



3.0MW 풍력발전기 출력 성능 및 불확실성 분석

허수영,^{*1} 김경보,² 허종철³ANALYSIS OF POWER PERFORMANCE AND UNCERTAINTY
FOR A 3.0MW WIND TURBINES.Y. Her,^{*1} K.B. Kim² and J.C. Huh³

In order to clarify the characteristics of power performance and uncertainty of a wind turbine, an investigation was performed in Hangyeong wind farm, Jeju island, Korea. Data were collected for 12 months from Feb. 2, 2008 to Jan. 1, 2009. This study was conducted on the base of the International standard, and observed the methods of measurement and evaluation form IEC 61400-12. As a result, power performance curve was calculated by measured data and compared with the sixth unit of VESTAS V90-3.0MW in Hangyeong wind farms. In consequence of this paper, uncertainty was estimated from 7% to 14% on the range of the average wind speed from 4m/s to 11m/s.

Key Words : 풍력발전기(Wind Turbine), 출력 성능(Power Performance), 불확실성 분석(Uncertainty Anlysis), 공기밀도(Air Density), 정규화(Normalization)

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 고갈 문제로 인해 신재생에너지가 부각되고 있다. 국내에서도 신재생에너지의 풍력에너지가 정부의 지원정책을 시작으로 국내의 투자자들의 관심도 날로 커지고 있다. 이로인해 선진국 대비 약 70%수준의 기술력을 확보하고 있으며 세계적인 추세에 발맞추어 단기(2008~2012), 중기(2013~2020), 장기(2021~2030)로 구분하고 풍력발전 시스템 기술분야, 풍력발전 단지개발 기술분야, 운영 및 연계 기술분야로 세분하여 지속적으로 기술개발을 추진하고 있다.

그러나 우리나라 기술력으로 설계된 풍력발전기를 인증 받을 수 있는 기관이 아직 없고, 풍력발전기를 인증하는 기술력이 미흡하다. 그래서 인증을 해외에 의존 하는 실정이다. 출력성능 평가에 관한 연구는 여러 가지 인증 부분 중에서 출력성능 인증을 해외에 의존 하지 않고 국내에서 출력성능을

평가하고 인증을 받을 수 있는 기술력이 될 것이다.

본 연구에서는 1년여의 기간 동안 얻은 데이터를 가지고 제주 한경 풍력발전기 6호기를 대상으로 IEC 61400-12에서 제시하는 방법을 가지고 성능평가와 불확실성에 대해서 평가 및 분석을 하였다.

2. 지형 특성 및 풍력발전기 사양

2.1 지형 특성 및 풍력발전기 위치

제주 한경 풍력발전단지에서 고려될 발전기의 위치와 그 주변 지형을 다음의 Fig. 1에 보여주고 있다. 제주 한경지역은 한라산을 중심으로 북서쪽에 위치하고 있다. 제주도 전체적으로 북서쪽은 바다와 인접하고 있으며, 남동쪽인 한라산 방향으로는 점차 지표고도가 높아지는 지역으로 되어 있다. 그래서 남동쪽 방향을 제외한다면 거의 모든 방향에서 좋은 바람을 얻을 수 있다.

마스트를 기준으로 동쪽방향으로는 한경 6호기가 설치되어 있고 남쪽 방향으로는 한경 1호기가 설치되어있다. 해발고도는 0~1 m로 매우 낮은 지형형태를 나타내고 있다. 측정 마스트에서 평가대상인 한경 6호기와의 거리는 225 m 떨어진 곳에 설치되어 있고, 한경 1호기와의 거리는 200 m 떨어진 곳

