

풍력 에너지에 관련한 환경 이슈

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

1. 서언

- 화석연료의 연소가 지구온난화의 가장 중요한 요인이다. 에너지 연구자, 산업 전문가 및 정부 정책 입안자들은 화석연료에 대한 의존도를 줄이기 위해 신재생에너지 자원에 관심을 집중하고 있다. 바이오매스, 풍력 및 지열과 같은 에너지기술은 대단히 빠른 속도로 개발되고 있고 점차 경제적인 경쟁력을 갖게 되었다.
- 유럽 신재생에너지협회의 예측에 의하면 2040년에는 세계 전체 에너지의 절반이 신재생에너지로부터 공급될 전망이다. Johannson 등은 2050년에 신재생에너지의 생산과 효율이 큰 폭으로 증가하고, 신재생 에너지 사용증가는 이산화탄소 배출을 감소하게 될 것으로 예측하였다.
- 성숙한 신재생에너지 기술의 하나로 풍력발전은 지난 10년 동안 급속히 성장하였다. 정부 당국자와 기획자들은 탄산가스 배출을 줄이고, 새로운 산업을 일으키고, 새로운 고용기회를 제공하기 위하여 에너지 자원을 다원화하기 위한 방법으로 풍력발전을 가장 선호하는 대체 에너지로 고려하고 있다.
- 최근 세계 풍력보고서에 의하면 2013년 말 세계 풍력발전 설치용량은 318GW이었다. 풍력에너지 개발은 환경에 악영향을 줄 수도 있다. 환경에 대한 영향을 잘못 이해하는 것은 개발도상국의 풍력 에너지 산업에 심각한 문제가 될 것이다. 본문에 풍력단지 개발에 의한 잠재적 환경이슈를 검토하고, 사례를 통해 수집한 증거를 종합하고, 환경에 미치는 악영향을 줄이기 위한 방법에 대해 설명한다.

2. 풍력 에너지로 유발되는 환경 이슈

- 풍력발전 장치는 바람 에너지를 전기 또는 기계적 에너지로 변환하기 위해 풍력터빈을 사용한다. 터빈 출력은 공기 밀도, 터빈 블레이드가 커버하는 면적 및 풍속의 세제곱 함수이다. 풍력터빈의 사용과 관련된 기본적인 환경 이슈는 야생동물의 안전, 바이오 시스템 교란, 소음, 시각 공해, 전자기 간섭, 국지적 기후 변화를 포함한다. 이 이슈들은 생태적 영향, 인간에 충격 및 기후관련 문제로 나눌 수 있다.
- 풍력터빈은 조류에 치사율 상승과 폐해 위험을 유발시킨다. 풍력터빈의 회전 블레이드에 부딪쳐 죽기도 하고 터빈 타워, 나셀, 또는 당김 줄이나 동력선과 같은 구조물에 부딪쳐 치명적인 부상을 당하기도 한다. 미국에서는 매년 234,000마리의 새가 풍력터빈에 충돌하여 죽는 것으로 집계되고, 로터 직경 33~72m의 풍력터빈 한 대당 매년 평균 2.3마리의 새가 충돌해 죽는다고 추정하고 있다.
- 조류에 대한 풍력터빈의 또 다른 부정적인 영향은 서식지 파괴(habitat destruction), 장벽 효과(barrier effect) 및 사육과 수유에 주는 충격을 포함하는 혼란(disturbance)이다. 동력선이나 도로건설에 의해 조류는 주변 100m 이상의 서식지를 잃고, 풍력단지를 우회하여 14~22% 조류는 더 많이 활동하여야 하고, 400m 이상을 더 날아가야 한다.
- 소음은 풍력산업의 발전에 가장 중요한 환경적 저해요인이다. 조용한 심야에 풍력발전단지 주변 500m 이내에서 사람들은 풍력터빈 소음에 가장 민감하게 반응하고, 1,900m 범위 안에서 짜증을 호소한다. 사람들은 대개 교통 소음보다 풍력터빈 소음을 더 싫어하고, 경관에 미치는 시각적 및 심미적 영향에 더 짜증을 낸다.
- 풍력터빈 소음은 공기역학적 소음과 기계적 소음으로 구성되어 있다. 공기역학적 소음은 공기를 가로지르는 터빈 블레이드로부터 발생하며, 터빈의 크기, 풍속 및 블레이드 회전속도에 따라 변하고, 서로 다른 주파수를 가진 광대역 소음이다. 기계적 소음은 터빈의 내부 기어, 발전기 및 부속장치로부터 발생하며, 차단이 충분히 되어 있지 않은 풍력터빈에서 특히 신경을 자극하고 뚜렷하게 나타난다.
- 소음은 인간에게 수면방해와 청력감소를 일으킨다. 또한 높은 주파수

소음에 노출되면 동맥수축과 면역체계를 약화시키고, 두통, 짜증과 피로감을 일으킨다. 소음은 짜증과 불만족과 같은 부정적 영향을 미친다. 풍력터빈에서 2km 이내에 사는 사람들은 터빈 소음이 삶의 질과 쾌적성에 악영향을 미치고 있다고 간주하고, 풍력발전 프로젝트를 강력하게 반대하고 있다.

