

풍력터빈의 소음 배출과 환경에 관한 영향의 해석

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 문덕홍
(mdh1808@reseat.re.kr)

1. 서언

- 현재 풍력에너지는 전 세계에서 가장 빨리 성장하는 전력 생산 분야 중 하나이다. 2014년에 설치된 풍력발전의 총 용량은 336,327MW이고, 이중 거의 128,751MW가 유럽의 여러 나라에 설치되었다. 세계에 설치된 풍력에너지는 지금 세계 전기 요구의 5% 가깝게 공헌하고 중요하게도 온실가스의 주 원인인 CO₂ 배출을 감소시킬 수 있다.
- 온실가스 발생은 화석연료 사용의 증가 때문에 증가하고 있다. 지난 수세기 동안 전 세계적으로 지구 표면 온도는 0.4~0.5°C 증가하였고, 해수면은 이 기간 동안 매년 평균 1~2mm씩 증가하였다. 전력 분야는 전체 CO₂ 배출의 65%를 차지하고 있는 것으로 알려졌다. 따라서 풍력터빈 발생에너지는 환경적인 조건들을 상당히 개선한다는 것이 분명하다.
- 그러나 풍력에너지 개발은 필연적으로 환경에 부정적 영향을 미치고 있다. 왜냐하면 풍력터빈은 운전 중에 음향소음을 발생시키기 때문이다. 세계보건기구(WHO)는 풍력터빈 환경 영향을 추정할 때에 낮은, 평균, 높은 주파수에서 소음 영향을 평가할 것을 추천한다.
- 이 논문에서 풍력터빈 확산 소음 억제 과정과 환경 배경 소음의 통계 변수 변화의 규칙 패턴의 연구가 제공된다. 방법론이 개발되고, 거주지역이나 다른 선택된 지역에서 풍력터빈 음향 오염의 수준을 예측할 수 있는 수학적 소음전파 모델에 대해 설명한다.

2. 방법론

- 소음은 소음 스펙트럼에 따라서 낮은 주파수(300Hz까지), 평균 주파수(300~800Hz) 그리고 높은 주파수(800Hz 이상)로 구별된다. 인간의 가청 주파수는 16~20,000Hz이다. 인간의 귀는 800~4,000Hz의 소리 주파수를 최상으로 느낀다. 풍력터빈 음향 소음은 주파수와 강도 레벨로 특징 짓는다. 소리 강도는 소리 듣기의 한계 강도에 대한 측정된 소리 강도 의 비를 로그 값으로 취하고 10배한 값을 데시벨(dB)로 나타낸다.
- 풍력터빈이 발생시킨 소음의 강도(dB)는 본문의 추정 식으로 계산한다. 이 추정 식은 풍력터빈에 의하여 퍼진 소음강도(L_w), 로터중심에서 소음 측정위치까지 기울어진 거리(R), 대기흡수계수(α)와 소음 레벨 보정(L_g)으로 구성된다.
- 대기흡수계수 α 의 값은 환경 온도와 음향 소음 주파수에 달려있다. 환경 온도와 소음 주파수의 증가와 더불어 대기 소음의 억제는 증가한다. 소리 파 분산의 속력은 그것이 퍼지는 매개체의 성질에 달려있고, 매개체의 밀도가 높아짐에 따라서 더욱 높아진다.
- 이론적으로 대기흡수계수 α 의 다른 값에서, 풍력터빈까지 거리에 달려 있는 계산된 소음 레벨은, 풍력터빈이 발생시킨 소음 레벨에 관한 계수 α 의 영향이 풍력터빈 타워까지 더 높은 거리에서 더욱 강하게 반영된다는 것을 나타낸다. 육지에 설치된 풍력터빈에 대한 지표면의 영향 때문에 소음 레벨 보정의 크기 L_g 는 해상에서 $-3dB$ 이고 육지에서 $1.5dB$ 으로 고려된다.
- 풍력터빈 소음(L_{pj})과 배경 소음(L_{pA})에 의하여 발생된 전체 강도 레벨은 본문의 식으로 계산할 수 있고, 소음 레벨은 풍력터빈을 건설할 때 거주 지역에서 $45dB$ 을 초과하지 않도록 규범적인 요구에 따라야 한다.
- 실험적인 연구가 풍력터빈 발생 소음의 해석과 이 과정에 관한 배경 소음의 영향에 대해서 수행되었다. 이 실험에 Enercon E-40type 풍력터빈 발전기를 사용하였고, $250kW$ 의 저용량으로 타워의 높이가 $65m$ 인 풍력터빈은 *Kaisiadoriai* 지역에 설치되었고 농지에 둘러싸여 있었다.
- 음향 소음의 측정은 다른 풍속과 풍력터빈 타워까지 다른 거리에서 수행되었다. 타워로부터 거리(R)는 0, 25, 50m 등으로 선택되었다. 지표면에서 $1.5m$ 높이에서 측정 시간은 거의 5분 계속하였다.

