

# 해상풍력 발전설비가 환경 및 사회에 미치는 영향의 실태와 전망

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 나덕주  
(djra15@reseat.re.kr)

## 1. 서언

- 지난 20년 동안 세계 각국은 탄소배출감소와 신재생에너지 목표를 달성하기 위하여 풍력발전 기술개발에 투자를 계속하고 있다. 1990년대에 들어와 15GW의 풍력발전설비를 설치하여 2014년에 누적 370GW 용량을 확보하여 세계 전기수요의 3%를 담당하게 되었다. 그러나 육상풍력 터빈의 경우 소음, 경관훼손, 조류 생존에 영향 및 생태학적 변화 등 부정적 효과 때문에 새로운 설치투자가 감소하고 있다.
- 지난 10년 동안 풍력에너지는 50m높이에서 10m/s의 높고 안정적인 풍속을 얻을 수 있는 해상풍력발전에 관심이 쏠리기 시작하였다. 그러나 해상풍력은 육상풍력과 다른 특별한 요구조건을 만족하는 설계가 필요하다. 2013년에 풍력터빈의 크기는 평균 4MW 급이고 단지의 규모는 78% 증가한 485MW에 이르렀다.
- 육상풍력에 비해 해상풍력 단지의 건설에는 송전용 해저 케이블과 지지구조물 또는 부유 플랫폼의 니즈가 발생하고, 해양 부식에 견딜 수 있는 재료의 채택과 정밀한 작업이 수반되고, 해상풍력 프로젝트에는 보다 어렵고 비용이 많이 소요되는 작업을 수행하여야 하고 정비 접근성을 위한 특수 선박이나 헬리콥터가 필요하다.
- 본문은 위에 열거한 이슈 관점에서 해상풍력발전의 개발에 따른 환경적 및 사회적 영향을 심층 검토하고 향후 발전방향에 대해 기술하였다. 또한 문헌조사를 통해 최근 해상풍력 프로젝트의 현황에 대한 내용과 환경 및 사회적 영향을 감소할 수 있는 방법에 관해 기술하였다.

## 2. 해상풍력발전 기술의 최근 동향

- 2014년 세계 해상풍력발전 설비 용량은 8.76GW로 세계 풍력발전의 2.4%를 차지하고, 그중 해상풍력의 선두인 유럽은 8.1GW로 92.5%를 차지하고 있다. 해상풍력발전에 참여하는 14개 국가 중 영국(4.49GW), 덴마크(1.27GW), 독일(1.05GW), 벨기에(0.71GW)에 이어 중국(0.66GW)이 뒤따르고 있다.
- 해상풍력 발전 프로젝트의 설계는 육상풍력 발전 및 오일과 가스 산업의 오랜 경험에 의한 기술에 기반을 두고 있다. 해상풍력 분야에서 상업적으로 사용하는 최대 터빈은 6MW 급이고, 아직도 험난한 바다 조건(날씨, 바람, 파도, 조류 등)에 대응하기 위해 풍력터빈 기술, 지지구조물, 전기 인프라 및 설치와 정비를 위한 물류시스템의 개발에 몰두하고 있다.
- 해상풍력 발전설비는 대부분 얕은 바다에 사용하는 단주식(monoliles) 및 중력식(gravity-based fundation)과 같은 고정형(fixed-bottom) 지지구조물 위에 설치한다. 2014년 유럽에 설치된 2920개 지지구조물 중 78.8%가 단주식이고, 10.4%인 303개가 중력식이다. 재킷형이 4.7%, tripods방식이 4.1%, tripiles방식이 1.9%이고, 부유식 지지구조물은 0.1%에 불과하다.
- 유럽의 해상풍력은 해안에서 평균 33km 떨어지고 22.4m 깊은 바다에 설치하였고 추진 중인 최대 해상풍력은 200km 떨어지고 215m 깊은 바다에 건설하고 있다. 해상풍력은 해안에서 멀수록 높은 풍속으로 높은 에너지를 생산하지만, 개발 및 운전비용과 설치 및 정비비용이 높아진다. 따라서 해상풍력은 에너지 성능과 비용효과에 중점을 두고, 터빈의 단위 용량을 크게 하고 지지구조물의 개념을 바꾸는 데 R&D 역량을 집중하고 있다.

