POSRI 이슈리포트

2019. 7. 24.

부유식 해상풍력발전, 재생에너지 정체 돌파구 될까?

장기윤 수석연구원, 신성장/그룹사업연구센터 (serijky@posri.re.kr)

목차

1. 왜, 부유식 해상풍력발전인가?
2. 국내외 부유식 해상풍력 추진 현황
3. 우리나라 보급확대를 위한 선결요인 점검

posco
포스코경영연구원

Executive Summary

○ **정부는 재생에너지 보급 확산이 주춤하자 대규모 단지조성이 가능한 부유식 해상풍력 단지조성에 주목하고 지자체, 공기업 간 협력체제 구축**

- 부유식 해상풍력은 육지가 아닌 해상에 띄워진 상태에서 전기를 생산하는 방식
- 심해(深海)로 갈수록 풍량(風量)이 우수하고 입지 제약이 적어지는 장점이 있음

○ **세계 최초 부유식 해상풍력 발전 단지가 스코틀랜드에서 상용화되었고('17.10), 일본은 실증단계를 거쳐 2023년 상용화 추진**

- 재생에너지 강국인 중국과 미국(예: Oregon)에서도 단지조성을 검토 중이며, 브라질 같은 남미 국가들도 프로젝트 개발을 모색

○ **우리나라는 울산시가 세계 최고 수준의 해양플랜트 인프라를 활용하고 동해가스전 등 지리적 장점을 내세워 단지조성 이니셔티브를 모색**

- 울산시는 국내외 4개 투자사와 업무협약을 체결하고('19.1) 민간 주도로 1GW급 부유식 해상풍력 발전단지 조성을 추진
- 또한 서생 앞바다에 국내 최초로 750㎾ 파일럿 플랜트를 실제 운영하고 5MW급 풍력터빈 설계 및 평가기술 개발을 진행

○ **한편 우리나라 최초의 부유식 해상풍력발전인 동해가스전 인근 단지 조성이 상용화되기 위한 3가지 선결요인을 살펴보면 다음과 같음**

- 첫째, 군사지역으로 국방부 협조 없이는 사업차질이 불가피하며, 일본과의 분쟁이 빈번하고, 주민의 어업권 침해 주장에 따른 민원 발생 가능성 상존
- 둘째, 기술축적이 미흡한 상태에서 사업화를 추진할 경우 국부유출 및 기술종속 우려
- 셋째, 금융비용 및 운영비용이 높아 프로젝트의 경제성 확보에 어려움 존재

○ **이에 정부와 지자체, 유관기관은 선결요인을 단계적으로 해결하면서, 최근 정체 양상인 재생에너지 보급확산에 부유식 해상풍력 활용방안 모색 필요**

1. 왜, 부유식 해상풍력발전인가?

□ 부유식 해상풍력은 발전설비 본체가 바닥에 고정되지 않고 수중에 띄워진 상태에서 전기를 생산하는 방식[1]

○ **풍력발전기는 바람에너지를 전기에너지로 전환하며, 생산된 전기는 연결된 송전 및 배관망을 통해 수요지로 전송**

○ **풍력발전 설비보급 초기에는 대부분 육상(On-Shore)에 위치했으나 기술발전과 입지여건 변화에 따라 해상(Off-Shore)으로 확산**

- 해상풍력발전은 고정식(바닥에 고정)과 부유식(수중에 떠있는 상태)으로 구분
- 부유식 해상풍력은 수심이 깊은 해상에 적용 가능하며, 먼 바다의 풍부한 바람자원을 활용하고 육지에서 수십 Km 떨어져 민원이 적고, 기초 구조물 및 지질조사 관련 비용을 줄일 수 있는 장점을 보유[2] (<표 1> 참조)

<표 1> 풍력발전 방식별 장단점 비교

		장점	단점
육상풍력		짧은 공사기간, 낮은 설치비 및 운영비, 관리 용이	소음, 설비 운반, 환경훼손, 입지제한으로 대단지 조성 어려움, 다양한 민원 발생
해상풍력	고정식	설치 용이, 낮은 운영 관리비, 대단지 조성 가능	바다, 연안 생태계 훼손, 어업권 등 민원 발생, 높은 설치 비용
	부유식	먼바다 및 심해 설치, 낮은 환경/지질 조사비용, 대단지 조성 가능	심해(深海)에 설치 어려움(100m 이상), 높은 운영 관리비, 높은 그리드 비용, 경제성 확보에 어려움