3. 결과 및 토론

- 실험연구로부터 풍력터빈 소음 레벨은 배경 소음 레벨에 상당히 좌우된다는 것이 관찰되었다. 이 소음은 인위적 그리고 자연적 요인들로 구성된다. 풍력터빈이 정지 시, 풍속이 12m/s일 때 그리고 풍력터빈 타워로부터 거리가 변화할 때에, 배경 소음 레벨 L_{Aeq} 는 50.3dB에서 56dB까지 변화하여서 거의 $L_{Aeq} \approx 53dB$ 로 고려될 것이다.
- 전체 소음은 두 개의 기본 구성 요소 즉, 53dB의 환경 소음과 획하는 바람 소리 및 풍력터빈 발생 소음으로 구성된다. 실험적 연구는, 타워로부터 미미한 거리의 경우에, 풍력터빈 발생 소음은 전체 소음 레벨에 적게 영향을 미친다고 나타났다. 실험적 결과들은 더 높은 풍속 ($v > 10m/s$)일수록 더 큰 배경 소리를 제공하고, 점차 증가하는 풍력터빈 소음 레벨을 가리는 것으로 나타났다.
- 풍속 12m/s의 경우, 로터 축에서 풍력터빈 소음 레벨은 $L_w \approx 104dB$ 와 같다. 풍속이 감소하면, 풍력터빈에 의하여 발생된 소음 레벨과 바람 배경 소음은 감소한다. 축 레벨에서 풍력터빈 소음은 $v = 6m/s$ 의 경우, $v = 12m/s$ 와 비교할 때, 발생 배경 소음이 36dB로 감소했기 때문에 104dB에서 96dB로 감소하였다. 보고된 실험적 그리고 이론적 계산 데이터는 6m 풍속에서 배경 소음이 풍력터빈 발생 소음보다 분명히 낮다. 풍력터빈 발생 소음 강도 수준은 지형학적 그리고 기상학의 환경조건들에 의하여 분명히 영향을 받는다.
- 16Hz ~ 20kHz 이외의 초저주파나 초음파는 사람이 들을 수 없으나 불쾌함을 느끼고 건강에 해를 끼친다. 그리고 듣기에 대한 압력 맥동의 변화 강도의 레벨은 0 ~ 140dB이고, 140dB보다 더 높은 소음의 소리레벨은 고통을 유발시키고, 듣는 기관을 손상시킬는지 모른다.
- 연구는 풍속 $v \geq 12m/s$ 에서 풍력터빈 발생 소음이 전체 소음에 적게 영향을 미친다. 즉, 풍력터빈 타워로부터 $x = 50m$ 에서 풍력터빈 작동 중 전체 소음은 55.9dB와 같고, 풍력터빈 정지 후에 50.3dB로 감소된다. 그리고 풍력터빈 음향 소음은 200~5,000Hz 주파수 범위에서 발생한다. 이는 인간의 청력에 매우 민감하게 반응하는 범위이다.

- 공간에너지 분산의 경우 소리 원으로부터 거리가 두 배일 때 소리 압력 맥동의 레벨은 $6dB$ 까지 감소한다. 풍력터빈은 열린 형태로 건설되고 건설 중 음향 소음 분산에 대한 좋은 조건들이 개발된다. 구조물 또는 빌딩이 있을 경우, 소음의 팽창은 이들에 의하여 억제된다.