## 3. 해상풍력발전이 환경에 미치는 영향

- 해양환경은 육상과 사뭇 다르기 때문에 육상풍력이 가진 환경영향을 포함하고 또 다른 세밀한 분석과 접근방법을 필요로 한다. 해상풍력단지 건설과 운영은 각 단계마다 발생하는 특수한 환경영향을 검토하여야 한다. 지지구조물에 의한 인공암초가 해양생물의 서식지를 제공하는 것은 긍정적 효과이지만, 소음, 유헌체의 누설에 의한 공해 및 전자

장애 의한 전자파 등은 부정적 영향을 미친다.

- 풍력발전에 관한 사회적 수용성도 중요한 이슈중 하나다. 일반적으로 소음과 경관 훼손에 기인한 NIMBY 증후군이 풍력발전에 대한 반대 의견을 대표하고 있다. 그러나 해상풍력 발전단지는 설치 위치에 따라 사회적 수용성이 다르기 때문에 명확한 결론은 내릴 수 없고, 여러 가지 해상풍력의 경우에 대한 사회적 및 환경적 영향에 대해 설명한다.
- 향후 수년 내에 영국, 덴마크, 네덜란드, 독일 등을 중심으로 전 세계에 98GW의 해상풍력단지가 건설될 전망이다. 매년 수천만 마리의 새가 철새 이동 경로인 북해와 발틱해를 가로질러 날아가는데, 이 지역에 설치된 해상 풍력단지가 철새와 다른 조류에 미치는 영향에 대해 관심이 높아졌다. 즉 충돌해 죽거나, 철새이동 회피, 철새 이동의 장애 요인발생 등에 관심이 모아지고 있다.
- 현재 조류와 터빈의 충돌에 의한 치사율은 약 1/30,000로 추정되고, 네덜란드 Egmond 해상풍력단지의 경우 GWh 당 약 1.5~1.8 마리의 조류가 죽는 것으로 나타났다. 해상풍력에서는 조류 치사율을 직접적으로 집계하는 것이 대단히 어렵고, 최근에는 TADS, 음향 감지방법, 영상 추적방법, 조류 충돌 모델링방법 등을 사용하여 간접적으로 추정한다.
- 신규 육상풍력 단지의 승인 기관이나 지역사회에게 소음은 가장 중요한 이슈이다. 풍력단지 개발자는 소음 때문에 주민들의 강한 반대에 직면하고 있다. Pederson 과 Punch 등은 공기역학적 저주파 소음 때문에 주민들이 두통에 의한 스트레스 증상, 수면장애 또는 청력 손상 등을 유발시킨다고 보고하였다. 소음 공해를 회피하려면 최소 300~400m 이격 간격과 주간에 45~50dB의 소음 레벨을 유지하여야 한다.
- 해상풍력 단지는 대개 해안에서 약 1km이상 떨어져 있어 풍력터빈 소음이 거의 들리지 않기 때문에 해안지역 주민들은 육상보다 오히려 풍력터빈의 설치에 긍정적 반응을 보인다. 덴마크 Ladenburg에서 설문조사 결과를 보면 주민의 약 5%만이 소음과 해상경관 때문에 해상풍력의 설치를 반대하고 있었다.

- 바다 포유류 및 어종에게는 해상풍력에 의한 소음이 치명적이다. 특히 해저 구조물 건설할 때 파일 작업에 의한 소음은 260dB 수준으로 어종의 청각 장애와 생태계 변화를 초래한다. 또한 풍력터빈의 운전 중 해저 송전 케이블에서 발생하는 전자파는 해양 생물체에 영향을 미치고, 건설 및 폐기단계에 쓰레기와 오일 등 선박 폐기물은 무산소 층을 형성하여 국지적으로 산소 결핍과 영양분 감소를 유발할 수 있다.
- 풍력발전 단지를 개발할 때 주로 경관 이슈 때문에 주민의 반대에 부딪힌다. 경관 영향은 풍경 영향과 미학적 영향의 두 가지 관점이 있다. 풍경 요인은 물리적 특성으로 측정할 수 있고, 미학적 요인은 주관적 인식에 의존하므로 대단히 복잡하다. Ek의 연구에 의하면 풍력에너지에 대해 부정적 의견을 가진 사람 중 75%가 경관 영향 때문이라고 응답하고 21%는 소음 공해 때문이라고 답하였다.