1 제주대학교 풍력특성화대학원

2 제주대학교 기계공학과 대학원

3 제주대학교 기계공학과

* TEL : (064) 754-3623

* Corresponding author, E-mail: youngwind@jejunu.ac.kr

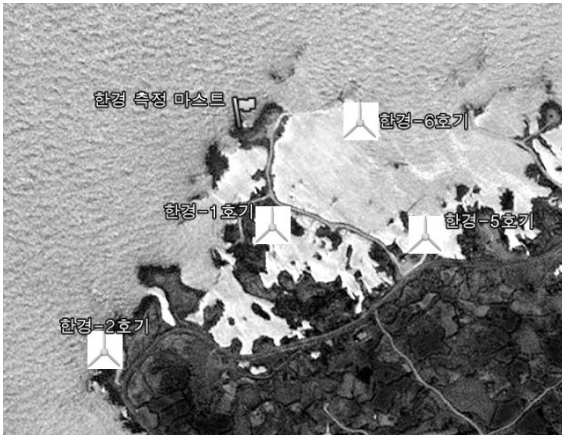


Fig. 1 Point of met. mast and wind turbine

에 설치되어 있다. 그리고 5호기는 400 m 거리를 두고 있으며, 2호기는 490 m 거리를 두고 있다. 평가 대상인 6호기에서 환경 1호기와의 거리는 260 m이고, 환경 5호기와의 거리는 245 m이다. 그리고 2호기와의 거리는 640 m이다.

2.2 풍력발전기 사양

환경 6호기 풍력발전기는 VESTAS V90-3.0MW 이다. 허브 높이는 80m이고, 블레이드 길이는 90m이다. 그리고 출력제어를 피치제어하는 풍력 발전기이다. 다음 Table. 1에서 상세한 풍력 발전기의 사양을 보여주고 있다.

Fig. 2는 VESTAS에서 제공하고 있는 출력곡선이다. Table. 1에 나온 듯이 3.5 m/s에서부터 25 m/s까지 출력량이 나타나

Table 1 Wind Turbine Specification

Wind turbine	VESTAS V90 3.0MW
Roter Diameter	90m
Power Controller	pitch regulated
Swept area	6362m ²
Roter Tilet, Blade coning	6°, 4°
Cut in speed	3.5m/s
Rated wind speed	15m/s
Cut out speed	25m/s
Blades Length	44m
Generator Rated power	60Hz, 3.0MW, 1000VAC
Yawing speed	<0.5°/sec
3-parted Tower	80m

Power curve V90-3.0 MW

Noise reduced sound power modes are available.

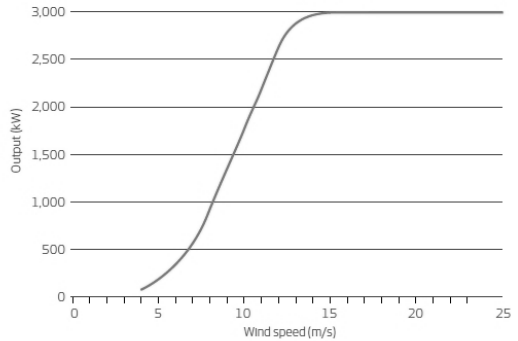


Fig. 2 Power curve V90-3.0MW

고 있으며, 15 m/s에서 부터는 정격출력인 3.0 MW를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

3. 연구 대상 적합성 및 데이터 정규화

3.1 지형 적합성

Table 2는 IEC 61400-12-1에 규정된 바람의 유동변형 영향을 주는 시험 사이트의 지형에 대한 요구사항이다.

본 시험 사이트의 지형 분석결과는 측정방위구간 내 지형의 기울기는 2L 이내 에서는 약 0.4, 2L 이상에서는 1.1정도 나타내고 있고, 지형의 굴곡편차는 모든 경우에 대해서 0.01D를 나타내고 있어, 결과적으로 IEC 61400-12에 적합한 것으로 평가되었다.

Table 2 Test site requirements : topographical variations

거리	구간	최대 기울기	최대 지형편차
<2L	360°	<3*	<0.08D
≥2L and ≤4L	측정방위구간	<5*	<0.15D
≥2L and ≤4L	측정방위 구간 이외 영역	<10*	Not applicable
≥4L and ≤8L	측정방위구간	<10*	<0.25D

주) * : 타워 기초와 구간 내 지형을 동시에 통과하는 최 적합 평면의 최대기울기
 L : 측정 마스트와 발전기간의 거리
 D : 회전자의 직경