4. 결론

- 이 연구는 현장의 전체 소음을 확인할 때에, 풍속이 함수인 강도 즉 풍력터빈이 발생시킨 소음 그리고 배경 소음 레벨을 추정하기 위한 처방을 나타내었다. 연구결과에 의하면, 풍속 $v = 12m/s$ 이고 풍력터빈 타워까지 거리가 100m보다 더 클 때, 풍력터빈 발생 소음은 배경 소음 레벨과 같다고 추정하였다. 이 경우 환경에 대한 풍력터빈 소음의 영향이 과소평가될 수 있다.
- 측정데이터의 해석에 FFT 알고리즘을 사용해서 풍력터빈 발생 소음이 광대역이라는 것이 밝혀졌다. 발전기로부터 거리가 증가할 경우 소리 압력은 분명히 감소한다. 초저주파, 저주파, 초음파의 주파수의 한계에서만, 소음 스펙트럼 강도가 일반 경향과 작은 차이가 관찰된다.
- 환경 소음 스펙트럼에 있어 가장 큰 변화에 비교되는 압력 맥동 스펙트럼에서의 풍력터빈 발생 소리는 200~5,000Hz에서 일어난다는 것이 밝혀졌다. 초저주파, 저주파(16~200Hz), 초음파 주파수에서 작은 변화만이 관찰된다. 연구는 높은 풍속($v > 10m/s$)에서 풍력터빈 소음이 배경 소음 레벨에 의하여 상쇄된다는 것을 나타내었다.
- 제출된 풍력터빈 발생 소음 레벨의 계산모델은 자연 조건 하에서 실험적 측정에 부합한다. 그래서 이 모델은 평가를 위해서 음향 오염 레벨 지역과 다른 선택된 장소에 적용될 수 있을 것이다.

출처 : Vladislovas Katinas, Mantas Marčiukaitis, Marijona Tamašauskienė, “Analysis of the wind turbine noise emissions and impact on the environment”, *Renewable and sustainable Energy Review*, 58, 2016, pp.825-831

◁ 전문가 제언 ▷

- 풍력터빈 발생에너지는 화석연료로 인한 온실가스의 집중과 증가를 확실
히 완화하는 환경 개선의 효과가 있으나, 거주 지역이나 다른 선택된 지
역에서 풍력터빈의 건설 중 또는 운전 중에 발생하는 음향 소음이 환경에
부정적인 영향을 미치고 있다.
- 풍력터빈 음향 소음은 두 가지 소음 원으로 분류될 수 있다. 기어박스, 나
셀, 회전기구 등 움직이는 부분에 의하여 유발되는 기계적 소음 원과 로
터 블레이드의 유동 때문에 생기는 공기흐름의 변화로 인한 공기 역학적
소음 원으로 나뉜다. 그리고 이들 소음 외에 공장의 바람 유동, 구조 부적
합, 다른 장애물, 수송수단, 새들, 산업 대상물 등에 의하여 조성된 환경적
배경 소음이 존재한다.
- 풍력터빈 발생 소음 레벨은 음향 소음의 기계적 발생과정은 물론 구조요
소들의 공기역학적 현상에 달려있고 이들 풍력터빈 발생 및 배경 소음은
풍속의 함수이다. 풍력터빈 음향 소음은 지표면과 주위 구조물들의 음향
반사 과정 때문에 증가한다. 그리고 기계적 소음과정과 억제 수단은 공기
역학적인 것보다 훨씬 문제를 덜 유발시킨다.
- 본문은 풍속 12m/s 이상에서 풍력터빈 발생 소음이 전체 소음에 적게 영
향을 미친다고 설명한다. 즉, 풍력터빈 타워로부터 50m 거리에서 풍력터
빈의 작동 중 전체 소음은 55.9dB와 같고, 풍력터빈 정지 후에 50.3dB로
감소된다. 그리고 풍력터빈 음향 소음은 인간의 청력에 매우 민감하게 반
응하는 200~5,000Hz 주파수 범위에서 발생한다.
- 풍력터빈이 설치장소가 해상이 아닌 도시의 거주 지역이거나 다른 선택된
지역일 경우, 풍력터빈 발생 소음 또는 환경 배경 소음에 관한 수학적 전
과모델에 관한 다양한 연구와 풍력터빈 확산소음 억제과정에 관한 더욱
심층 연구가 요구된다. 이런 연구 결과는 향후 국내 풍력산업의 성장에
상당히 기여할 것이다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.