자료: New Atlas(2017), WPK(2017)를 이용하여 재정리

□ 정부, 2030년까지 재생에너지 발전비중 20% 달성 추진하며 부유식 해상풍력에 주목

○ **정부는 「제8차 전력수급기본계획」(2017. 12, 이하 '제8차 전력계획')[3]을 통해 재생에너지 발전비중을 대폭 확대 추진**

---

[1] 해상풍력은 풍력터빈 대형화에 따른 육상풍력의 입지, 소음, 운반 등 제반 문제점 해결에 적합

[2] 한국에너지(2017. 11. 13)

[3] 산업부(2017. 12)

- 정부는 '제8차 전력계획'을 수립하여 화석연료 축소 및 가스·재생에너지 확대의 에너지전환 정책 추진 (<표 2> 참조)

<표 2> 우리나라 발전원별 비중 현황 및 목표(%)

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017년	30.3	45.4	16.9	6.2	0.6	0.7	100
2030년	23.9	40.5	14.5	20.0	0.3	0.8	100

자료: 산업통상자원부(2017.12), 제8차 전력수급기본계획(2017~2031)

○ **정부는 '제8차 전력계획'의 후속조치로 「재생에너지 3020 이행계획」[4](이하 '재생에너지 3020')을 수립해 재생에너지원별 보급목표(설비·발전규모) 제시**

- '재생에너지 3020'은 2030년까지 재생에너지 발전비중을 4.6%(2016년)에서 20%로 늘리고 설비용량도 2016년 15.1GW에서 2030년 63.8GW로 4배 확대[5] 계획
- 발전원별 구성은 태양광(36.5GW, 57%), 풍력(17.7GW, 28%), 폐기물(3.8GW, 6%), 바이오(3.3GW, 5%) 순으로 추진[6]
- 또한 신규설비 85%를 태양광·풍력 중심으로 보급 추진
- '재생에너지 3020'을 추진 중이나 대규모 프로젝트를 위한 입지 및 경제성 확보가 어려운 상황에서 지자체(예: 울산시), 공기업(예: 남동발전, 서부발전 등)은 부유식 해상풍력 단지조성을 검토

2. 국내외 부유식 해상풍력 추진 현황

□ 스코틀랜드, 세계 최초 부유식 해상풍력발전 하이윈드(Hywind) 상용화 성공('17. 10)

○ **하이윈드 발전단지는 스코틀랜드 북동부 피터헤드(Peterhead) 해안에서 약 25Km 떨어진 지역에 위치**

---

[4] 산업부(2017. 12)

[5] 2017년까지 기존 설비 15.1GW + 신규 48.7GW('18~'30년) = 총설비용량 63.8GW('30년)

[6] 신규설비 85%를 태양광·풍력 중심으로 보급 추진

- 가용 설비기간은 25년으로 로터(Rotor) 지름 154m, 날개(Blade) 길이 75m, 터빈 무게 12,000톤 (총 투자비는 3,000억원 수준)
- 연간 130GWh 전력을 생산하여, 약 2만 가구에 전력 공급

○ **스코틀랜드 정부와 노르웨이 정유사 에퀴노르(Equinor, 舊 Statoil)가 30MW 규모의 해상풍력 설비를 운영[7]**

- 하이윈드 발전단지에는 수심 95~100m 해상에 720~1600m 간격으로 30MW(6MW*5기) 규모의 설비 설치
- 최대 40m/s의 강한 바람과 20m 높은 파도에도 전복되지 않도록 설계
- 하이윈드 하부는 거대한 원통형 부표로 이루어져 있으며, 이는 해저 바닥에 설치된 3개의 고정 장치와 케이블에 연결

□ 일본, NEDO[8] 통해 실증테스트 검증 거쳐 2023년 상업화 추진[9]

