마산항, 부두하중은 진해항과 마산항, 화물 간섭은 삼천포항, 진해항 및 마산항이 가장 우수한 것으로 평가하였다. 지역여건 중 민원은 삼천포항, 진해항 및 마산항, 산업집적은 마산항이 가장 우수한 것으로 평가하였다.

본 연구는 경상남도 항만별로 우선순위를 결정하지는 않았다. 이는 해상풍력 기자재의 규모나 수가 결정되지 않은 상태에서 항만별로 평가하는 잘못을 방지하기 위함이다. 그럼에도 불구하고 지원항만 선정시 항만별 여건과 평가기준을 제시함에 따라 해상풍력사업자 및 정책입안자에게 사업 추진상의 오류를 최소화하고 추가적 시간과 비용을 절감하는 기본 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구의 한계로는 국내 전체의 해상풍력단지와 연계하여 전국 항만별로 평가하지 않았고, 해상풍력 전문가의 인터뷰 혹은 설문조사를 통해 통계적 방법으로 검증하지 않았다는 점이다. 향후 연구에서는 이러한 점을 고려하여 보다 폭 넓은 연구가 필요하다.

참고문헌

- 강종호(2012), 양식수산물의 증산, 세계 식량위기의 해법인가?, 월간 KMI수산동향, 35-44.
- 고현정(2012), 해상풍력 전용항만 입지선정 평가항목에 관한 연구, 한국항만경제학회지, Vol.28, No.3, 27-44.
- 국립해양조사원 홈페이지(www.khoa.go.kr)
- 경남도민신문, 통영 해상풍력 실증단지 추진 순항, 2019.4.22. 기사
- 경상남도 항만시설 운영세칙(2018.12.14.개정)
- 마산항 항만시설 운영세칙(2019.1.15.개정).
- 맹준호 · 선호성 · 주용준 · 조범준 · 임오정 · 서재인(2012), 조력 및 해상풍력사업 환경평가 방안 연구 II. 해상풍력발전사업, 한국환경정책 · 평가연구원, 12-13.
- 박두선 · 이정환 · 최경훈 · 박계각(2017), 중량물 물류 실태 분석 및 개선 방안에 관한 연구, 한국항만경제학회지 Vol.33, No3, 35-52
- 산업통상자원부(2017.12.20.), 재생에너지 3020 이행계획(안), 1-13.
- 산업통상자원부 및 관계부처 합동(2019.4.4.), 재생에너지 산업 경쟁력 강화 방안, 1-12.
- 산업통상자원부 전기위원회, 3MW초과 발전사업허가관리 대장 및 회의록(www.korec.go.kr).
- 손충렬 외 8인(2010), 해상풍력발전, 아진.
- 이강인 · 김민경(2013), 전라북도 해상풍력산업 육성 기획 연구, 전북발전연구원, 1-134.
- 이동욱 · 김도형(2014), 해상풍력발전기의 시공 Process에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회 발표자료, 1543-1544.
- 이종필 · 김찬호 · 최나영환 · 박상원(2018), 해상풍력클러스터 조성을 위한 항만 및 배후단지 활용방안 연구, 한국해양수산개발원, 1-144.
- 조상필(2014), 에너지 공기업과 연계한 전남지역 해상풍력 거점 조성방안, 전남발전연구원, 138-206.
- 조성우 · 박명섭 · 한낙현(2013), 군산항의 해상풍력 지원항만으로서의 역할 및 전략에 관한 연구, 무역학회지 제38권 제2호, 126-127.
- 중앙예선운영협의회(2019.1), 예선사용요율표.
- 한국개발연구원(2009), 새만금 풍력산업 클러스터 조성사업, 2009년도 예비타당성조사 보고서, 1-75.
- 한국에너지기술평가원(2013), 해상풍력개발 기반조성 연구, 164.
- 한국에너지기술평가원(2015), 해상풍력 단지개발 가이드북, 1-218.
- 해양수산부(2016), 공해성 항만산업개선 타당성 조사용역 보고서, 95-409
- Ahn, D., Shin, S. C., Kim, S. Y., Kharoufi, H. and Kim, H. C.(2017), Comparative evaluation of different offshore wind turbine installation vessels for Korean west-south wind farm, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 9, 45-54.
- Elkington, C., Blatiak, A. and Ameen, H.(2014), Assessment of Ports for Offshore Wind Development in the United States, GL Garrad Hassan. 1-153.
- IEA(2018), Renewables Information: Overview (2018 edition), 1-12.
- Kaiser, M. J. and Snyder, B.(2010), Offshore Wind Energy Installation and Decommissioning Cost Estimation on the U.S. Outer Continental Shelf, Energy Research Group, LLC, Baton Rouge, LA, USA, 1-230.
- Kaiser, M. J. and Snyder, B.(2013), Modelling offshore wind installation costs on the US outer continental shelf, *Renewable Energy* 50, 676-691.
- Kinetik Partners(2011), Analysis of Maryland Port Facilities for Offshore Wind Energy Services, 1-99.
- Musial, W., Beiter, P., Schwabe, P., Tian, T., Stehly, T. and Spitsen, P.(2017), 2016 Offshore Wind Technologies Market Report, U.S. Department of Energy, 74-81.
- Sarker, B. R. and Faiz, T. I.(2017), Minimizing transportation and installation costs for turbines in offshore wind farms, *Renewable Energy* 101, 667-678.
- TETRA TECH EC, INC(2010), Port and Infrastructure Analysis for Offshore Wind Energy

