

조력과 해상풍력 에너지의 결합

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 신효순
(0637shin@reseat.re.kr)

1. 머리말

- 해양 에너지와 해상 풍력을 포함한 해상 재생에너지(ORE: Offshore Renewable Energy)는 큰 개발 잠재력을 가지고 있고 유럽 SET 플랜 (European Strategy Energy Technology Plan)에서 확인된 것처럼 EU 에너지 정책에서 가장 기본적인 역할을 하고 있다.
- 해상 풍력 에너지는 해상에서 풍력에 의해 발전된 에너지로 정의되고, 해양에 존재하는 해양 에너지는 조력, 해류, 간만의 차, 해양 열에너지 또는 염분 형태의 해양에 존재하는 에너지로 정의한다.

2. 자원

- ORE, 특히 해상 풍력과 조력은 재생 에너지 중에 가장 큰 가능성을 가지고 있다. 유럽 연안의 이용 가능한 에너지 전력은 풍력이 350GW이고 조력이 320GW이다. 유럽은 북대서양 연안과 북해가 가장 강력하고 가치 있는 풍력과 조류에너지 자원을 가지고 있다.
- 유럽의 조력 풍력 결합 자원
 - 북해와 발트해: 특히 북해는 수심이 얕아(평균 95m) 좋은 풍력 자원을 가지고 있고 조류 에너지 개발을 위해 비교적 유리하다. 결합 자원으로는 북 스코틀랜드 섬, 노르웨이 남서쪽 및 덴마크의 서해안으로 제한된다.
 - 대서양 북동쪽: 연안에서 수 마일이면 수심이 100m 이상이다. 강력한 바람과 높은 조력을 가지고 있으나 심해 조건으로 미래 부유식 풍력 터빈이나 부유식 결합 다중 플랫폼으로 이용될 수 있다.

3. 시너지 효과

- 조력과 해상 풍력 산업은 똑 같이 해양환경에 적대적 입장을 공유하고, 많은 행정적 기술적 장벽에 부딪치고 있다. 더구나 두 산업의 비용 감소의 요구와 함께 해양 천연자원의 지속가능한 개발이 조력과 해상 풍력 이용의 결합을 위한 동기를 제공한다.
- 입법적 시너지: 해양 부문에서 새로운 참여자들의 활동은 다음 몇 십 년에 해양 경제에 상당한 역할을 하게 될 전망이다. 그들은 공통 또는 통합된 규제가 없는 곳에서 새로운 계획을 개발하기가 매우 어려운 부문의 일부로 공존할 것이다.
- 프로젝트 또는 기술적 상승작용: 해양 에너지 프로젝트 또는 기술적 수준에서 결합은 실제 적용 가능한 대안으로 탄력을 얻고 있다. 이것은 에너지 생산의 증가에서 운전 및 유지비용의 감소까지 많은 상호 보완적 관계에 의해 지지된다.

4. 조력 풍력 결합 시스템

- 동일 장소 시스템
 - 현재 조력과 해상풍력 기술의 개발 단계에서 가장 간단한 동일 장소 시스템은 독립적 기초 시스템으로 해상 풍력 단지와 조류 에너지 변환장치(WEC: Wave Energy Converter)를 배열하여 결합하며, 동일한 해양 면적, 그리드 연결, 작업과 보수 장비와 인력 및 항구 구조물 등을 공유한다.
 - 독립적 배열: 동일 장소 독립 배열은 해상 풍력과 조력 단지를 분명히 구분하고 다른 해양 장소를 차지하는 반면, 다른 서비스나 설치 옆에 나란히 같은 전력망 연결을 공유할 만큼 가깝다.
 - 결합 배열: 결합 배열은 해상 풍력과 조력 장비는 같은 해양 영역과 관련 인프라를 공유해서 이들은 단일 배열을 구성한다. 결합 배열은

주변 분포 배열, 균일 분포 배열 및 비균일 분포 배열의 3개의 범주로 분류된다.

○ 하이브리드 시스템

- 바닥 고정 하이브리드: 바닥 고정 조력과 해상 풍력 하이브리드는 WEC에 공간을 제공하기 위하여 해상 풍력 산업에 의하여 사용된 현재의 하부 구조물의 진화에 근거한 획기적인 시스템이다.
- 부유식 하이브리드: 부유식 조력과 해상 풍력 하이브리드는 최근 부유식 해상 풍력 프로토타입의 도래로 고려되기 시작한 새로운 개념이다. 부유식 하이브리드의 흥미는 스페인과 포르투갈처럼 심해에 존재하는 큰 조력 자원에 근거한다.