○ **아키타(Akita) 프로젝트 통해 5MW급 부유식 풍력발전 실증 추진**

- 정부기관인 NEDO와 공공기관인 동경전력이 2017년부터 파일럿 프로젝트 추진 (총투자비 800억원, 설치용량 6MW)
- 아키타현 사카타 인근 서남해 10Km 해상, 수심 80~100m, 조류속도 1.5~1.7m/s
- 2023년 기술적 문제를 극복하고 경제성 있는 투자비 달성 추진 (MW당 90억원 이하, 전력송전 해저 케이블 비용 포함)

○ **NEDO, 차세대 부유식 해상풍력발전 시스템 실증기를 완성하여 상업시기 단축 모색**

- NEDO 및 히타치조선, 동경대학이 참여하여 바지선형(Barge Type) 부유체에 풍차를 탑재한 차세대 부유식 해상풍력발전 시스템 실증기 개발 완료 (3MW 규모, '18. 8)
- 2019년 5월 실증기 가동을 시작으로, 2021년까지 기술검증을 마치고 2023년 이전이라도 상업운전 추진

※ 이외에도 미국(Oregon), 중국, 노르웨이 및 브라질(예: Petrobras 등)

---

[7] New Atlas(2017. 10. 20)

[8] New Energy Development Organization: 일본의 신에너지 종합개발기구

[9] 에너지경제(2016. 3. 10)

같은 남미 국가들도 부유식 해상풍력발전 시스템 개발과 파일럿 단지 조성 추진

□ 우리나라는 경북도, 제주도, 울산시가 단지조성을 모색 중이며, 이 중 울산시가 가장 적극적으로 부유식 해상풍력 프로젝트 사업화 추진

○ 울산시는 석유공사와 2020년까지 5MW급 부유식 해상풍력 발전시스템 개발 및 2030년까지 1GW 규모의 단지 조성 추진

- 산업부 재정지원을 받아 동해 가스전 플랫폼과 가스배관을 활용해 발전단지 조성 위한 타당성 조사 수행 (국비 27억원 등 총 40억원 투입, ~2020.5)
- 2030년까지 국비 등 총 6조원을 들여 동해 가스전 인근에 원자력 발전소 1기에 해당하는 1GW 발전용량의 부유식 해상풍력 발전단지 조성 추진 (5MW * 40기 * 5개 단지= 1000MW)

○ 또한 울산시는 세계 최고 수준의 조선해양 플랜트 인프라를 활용해 부유식 해상풍력 산업 활성화 선도 역할 자처

- 울산시는 부유체 제작과 계류시스템 설치에 현대중공업을 비롯한 울산의 조선해양플랜트 산업기반 활용이 가능하다는 점을 강조
- 해상 풍력단지가 조성될 동해 가스전 인근 해상은 해안에서 58Km가량 떨어져 있어 소음문제, 어업권 문제를 최소화할 수 있는 뛰어난 입지 조건을 갖춘 지역이라고 주장
- 또한 발전소 송배전 선로도 이미 구축되어 있어 계통연계가 쉽다는 이점을 강조하며, 다양한 투자자와 접촉을 시도

> 울산시가 개최한 민간투자사 간담회에 SK E&S-CIP(덴마크 투자운용사), GIG(영국 투자사), 코엔스헥시콘(스웨덴 해양플랜트 및 부유체 전문기업), 위드파워코리아(WPK) 등 글로벌 투자사 등이 참여했으며, EON(독일 에너지기업), 맥쿼리(호주 다국적 투자사), 에퀴노르(노르웨이, 정유사, Hywind 운영사) 등도 간접적으로 참여의사를 밝히는 등 국내 부유식 해상풍력에 대한 다국적 투자사들이 높은 관심을 표명 〈울산시, 2018. 12〉
>
> 울산시는 금년 초 동해 가스전을 중심으로 '부유식 해상풍력 발전단지 조성을 위한 업무협약(MOU)'을 체결함. 4개 민간 투자사는 ▲로열 더치 셸(Royal Dutch Shell)과 코엔스헥시콘(CoensHexicon), ▲SK E&S와 CIP(Copenhagen Infrastructure Partners), ▲GIG(Green Investment Group), ▲KFWind(Korea Floating Wind) 〈울산시, 2019. 1. 24〉[10]

[10] 울산광역시청 홈페이지(http://www.ulsan.go.kr)

