

해상 풍력 에너지 평가의 불확실성

Uncertainty on Assessment of Offshore Wind Energy

권순덕†
Soon-Du

1. 서론

풍력발전을 위한 기상자료를 수집하기 위하여 해당 지역에 관측탑을 세우고 실측하는 것이 가장 적절하다. 하지만 이런 경우에도 짧은 기간 동안 측정하므로 샘플 풍속을 바탕으로 작성한 확률분포가 풍력발전기 운용기간 동안에 그 지역에 부는 바람의 확률분포를 대변할 수 있는지 불확실하다. 이럴 때 인근 기상관측소에 장기간 축적된 기상자료를 사용하는 것이 풍속 예측의 오류를 줄일 수 있는 방법이 된다. 따라서 현장에서 풍속을 단기간 관측하고, 인근 기준점의 장기 풍속 데이터와 상관성을 분석하여 현장의 장기간 풍속을 추정하는 것이 합리적이다.

본 연구에서는 단기간 관측한 현장 풍속을 이용하여 합리적인 풍속 확률분포를 추정하고, 이를 바탕으로 불확실성을 고려하여 풍력에너지를 평가할 수 있는 방법을 연구하였다. 이를 위하여 풍력에너지 평가에 영향을 미칠 수 있는 주요한 인자에 대한 확률분포를 제시하였다. 그리고 현장 관측탑에서 단기간 측정된 풍속과 인근 기상관측소에 누적된 장기간 풍속의 상관 관계를 추정하기 위하여 MCP (Measure-Correlative-Predict) 방법을 적용하였다. 현장 연간전력생산량을 추정하기 위해서는 제시한 확률모형과 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 사용하였다. 연구 결과에 대한 예로서 전남 광양만을 대상으로 하여 3MW 급 풍력발전기를 설치할 경우에 대한 풍력에너지 평가의 불확도를 추정하였다.

2. 광양만의 풍황

광양만은 여수와 광양으로 둘러 쌓인 지역으로 남쪽에 여수기상대가 위치하고 있다. 광양만 중앙에는 해양환경을 모니터링하기 위한 해상관측탑이 설치되어 있다. 해상관측탑에서 여수기상대까지는 직선거리 약 17km이다.

† 전북대 토목공학과
E-mail : sdkwon@chonbukac.kr
Tel : (063) 270-2289, Fax : (063) 270-2421

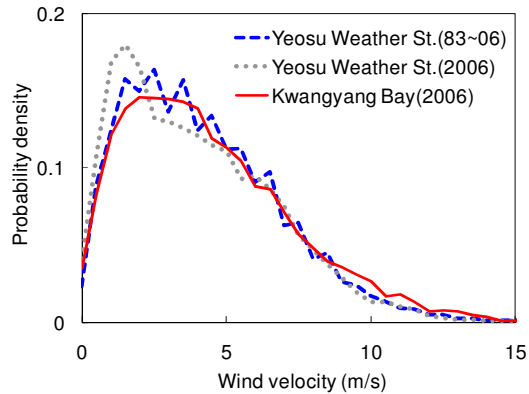


그림 1. 광양만의 풍속 확률분포

3. 각종 변수의 확률분포

3.1 평균풍속

풍력발전을 위한 바람은 일상적으로 부는 바람이며, 이때 풍속을 추정하기 위한 확률분포는 Weibull 분포가 일반적으로 사용된다. 본 연구에서도 Weibull 분포를 사용했다. Weibull 분포를 결정짓는 형상파라미터는 정규분포를 따르며, 표준편차는 다음과 같다.

$$\sigma_k = \bar{k} \times 0.15n^{-0.35} \quad (1)$$

3.2 조도지수

풍력 에너지는 풍속의 세제곱에 비례하므로 고도에 따른 풍속의 추정은 매우 중요하다. 평균풍속의 수직 분포를 추정하기 위하여 지수법칙과 로그법칙이 주로 사용되는데, 본 연구에서는 지수법칙을 사용하였다. 조도지수는 정규분포를 따르며, 덴마크 Tjare의 관측치를 바탕으로 추정된 풍속별 조도지수의 평균과 표준편차는 다음과 같다.

$$\bar{\alpha}(V) = 5\bar{\alpha}(0.37 - 0.0881 \cdot \log_e V) \quad (2a)$$

$$\sigma_{\alpha}(V) = 0.5e^{-0.1V} \bar{\alpha}(V) \quad (2b)$$

3.3 공기밀도

광양만에서 1 년동안 측정된 공기밀도의 확률분포는 아래와 같은 균일 분포이다.

$$f_{\rho}(\tilde{\rho}) = \begin{cases} \frac{1}{1.07-0.94} & , 0.94 \leq \tilde{\rho} \leq 1.07 \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (3)$$

4. 장기풍속의 추정

4.1 MCP 방법

풍력발전기가 설치될 현장에서 짧은 기간 동안 풍속 자료를 수집하고, 이를 인근 기준점(예를 들면 기상관측소)의 누적된 장기 관측 자료를 사용하여 보정하는 것이 합리적이다.