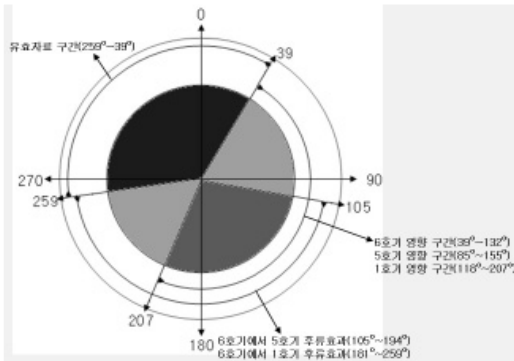


Fig. 3 Disturbed and measurement sector

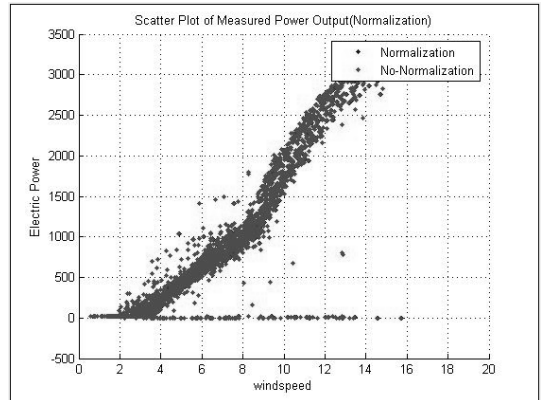


Fig. 4 Wind speed of electric power

3.3 유효방위구간 설정

장애물 또는 인접하고 있는 풍력발전기의 영향으로 교란되는 방위구간을 구하는 식은 IEC-61400-12의 Annex A에 나와 있고 다음의 식 (1)처럼 나타낸다.

$$Disturbed\ sector\ \alpha = 2Arctan\left(2\frac{D_n}{L_n} + 0.25\right) \quad (1)$$

식 (1)에 의해 구해진 교란되는 방위구간들과 영향을 받는 장애물들의 거리, 기준에서 바라보는 시점에 대한 방위, 식 (1)을 이용해 교란되는 방위를 다음의 Table. 3에 나타내고 있다.

측정마스트에서 교란되는 방위구간과 6호기에서 교란되는 방위구간들을 종합하면, 유효방위 구간은 Fig. 4에서 보이듯이 0°~39°, 259°~360°로 설정된다.

3.4 측정 데이터 기간 및 정규화

측정 데이터는 1년 기간인 2009. 2. 1 ~ 2010. 1. 31 사이의 데이터를 사용하였고, 유효방위 구간을 구해서 방위 구간 안에 존재하는 데이터를 추출하여 분석하였다. 그리고 측정 테

Table 3 Range of wind turbine and measurement sector

기준	기상측정 마스트			평가대상 풍력발전기	
	평가대상 풍력발전기	1호기	5호기	1호기	5호기
거리	225m	200m	400m	260m	245m
시점 방위(°)	86°	163°	120°	220°	150°
교란 방위(°)	39°~ 132°	118°~ 207°	85°~ 155°	181°~ 259°	105°~ 194°

이터는 10분 평균, 표준편차, 최대치, 최소치가 측정되어 분석되었다.

측정된 공기밀도 값과 기준 공기밀도 값이 서로 다르기 때문에 측정된 데이터는 IEC 61400-12에서 제시하는 공기밀도 정규화를 해야 한다. 공기밀도 정규화는 다음의 식 (2)에 의해 정규화 된다.

$$\rho_{10min} = \frac{B_{10min}}{R \cdot T_{10min}} \quad (2)$$

평가대상 풍력발전기는 피치제어방식으로 출력을 제어하기 때문에 IEC 61400-12에서 제시하는 피치제어방식 정규화 과정을 따랐다. 피치제어방식 정규화는 다음의 식 (3)에 의해 풍속이 정규화 된다.

$$V_n = V_{10min} \left(\frac{\rho_{10min}}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

4. 연구 결과 분석

4.1 정규화 데이터 분석

Fig. 5는 풍속별로 계산된 출력값을 나타내고 있다. 계산된 출력을 평균화하여 곡선으로 표현하면 측정된 데이터를 가지고 만들어낸 출력곡선이 된다. Fig. 5에서 보이는 빨간점은 정규화 전 데이터를 나타내고, 파란점은 정규화 후 데이터를 나타내고 있다. Fig. 5를 통해 정규화 전과 후의 변화가 미세하다는 것을 알 수 있다. 이것은 평균밀도(1.225kg/m³)하고 측정된 밀도(1.222kg/m³)의 값 차이가 0.003kg/m³ 으로 작기 때문에 정규화 전, 후의 데이터 값 차이가 미세하게 나타난 것이다.