3. 우리나라 보급확대를 위한 선결요인 점검

: 울산시가 추진 중인 동해 가스전 인근 단지조성을 대상으로 점검

입지 및 민원 등 제반 문제로 「재생에너지 3020」 추진이 주춤하자 정부와 지자체는 대규모 단지조성 및 유관산업 활용이 가능한 부유식 해상풍력에 주목함. 한편 상용화 사례가 적고 기술문제와 사업성이 검증되지 않은 상태에서 서둘러 사업화하기보다 충분한 시간을 두고 실증이 필요하다는 지적도 나옴. 우리나라 최초의 부유식 해상풍력 개발사례인 동해 가스전 인근 단지의 안정적인 조성을 위한 선결요인을 살펴보면 다음과 같음

□ 첫째, 해군 군사지역으로 국방부 협조 없이는 사업 차질 불가피

○ **울산시가 추진 중인 부유식 해상풍력단지 예정지는 군사작전 지역으로 국방부와 사전협조가 필요한 상황**[11]

- 부유식 해상풍력발전 설비 설치 시 바다 밑에도 규모가 큰 구조물이 자리잡게 되어, 해군 선박(예: 잠수함 등) 통행에 지장을 준다고 판단될 경우 사업 추진이 불투명해질 가능성 존재

- 풍량 자료를 확보하기 위한 풍향계측타워뿐 아니라 라이다 등 원격감지 계측기 설치(반경 5Km) 시 '공유수면 점용허가'를 받아야 하는데, 허가권을 가진 울산지방 해양수산청은 국방부 승낙없이는 불가능하다는 입장이며 국방부는 최근까지 반대 입장 표명[12]

  ※ 공유수면관리법(公有水面管理法)은 개발보다 보전과 관리를 우선시하여 환경, 해상유통, 국방 등 제반 부문에서 문제가 없다는 관련 부처 최종 결론이 필요

○ **또한 부유식 풍력발전 단지조성 예정지인 동해 가스전은 어종(魚種)이 풍부한 황금어장이며, 일본과의 배타적 경제수역(EEZ)[13] 으로 한일 간 분쟁이 수시로 발생**[14]

---

11 울산뉴스(2019. 3. 22)

12 YTN(2019. 4. 3)

13 배타적 경제수역(Exclusive Economic Zone): 유엔 국제해양법상 모든 자원에 대해 독점적 권리를 행사할 수 있도록 보장한, 자국 연안에서 200해리까지의 수역 (1해리=1,852m)

14 울산저널(2019. 6. 1)

- 단지조성 예정지는 오징어와 문어 등 많은 어종이 서식하는 어장으로 동해안권 어민(예: 울산, 부산, 포항 등)들은 생존권이 위협받는다며 사업 백지화 주장[15]
- 또한 일본 어선과 충돌(문창호, 2018년), 납치(덕양호, 2008년), 대치(신풍호, 2005년) 등 한일 간 충돌이 빈번하게 발생하는 지역

□ 둘째, 기술축적이 미흡한 상태에서 사업화를 우선 추진할 경우 국부유출과 기술종속 우려[16]

○ **부유식 해상풍력발전 단지조성이 외국 투자가 중심으로 진행됨으로써, 상용화 이후 배당금 등 국부유출 불가피**

○ **규모의 경제가 적용되는 발전터빈의 경우, 8MW급 이상의 터빈이 아직 개발되지 않은 상황에서 수입확대에 따른 기술 의존도 심화 가능**
(기술 이전을 전제로 MOU를 체결했으나 이행 여부의 불확실성은 상존)

- 특히, 부유체는 국내 생산이 가능하더라도 단지조성 초기부터 수입산 발전터빈이 설치될 경우, 기술개발의 기회 상실 우려

○ **한편 대규모 단지조성 상용화까지 6년 정도의 시간이 필요하며, 그동안 기술개발 및 주요부품 국산화 준비 필요**

- 사업개발 및 실증단계(Pilot Test: 건설 1년, 운전 1~2년) 및 상업운전을 위한 건설단계(3.5년)의 시간 소요 전망

□ 셋째, 경제성 측면에서 금융비용 및 운영비용 모두 높아 수익성 확보에 어려움 존재

○ **육지보다 해상 풍속이 평균 70% 더 빠르고 외해(外海)로 갈수록 입지에 유리하지만 '총사업비' 증가로 수익성 확보에 어려움 발생**

- 총사업비는 투자비와 운영비로 구성되며, 투자비는 각각 MW 단위가격에 수량을 곱하여 산출

※ MW당 투자비는 육상풍력 발전설비 대비 2배 이상, 고정식 해상풍력 대비 1.5배 이상 높은 것으로 추정

---

[15] 울산신문(2019. 3. 26)