- 햇빛을 통해 터빈 블레이드가 이동하면서 발생하는 현상인 그림자 깜빡거림(shadow flickering)은 터빈으로부터 거리, 운전 시간 및 햇빛과 상호작용과 같은 많은 변수들이 합해져 인간에게 충격을 주게 된다. 그림자 깜빡거림 외에 경관에 미치는 시각 장애는 풍력산업에 부정적인 견해를 조성한다.
- 사람들은 일반적으로 풍력발전과 신재생에너지 산업을 지지하지만, 해당지역 주민들은 거주지 가까이에 풍력발전 단지의 건설을 반대한다. 이와 같이 자기 이익을 위한 반대를 NIMBY(Not In My Back Yard) 증후군이라고 부른다. 이 NIMBY 증후군 현상으로 기본적으로 풍력에너지를 지지하지만 자기 지역에 건설하는 것을 반대한다.
- 풍력터빈의 시각장애에 미치는 요인은 경치 배경, 지역의 지형 및 지역 경관을 포함한다. 풍력발전 단지의 장소를 선정할 때는 특히 해안과 같이 경관을 중요시하는 지역은 피하는 것이 좋다. 풍력터빈은 블레이드가 회전하고 있을 때는 부정적 시각 장애가 강하지 않다. 또 블레이드의 수가 3개 일 때 밸런스를 유지하고, 반시계 방향으로 회전할 때 시각 장애에 더 큰 영향을 주는 것으로 알려지고 있다.
- 풍력터빈은 지역 날씨와 기후에 영향을 미친다. 2,358개의 풍력터빈이 설치된 서부 텍사스 지역에서 8년 동안 데이터를 분석한 결과 온도가 약 0.724℃ 상승하였다. 2100년에 풍력에너지가 세계 총 에너지 수요의 10%를 차지한다면 세계 온도는 약 1℃가 상승할 것으로 예측한다. 풍력단지가 구름과 비의 분포를 변화 시키고, 풍력터빈에 의한 지구 온난화는 온실가스 배출에 의한 효과보다 적은 것으로 예측하고 있다.

3. 풍력 에너지에 의한 환경 이슈의 완화 전략

- 조류 사육 기간에 발전설비 건설을 자제하는 것은 조류 치사율에 미치는 영향을 줄일 수 있다. 블레이드 길이를 길게 하고 회전 속도를 낮추는 등 구조 설계의 개선으로 조류 치사율을 줄일 수 있다. 블레이드에 그림을 그리거나 라이트를 설치하는 것은 치사율과 별로 관련성이 없고, 새가 접근할 때 터빈이 자동으로 정지하는 방법은 에너지 생산을 0.07% 희생하지만 조류 치사율을 50% 감소할 수 있다.
- 풍력발전 단지 장소의 선택도 중요하다. 조류 서식지 또는 철새 이동로로부터 먼 곳에 발전단지를 건설하는 방법으로 조류 피해를 감소할 수 있다. 자연 보존 지역으로부터 최소 300m 이상 먼 곳에 설치하여야 하고, 비디오, 레이더, 음향장비 및 열 이미지 장비를 사용하고 단기적 및 누적적 영향을 고려하고, 철새 이동로를 모델링하여 최적 장소를 선정하여야 한다.
- 해상 풍력터빈 소음은 수면 아래 20m에서는 거의 들리지 않고, 해안에서 8km 이상 떨어진 곳에 설치된 해상풍력터빈에 대한 경관 영향은 거의 무시할 만하다. 그러나 타워 높이가 높아지고 단지 규모가 커지게 되면 소음, 진동, 전자기 간섭, 서식지 분할 등 해상풍력터빈이 해양환경에 미치는 영향을 충분히 고려하여야 한다.
- 에너지 생산과 소음 방출 사이의 균형을 유지할 수 있는 블레이드 최적 설계로 공기역학적 소음을 상당히 줄일 수 있다. 터빈 타워 내부를 절연하면 운전 중 기계적 소음을 효과적으로 감소할 수 있다. 강제 회를 사용하는 특수 기어박스는 소음을 적게 발생한다. 기어박스가 없는 직접구동방식 터빈은 보다 정숙하게 작동하고, 또 저속 변속 터빈은 정속 터빈 보다 소음이 적게 발생된다.
- 풍력발전 단지의 설계 단계에서 경관에 영향을 미치는 다음과 같은 요인을 고려하여야 한다. 그 요인은 경관의 변화를 허용할 수 있는가, 경관에서 풍력터빈이 얼마나 중요하게 보이는가, 풍력 에너지와 심미적 효과 사이의 상관관계가 무엇인가, 그 영향이 얼마나 중요한가의 4가지가 있다. 또 풍력터빈에 의한 그림자 깜빡거림을 예측하여 이를 회피할 수 있도록 풍력단지의 위치를 선정하여야 한다.