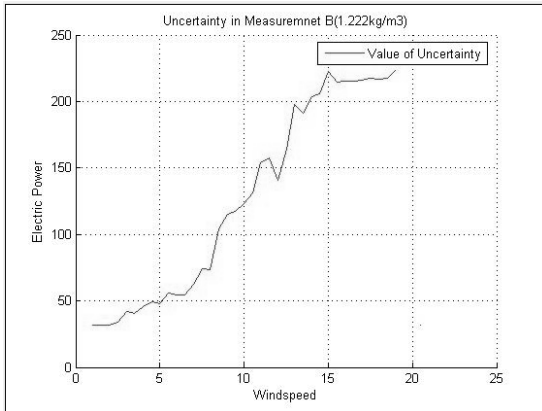


Fig. 5 Combined uncertainty

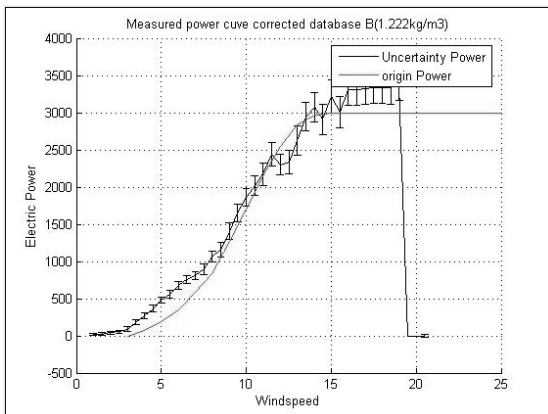


Fig. 6 Measured power curve

4.2 불확실성 분석

Fig. 5에 풍속별 불확실성을 나타내었다. 풍속이 증가에 따라 불확실성이 높아지고 있음을 알 수 있고, 8m/s ~ 13m/s 사이에서는 불확실성 증가량이 가장 높아지고 있으며, 15m/s부터에서는 불확실성이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이것은 불확실성이 풍속에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 제조사 측 출력성능 곡선과 실측 출력성능 곡선을 나타내고 있다. 대체적으로 실측 출력성능 곡선이 제조사 측 출력성능 곡선보다 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 또한 정격출력 이후 출력량이 3.0MW를 넘어가고 있는 것을 볼 수

있다. 이것은 발전량이 높아짐에 따라 불확실성 또한 높아져서 정격출력 부분에서는 3.0MW를 넘는 모습을 보이고 있다.

5. 결론

제주도 한경지역에 설치된 3.0MW 풍력발전기를 대상으로 IEC 61400-12에 의거하여 유효방위각 구간을 찾아냈으며 공기밀도의 차이에 의해서 IEC 61400-12에서 제시하는 정규화 과정을 통해 풍속 데이터를 일반화 하였다.

측정대상 발전기는 피체제어방식을 가지고 있어 측정된 풍속을 정규화를 해야 했다. 그러나 측정된 공기밀도와 기준 공기밀도와와의 차이가 별로 없어 정규화된 데이터의 변화는 미세한 변화만 있었다.

불확실성 분석결과 풍속이 증가할수록 불확실성이 증가하고 있으므로 높은 풍속일수록 풍력발전기의 출력성능의 신뢰도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 한경 6호기에서는 평균 풍속 4m/s에서 11m/s 까지의 불확실성이 7%에서 14%정도로 분석되었다.

참고문헌

- [1] 2008, 김준철, “풍력발전시스템 출력성능 평가 및 불확실성 평가에 관한 연구,” 석사학위논문, 제주대학교.
- [2] 2004, KS C IEC 61400-12 Wind Turbine Generator Systems - Part 12 : Wind Turbine Power Performance Testing.
- [3] 2004, KS C IEC 61400-1 Wind Turbine Generator Systems - Part 1 : Safety Requirements.
- [4] 2006, 고정남, 허종철, 풍력공학입문, 문운당.
- [5] 1999, 이영호, “ISO에 의한 불확실성 해석의 기초 및 적용,” 대한기계학회 1999년도 춘계학술대회 논문집, B pp.8-19.
- [6] 1990, IEA, IEA Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation Power Performance Testing (2nd Ed.).
- [7] 1994, Gemanischer Lloyd, Testing of Wind Turbines.
- [8] 2004, 허종철외, 제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가, 제주도청.