#### 4. 해상풍력발전이 환경에 미치는 영향의 축소전략

- 해상풍력발전이 환경에 미치는 영향을 줄이기 위해서는 영향의 심각성, 영향 축소 기술의 발전 가능성, 공공의 수용성에 대한 접근이 필요하다. 향후 환경영향의 감소를 전망해 보기 위하여 아래에 풍력 단지를 위한 적절한 입지 선정, 필요한 기술 및 기술발전을 위한 R&D 활동에 대해 검토한 내용을 기술한다.
- 입지 선정을 할 때에는 우선 환경영향과 관련한 심각한 거부반응을 고려하여야 한다. 어떤 영향은 예측하지도 못하고 또 필연적으로 발생하기 때문에 발전단지의 건설, 운영 및 해체 단계에서도 환경영향 감소를 축소하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 기술적, 경제적, 사회적 및 환경적 관점에서 광범위하게 고려하여야 한다.
- 조류 및 포유류가 풍력 단지를 혐오하면 개체수가 크게 감소하기 때문에 조류보호관점에서 이동경로의 요충지, 서식처 등을 고려하여야 한다. 또 풍력단지 개발자는 환경영향평가(EIA, environmental impact assessment)를 통해 해상풍경과 경관 훼손을 검토하여야 한다. EIA 과정에서 입지조건, 재료, 기술, 레이아웃 및 운영경험 등을 검토함으로써, 발전단지 건설 초기단계부터 직면하게 될 수 있는 환경영향 이슈

의 발생 확률과 환경영향 감소비용의 절감을 도모할 수 있다.

- 지역주민의 생활에 직접적 영향을 주는 이슈에 대해서 지역사회와의 소통이 대단히 중요하다. 통신, 사회학, 심리학, 생물학, 전략계획 등과 같은 특수한 영역에서는 여러 분야의 과학자들이 참여하여 서로 다른 관점을 해결함으로써 지역사회의 견해를 수용하고, 풍력에너지의 장점을 부각하고 그 효과에 대한 이해를 진작시켜야 한다.
- 지난 20년 동안 EU는 풍력에너지 개발에 지속적으로 투자해오고 있다. 초기 5년 동안(1998~2002년)에는 소형풍력터빈의 개발에 집중하고, 대형풍력터빈의 개발로 확대하면서 많은 기업과 기관들이 참여하기 시작하였다. 2007년부터 풍력터빈의 신뢰성 향상, 풍력발전 예측기법, 비용 경제성 및 환경영향에 대한 연구에 4,500만 유로를 투자하고, 그 중 3,500만 유로를 해상풍력 개발에 집중하였다.
- 2020년까지 38GW의 해상풍력발전설비 추가로 누적 47GW 용량을 갖게 되고, 환경영향을 최소화하기 위해 해안에서 더 멀리 또 더 깊은 바다에 설치할 수 있는 해상풍력발전 기술이 급속하게 개발될 것이다. 지난 10년 동안 상용화된 풍력터빈의 크기도 8MW까지 증대되었다. 미래 해상풍력 프로젝트에서는 설치 기간을 줄이고, 차지하는 공간을 줄임으로서 해양 생물, 저서동물에 영향을 최소화하게 될 것이다.

## 5. 결론

- 육상풍력에서는 환경에 영향을 미치는 사항이라도 해상풍력에는 그대로 적용되지 않는 경우도 있다. 해양 환경은 특수하기 때문에 육상과 해상 풍력에너지 설비를 단순히 비교하는 것은 쉽지가 않다. 해상풍력 발전설비의 미래 전망을 위하여 문헌조사를 통해 해상 및 육상 풍력에너지의 환경적 및 사회적 영향을 비교 평가하였다. 또 상호심사 방법과 기 발간된 연구보고서로부터 찾아낸 시사점을 정리 분석하였다.
- 분석결과는 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째 해상풍력 설비의 환경적 및 사회적 영향에 대한 깊은 이해가 부족하기 때문에 전반적 영향을 파악하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 예로 해양 경관은 아직

연구가 진행되지 않아 비교적 새로운 분야이다. 사람들은 바다에서 열린 수평선을 기대하기 때문에 육상풍력에서 조사한 결과를 해상경관에 적용하는 것은 적합하지 않다.