Development, Massachusetts Clean Energy Center, 1.1-10.8.

WindEurope(2017), A statement from the offshore wind ports, 1-13.

WindEurope(2019), Wind energy in Europe in 2018: Trends and statistics, 1-32.

Cuxport 홈페이지(www.cuxport.de).

Port of Mostyn 홈페이지(www.portofmostyn.co.uk).

Port of Ijmuiden 홈페이지(www.zeehaven.nl).

ADP 홈페이지(www.adp-as.dk).

Port of Rotterdam 홈페이지(www.portofrotterdam.com).

Port of Wilmington 홈페이지(www.portofwilmington.com).

www.4Coffshore.com.

해상풍력단지 지원항만 여건 분석 및 평가에 관한 연구 -경상남도 항만을 중심으로

양항진, 장봉규

국문요약

해상풍력발전은 대표적인 재생에너지이며 급속히 성장하고 있는 산업으로 정부는 2030년까지 17.7GW로 확대할 계획을 추진하고 있다. 경상남도의 경우에도 육지도에 461.9MW 규모의 해상풍력발전이 추진중이며, 향후 1GW 규모 이상으로 추가 확대될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 해상풍력발전 기자재의 보관, 조립, 운송, 설치 등의 기능을 지원하는 지원항만은 해상풍력단지 개발사업의 원활한 진행과 경제성 확보에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

본 연구는 선행연구와 주요국 사례를 바탕으로 해상풍력 지원항만의 평가 기준을 마련하여 육지도 해상풍력단지와 연계한 경상남도 소재 항만의 여건을 분석하고 평가해 보고자 하였다. 평가 기준으로 해상풍력단지와의 거리, 입출항 제약, 항행수역, 어업권 요인, 부대비용, 안벽길이, 수심, 항만부지, 부두하중, 타 화물 간섭, 민원과 관련산업 집적으로 세분화하였다. 이후 경상남도 항만 중에서 통영항, 삼천포항, 고현항, 마산항, 진해항을 선정하여 평가하였다.

연구 결과로 해상풍력단지와의 거리, 입출항 제약, 어업권 요인 등은 통영항이 우수하였으나, 안벽길이, 수심, 항만부지 등 다른 평가 기준에서는 대체적으로 삼천포항, 마산항, 진해항이 우수한 것으로 평가되었다. 본 연구는 지속적으로 증가하는 해상풍력단지 개발사업과 연계하여 공공기관, 풍력사업자 및 정책입안자가 지원항만 선정에 필요한 사항을 평가하는 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 해상풍력단지, 지원항만, 경상남도 항만, 평가 기준