○ 섬 시스템

- 하이브리드 시스템처럼 섬 시스템은 해상 다목적 플랫폼이다. 하이브리드 시스템과의 차이는 섬이 훨씬 더 크고, 더 중요한 것은 같은 플랫폼에 2가지 이상의 결합된 이용을 통합한다.
- 인공 섬: 인공 에너지 섬은 보통 큰 암초나 제방에 기초를 두고 대규모 전기 저장, 해양 자원 변환장치 및 다른 해양 활동을 위한 플랫폼으로 활용할 수 있다.
- 부유식 섬: 부유식 에너지 섬은 대형 다목적 플랫폼인데 일반적으로 인공 섬보다 더 작지만 대부분의 선박보다 더 크고 여기서 해양 자원의 이용이 수행된다.

5. 결합 시스템의 하부 구조

○ 얇은 수심 하부 구조물

- GBS(gravity based structure)는 매우 얇은 수심을 위해 1900년대 초에 해상 풍력단지를 위해 개발되었다. 무거운 콘크리트 구조물로, 육

상에서 제작하고 인양되어 해상의 최종 위치에 설치하고 바닥짐(모래, 바위, 철, 콘크리트 등)으로 채워진다.

- 단주: 얇은 수심을 위한 가장 간단한 기술적 해법이고 비교적 저가이기 때문에 지난 10년 동안 대부분의 해상 풍력 단지에 사용되었다. 단주는 해저에 박힌 파이프로 구성되고 연결 요소를 통해 풍력 터빈 기둥과 연결된다.
- 흡입 물통: 흡입 물통 구조물은 저가격에 큰 수심 범위를 커버하기 위해 설계된 혁신적인 개념이다. 이들 구조물은 저가격으로 5~60m의 수심 범위를 커버하기 위해 설계되었다.

○ 천이 수심 하부구조물

- 재킷 프레임: 재킷 프레임은 지난 수년 동안 천이 수심을 위한 가장 확장된 해상 재생에너지 구조이다. 장점은 더 깊은 수심(80m까지)에 도달할 수 있는 가능성이 있고 단점은 높은 건설비와 설치비이다.
- 3개 파일: 3개 파일 하부 구조 시스템은 60m까지의 얇은 수심보다 더 깊은 수심에 도달하기 위해 개발된 새로운 개념이다. 이 기술은 정상에서 연결쇠를 통해 함께 연결된 3개의 단주로 구성되며, 장점은 3개의 단주를 설치하고 상단 접합부를 더하는 설치의 단순성이다.

○ 심해 또는 부유식 구조물

- 스파 부유물(Spar floater): 스파 부유물 하부 구조물은 해상 오일과 가스에 사용된 스파 부표 형상에 근거한다. 이것은 수면 아래 깊이 내려가는 길고 가는 실린더의 부력과 안정성에 근거한다. 주 장점은 좋은 동적 반응과 안정성이다.
- 인장 다리 플랫폼(TLP: Tension Leg Platform): TLP는 미리 인장된 계류 케이블에 의해 해저에 묶은 물에 잠겨있는 플랫폼이다. 주 장점은 저비용이나 계류선의 동적 노력이 주 약점이다.

6. 결합 시스템을 위한 WEC 기술

- 진동 수주: 진동 수주(OWC: Oscillating Water Channel)는 물기둥 위에 갇힌 에어 포켓을 유지하는 반 잠수실을 갖는 변환장비이다. 조류가 물기둥을 피스톤처럼 작동하게 해서 아래위로 움직여 공기를 실로부터 몰아내고 들어오게 한다. 연속적 운동이 고속 공기 줄기를 역전시키고 이것이 전기를 생산하기 위해 터빈 발전기를 통해 해소된다.
- 진동 몸체: 진동 몸체는 WEC의 더 다양한 그룹이다. 이 그룹은 조류 에너지의 진동 운동을 유지하도록 강제되는 부유기 또는 부표인 몸체를 통해 조류 에너지를 이용하는 변환 장치의 모든 것을 합친다. 이 시스템의 주 장점은 작은 크기이고 그들 대부분은 부유 장치이다.

7. 기술 개발 및 경제적 이슈

- 현재 바다에서 운영하는 조류 풍력 장치 결합은 없다. 지금까지 몇 개의 프로토타입만 제안되었고, 바다에서 운영하는 WEC 단지나 다중 장치의 배열은 없다. 해상 풍력 분야에 비해 기술적 격차 때문에 조력과 풍력에너지의 결합을 현실로 만들기 위해서는 직면해야 할 많은 도전 과제들이 있다.
- 한편 WEC는 운영과 정비비용을 공유하거나, 풍력 터빈에 접근성을 증대함으로써 해상 풍력에 획기적인 운영비 감소를 제공할 수 있다. 또한 해상풍력 단지가 가지고 있는 전력망 연결, 물류 지원 및 인프라를 공유하여 조류 에너지 비용을 감소할 수 있다.