- 둘째 해상풍력 발전설비가 환경에 미치는 영향이 육상풍력 발전설비보다 적거나 덜 심각하다는 명확한 증거가 없다. 해양환경은 위치에 따라 현격하게 다르기 때문에 각 프로젝트는 별도로 검토하여야 한다. 일반적으로 통용되고 넓게 적용 가능한 결론을 도출하려면 많은 설치 사례와 보다 자세한 연구가 필요하다.
- 셋째 새로운 재료, 새로운 기술과 건설 방법에 집중하는 연구개발이 환경영향과 해상풍력 설비의 효율에 심각하게 기여하기 때문에 향후 이 분야의 기술발전을 필요로 한다.
- 육상과 해상 풍력발전기술은 석탄이나 원자력과 같은 다른 발전방식에 비해 환경에 큰 영향을 미치지 않는다. 새로운 풍력에너지 투자를 하고자 할 경우에는 존속가치가 있는 문화유산을 보호하고, 지구 에너지 소비의 요구에 충족할 수 있는지, 그 지역 환경에 어떤 영향을 미치는지, 각각의 경우에 대해 자세하게 환경영향 평가를 실시하여야 한다.
- 본 연구는 풍력에너지가 환경과 사회에 미치는 영향 관점에서 풍력에너지의 기술과 적용에 관한 종합적 연구의 한 부분이라고 생각한다. 향후 전 수명주기 관점에서 육상풍력 발전설비와 비교하여 해상풍력 발전설비의 에너지 및 탄소발생에 관해 심도 있는 연구를 기대한다.

출처 : J.K. Kaldellis, D. Apostolou, M. Kapsali, E. Kondili, “Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart”, *Renewable Energy*, 92, 2016, pp.543~556

## ◁ 전문가 제언 ▷

- 세계 풍력산업에서 해상풍력발전은 대형 및 실용화 프로젝트를 통해 약 20년간의 실증경험과 10년 동안 상용운전 실적을 바탕으로 새로운 도전을 시도하고 있다. 다른 형태의 발전 방식과 비교해 볼 때, 해상풍력에너지는 해양 환경에 대해 비교적 해로운 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.
- 그러나 해상풍력 프로젝트에는 플랫폼, 터빈, 해저전선, 변전소, 전력망, 상호접속, 단지건설과 관련한 해상운송과 준설 등이 포함되고, 또 운전 정비(O&M) 활동은 인원과 필요 장비의 운송을 필요로 한다. 건설, 운전 및 해체의 각 단계마다 해저소음과 동물에 미치는 영향이 발생한다.
- 본문은 위에 열거한 이슈 관점에서 해상풍력 발전의 개발에 따른 환경적 및 사회적 영향을 심층 검토하고 향후 발전방향에 대해 기술하였다. 또한 문헌조사를 통해 최근 해상풍력 프로젝트의 현황에 대한 내용과 환경적 및 사회적 영향을 감소할 수 있는 방법에 관해 기술하였다.
- 국내에서 2018년 준공 예정인 서남해 해상풍력사업도 보상을 요구하는 피해대책위와 풍력단지 건설 자체를 반대하는 반대대책위 등 사업에 동의하지 않는 주민들을 설득하는 일이 중요한 과제이다. 거창군 거창풍력은 2차례에 걸쳐 주민설명회를 갖고 소음과 저주파에 대한 주민들의 우려를 해소하기 위해 영암과 영덕의 풍력단지를 견학하고 주민과 사업자간 협약을 거쳐 건설에 착수하였다.
- 새로운 풍력에너지 투자를 하고자 할 경우에는 존속가치가 있는 문화유산의 보호를 보호하고, 지구 에너지 소비의 요구에 충족할 수 있는지, 풍력에너지가 그 지역 환경과 사회에 어떤 영향을 미치는지, 각 경우에 대해 주의 깊게 환경영향 평가를 실시하여야 한다. 풍력발전단지 조성에 있어 인근지역주민들의 반대에 대처 방안을 명확히 설명하고, 적절한 보상을 미리 고려하여야 할 필요가 있다고 생각한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.