[16] 울산매일(2019. 5. 29)

- 운영비 역시 MW당 운영비에 수량을 곱해서 산정하며, 설비(예: 수중 구조물, 해저 케이블, 수상 구조물 등) 정기검진 및 A/S 비용이 반영되고, 점검주기와 점검방식에 따라 운영비 규모 결정

  ※ 부유식 해상풍력 발전설비는 심해에 입지하고 높은 파도와 바람에 노출되어 운영비가 육상풍력 대비 2배 이상, 고정식 해상풍력 대비 1.5배 발생하는 것으로 추정

  ※ MW당 투자비용(CAPEX: Capital expenditures)은 100억~160억원 수준으로 편차가 크며, 이는 지역별 지형 차이, 설비별 구조차이 등에 기인

○ **경제성을 결정하는 총매출액은 총발전량과 전력가격의 곱으로 산출**

- 부유식 해상풍력 발전설비의 총발전량(kWh)은 설비이용률(CF)[17] 38%(Hywind 평균값)를 적용하고 일수(日數, 1년 365일)와 발전용량을 각각 곱하여 산정

- 여기에 전력판매가격 및 신재생에너지공급인증서(REC) 추정가격을 더하고 REC 가중치를 반영한 결과를 곱하여 총매출액을 산정[18]

- 부유식 해상풍력 발전설비의 총투자비는 감소세를 보이고 있으나, 육상풍력 및 고정식 해상풍력 대비 1.5~2배 높은 수준으로 사업성 확보에 어려움이 남아 있는 상태[19]

[종합] 부유식 해상풍력발전은 정부의 재생에너지 보급 확산에 기여할 뿐만 아니라 연관산업 활성화와 일자리 창출에도 역할을 할 것으로 기대됨. 그러나 기술개발 및 실증을 통한 생태계 조성보다 사업화를 우선 추진하는 움직임이 있음. 이에 정부와 지자체, 유관기관은 선결요인을 단계적으로 해결하면서, 최근 정체 양상인 재생에너지 보급확산에 부유식 해상풍력 활용방안 모색 필요

이 자료에 나타난 내용은 포스코경영연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

17 설비이용률(CF: Capacity Factor)

18 여기에 신재생에너지공급인증서(REC: Renewable Energy Certificate) 가중치 2~2.5배 반영

19 높은 투자비와 수익구조를 살펴볼 경우, 프로젝트별 차이는 있겠으나 사업수익성 (IRR: Internal Rate of Return)은 마이너스에서 2~3% 수준인 것으로 추정

[참고자료]

[보고서/논문]

WPK(2017. 6), 「사례로 본 부유식 해상풍력의 시사점과 울산적용 가능성」

WPK(2015. 2), 「한국 부유식 해상풍력 적용의 경제성 및 사업성 분석」

산업부(2017. 12), 「재생에너지 3020 이행계획」

산업부(2017. 12), 「제8차 전력수급기본계획(2017~2031)」

[언론자료]

New Atlas, 'World's first floating wind farm powers up off Scotland', 2017. 10. 20

YTN, '부유식 해상풍력발전단지 탄력..난제는 산적', 2019. 4. 3

에너지경제, '부유식 풍력, 일본은 앞서나가는데.... 우리는 업계 양분', 2016. 3. 10

울산뉴스, '부유식 해상풍력단지 '암초'..해군군사작전 통로', 2019. 3. 22

울산매일, '부유식 해상풍력발전과 지속가능한 발전', 2019. 5. 29

울산신문, '울산시 부유식 해상풍력발전 사업 허술', 2019. 3. 26

울산저널, '부유식 해상풍력, 울산의 미래 먹거리가 될 수 있나', 2019. 6. 1

한국에너지, "부유식 해상풍력' 풍력산업의 새 해법 될까', 2017. 11. 13

[홈페이지]

울산광역시청 홈페이지(http://www.ulsan.go.kr)