4. 결론

- 신재생 에너지는 세계 에너지 문제를 해결할 뿐 아니라, 에너지 공급을 다양화하고, 지역개발의 기회를 제공하고, 국가산업을 진흥하고, 일자리를 창출하는 등 사회 경제적으로 유익한 영향을 줄 수 있다. 그러나 반면에 서식지나 지역사회에 환경적 이슈를 일으키기도 한다. 풍력터빈이 환경에 미치는 영향이 현재는 사소한 문제일지라도 향후 풍력에너지가 주 에너지 원이 될 때에는 심각한 상황이 될 수도 있다.
- 본문에 제시한 바와 같이 풍력단지가 환경에 주는 영향에 대해 좀 더 과학적 연구가 필요하다. 풍력에너지 개척과 관련한 인프라 건설 프로젝트는 경제적, 사회적, 환경적, 생물학적, 생태학적 영향에 대해 충분히 평가하고, 환경에 끼치는 영향을 감소할 수 있는 적절한 대책을 수립하고, 개발자, 기획자 및 정부 관리는 주민들과 충분히 소통하고 환경영향을 축소할 수 있도록 프로젝트를 추진하여야 한다.
- 본문은 풍력발전 산업이 환경에 주는 영향과 실천 가능한 완화대책에 관한 정보를 수집하고, 여러 관점에 대해 요약하여 설명하고 있다. 조류 치사율에 영향을 미치는 요인으로 터빈의 형태, 풍력단지의 지형학적 상태, 조류의 종류, 기후조건 및 기타 변수에 대해 설명하고, 해상풍력단지를 건설할 때는 서식지와 바다 동물 등 해양 환경에 주는 영향을 주의 깊게 고려하여야 한다고 강조한다.
- 풍력터빈에 의해 발생하는 소음 교란을 감소하기 위해서는 풍력발전단지의 이격거리와 소음 제한조건을 준수하여야 한다. 경관에 미치는 시각적 영향을 감소하기 위해서는 사회적 연구와 기술 개발에 주력하여야 한다. 대규모 풍력단지는 지형학적 영향과 전자기적 간섭을 포함하여 기후 및 통신 서비스 분야의 문제를 일으키므로 풍력단지의 계획단계로부터 환경영향의 완화기술과 대책을 충분히 고려하여야 한다.

출처 : Kaoshan Dai, Anthony Bergot, Chao Liang, Wei-Ning Xiang, Zhenhua Huang, "Environmental issues associated with wind energy - A review", *Renewable Energy*, 75, 2015, pp.911~921

◁ 전문가 제언 ▷

- 최근 풍력 에너지가 가장 성숙된 신재생 에너지 기술로 인식되면서 급속히 발전하고 있다. 풍력 에너지의 활용에 흥미를 보이고 있는 국가도 환경에 대한 영향에 큰 관심을 나타내고 있다. 특히 개발도상국의 생태학적으로 취약한 지역에서는 풍력에너지 산업의 지속적 성장과 풍력단지가 환경에 미치는 영향을 종합적으로 이해할 필요가 있다.
- 본문에 풍력단지에 기인하는 환경 이슈에 관한 연구결과를 종합적으로 검토하고, 환경영향을 최소화할 수 있는 완화 대책에 대해 기술하고 있다. 본 연구를 통해 풍력에너지 개발과 관련한 환경 이슈에 대해 최신 지식과 환경영향의 완화전략을 정부 당국자와 풍력에너지 기획자 및 개발자에게 제공하고자 한다.
- 2013년 세계 풍력발전 설치용량은 318GW 이고, 풍력에너지 개발은 환경에 악영향을 미칠 수 있다. 풍력터빈은 조류에 치사율과 폐해 위험을 유발시키고, 소음은 인간에게 수면방해와 청력감소를 일으키고, 그림자 깜빡거림(shadow flickering)은 인간에게 충격을 주고, 경관에 미치는 시각 장애는 풍력산업에 부정적인 견해를 조성할 수 있다.
- 해상풍력발전의 경우 계획단계부터 해양환경에 미치는 영향에 관한 세심한 분석이 필요하다. 건설단계에서 해저면 손상 및 퇴적물 발생, 공사 중에 발생하는 소음과 진동에 대한 조사 분석을 실시하고, 조류의 이동경로 및 해양포유류에 대한 영향, 소음 진동과 관련된 해양생태계에 미치는 영향과 경관 피해 등에 관한 대응책이 마련되어야 한다.
- 일본은 2012년 총 출력이 1만kW 이상인 풍력발전소를 건설하는 경우 소음이나 생태계 등에 미치는 영향을 조사, 지자체 및 중앙정부에 보고 및 의견을 구하도록 하는 정책을 실시하였다. 국내에서도 최근 풍력발전소 건설에 있어서 환경영향이 대두되어 정부의 에너지 정책에 환경적 및 사회적 이슈들을 고려하도록 풍력발전 시설의 환경평가제도 정책수립이 필요하다고 생각한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.