본 연구에서는 기준점의 풍속을 사용하여 현장 풍속을 추정하기 위한 효과적인 방법으로 MCP (Measure-Correlate-Predict) 방법을 사용하였다. MCP 방법은 관측치와 추정치의 평균과 분산을 일치시키기 위하여 선형보간시 기율기와 절편을 현장 및 기준점 풍속의 분산비로 다음과 같이 표현한다

$$\hat{V} = \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_u} \right) U + \bar{V}_s - \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_u} \right) \bar{U}_s + e \quad (4)$$

4.2 단기추정 오차

단기간 관측된 풍속을 식 (4)에 적용하여 풍속을 추정하면 실제 관측치와 차이가 발생한다. 이러한 추정 오차는 정규분포를 따르며, 그 평균과 표준편차는 다음 식과 같다.

$$\bar{e}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{V}_s - V_s) = 0 \quad (5a)$$

$$\sigma_{e_s} = \sigma_{V_s} \sqrt{2(1 - R_{U,V_s})} \quad (5b)$$

5. 풍력에너지의 추정

5.1 풍력성능곡선

풍력발전기 제조사에서 제공하는 성능곡선은 각 풍속별 평균값만 표시한 것으로 실제로는 평균을 중심으로 많이 분포하여 있다. 이러한 성능곡선의 불확실성도 정규분포로 표현 가능하고, 각 풍속에서의 표준편차는 제주도 행원풍력에서 측정한 값을 바탕으로 추정하였다.

5.2 불확도 분석

AEP(연간전력생산량)의 불확실성을 고려하기 위하여 일반적으로 오차의 표준편차를 사용한다. 이와 달리 본 연구에서는 확률모형으로부터 1 년치 매시간 평균풍속을 생성하여 AEP 를 계산한다. 그리고

이를 반복하여 충분한 수의 AEP 를 확보한 다음에 이를 바탕으로 AEP 의 확률분포를 추정한다.

5.3 추정 결과

본 연구에서 수행한 시뮬레이션 결과, 표준불확도는 약 11%로서 유럽과 미국의 510 개 풍력발전소에서 측정된 불확도 12%와 유사하게 나타났다. 그림 2 에서는 기간에 따른 신뢰구간별 연발전량을 보여 주고 있다.

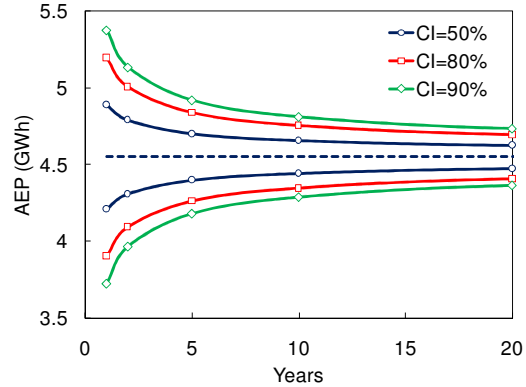


그림 2. 기간에 따른 신뢰구간별 연발전량

6. 결 론

각 변수별로 표준불확도를 더하는 기존 방법과 달리, 본 연구에서는 각 변수별로 확률분포를 도출하고 몬테카를로 시뮬레이션으로 불확도를 추정하였다. 본 연구에서 추정한 표준불확도는 현장 측정치와 유사하여 본 연구의 타당성을 간접적으로 증명해 주고 있다.

참고문헌

1. IEC technical committee 88. International Standard IEC 61400-12-1. Wind turbines. Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. 2005.
2. Tindal A, Harman K, Johnson C, Schwarz A, Garrad A, Hassan G. Validation of GH energy and uncertainty predictions by comparison to actual production. AWEA Wind Resource and Project Energy Assessment Workshop, Portland; 2007.
3. Rogers AL, Rogers JW, Manwell JF. Comparison of the performance of four measure-correlate-predict algorithms. J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 2005;93:243-64.