8. 맺음말

- 본문은 조력과 해상 풍력에너지 시스템의 결합에 관련하여 대단히 중요한 분석을 제시하고 미래 연구 개발에 사용될 참고 프레임을 확립할 목적으로 이들 시스템과 관련된 다른 영역들을 설정했다.
- 기본 연구는 이들 결합된 시스템의 타당성, 지속 가능성 및 통합을 시험하는 것과, 새롭게 채택된 WEC가 현재 해상 풍력 단지와 결합하는 것이 어느 정도 적합한지를 결정하는 것이 중요한 것으로 강조되었다. 위에 언급한 것에 추가하여 고려해야 할 중요한 문제를 제시한다.

- 조력과 해상 풍력 기술은 명확하고, 단순화된 제도가 투자 유치를 촉진하는 입법 수준에서부터 그들의 결합이 두 기술의 발전에 기여할 것이라는 프로젝트 또는 기술 목표에 이르기까지 많은 목표를 공유한다.
- 조력과 해상 풍력 에너지 사이에 공통적인 모든 강점 가운데 다른 것보다 눈에 띄는 세 가지가 있다. 일반적이고 비용이 많이 드는 인프라(그리드 연결과 기초)를 공유할 가능성, 공통적인 설비의 운영 및 보수 팀을 공유할 가능성 및 그림자 효과이다.
- 그림자효과는 해상 풍력 단지의 보호에 관해서 WEC를 사용하고 내측 부분에 파도 높이를 감소하여, 풍력터빈에 접근성을 증대하는 방법이며, 조력·풍력 에너지가 상업적으로 생존 가능하기 위해서 해결해야 할 주요 기술적 측면은 하부 구조와 조류 에너지 변환기술이다.

출처 : C. Pérez-Collazo, D. Greaves, G. Iglesias, “A review of combined wave and offshore wind energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 2015, pp.141 ~ 153

▷ 전문가 제언 ▷

- 해상 풍력과 조력 에너지 분야의 지속 가능한 발전은 자원 이용의 최적화가 요구되고, 이와 관련하여 두 산업이 지난 10년 동안 발생한 해상 풍력과 조력 에너지를 결합하는 선택은 비용을 줄이기 위한 최고의 도전이다. 이 결합과 관련된 해상 풍력과 조력 에너지의 상승 작용, 조력과 해상 풍력 에너지의 결합을 위한 다양한 선택 및 기술적 측면이 언급되었다.
- 미국 국립 부표 데이터 센터가 수집한 매 시간 해상 풍력과 조류의 속도 측정의 143개 연간 기록이 캘리포니아주에 있는 해상풍력과 조류 에너지 단지의 전력 성능과 변동성을 모델링하기 위해 사용되었다. 부표에서 해상 풍력 단지는 30~50% 범위의 성능 계수를 가졌고 조력 단지는 22~29%의 성능 계수를 가졌다.
- 캘리포니아의 단일 해상풍력 단지의 연간 무 전력 출력이 100시간이고 조력 단지의 200시간에 비해, 결합된 단지는 100시간보다 적을 것이다. 이들 결합된 풍력과 조력 단지는 높은 풍력과 조력 자원이 겹치는 지역의 곳 근처와 연안을 따른 지점에 설치되면 가장 좋다.
- 이들 자원의 결합은 변동이 심한 전력 발전의 영향을 감소시키는 것을 보여 주었다. 이는 시스템 신뢰성을 유지하기 위한 부하추종 비축과 발전용량 요구를 감소시키고, 해상 풍력이나 조류에너지 단독 시스템에 비해서 결합 해양 재생 에너지를 위한 시스템 통합 비용을 낮춘다.
- 해상 풍력과 조류 속도가 빠른 아일랜드 서해안과 남해안에서 풍력과 조력단지의 결합은 더 신뢰성이 있고, 변동성을 줄이고 더 예측 가능한 전력 생산을 달성할 것이다. 고수준의 풍력은 과잉 용량 요구를 크게 증가 시키고 전통적 화력 발전소의 더 낮은 효율의 원인이 될 것이다. 우리나라 서남 해안은 해상 풍력과 조력 자원이 풍부하므로 결합 풍력 단지의 타당성을 깊이 있게 검토할 충분한 가치가 있다고 본다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.