

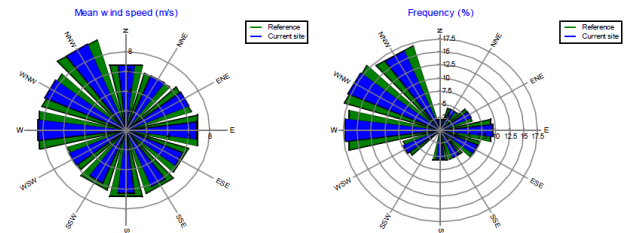
풍력발전기 출력성능 평가에 대한 연구

고석환*, 장문석**
한국에너지기술연구원*, 한국에너지기술연구원**

The Study about Performance Test of Wind turbine

Suk-Whan Ko*, Moon-Seok Jang**
Korea Institute of Energy Research*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract - In this paper, The case of power performance test for 3MW wind-turbine system is introduced. For the verification of power curve and the certification of wind-turbine, power performance test is very important. This paper described the power testing results of a 3MW wind turbine and analysed an uncertainty about the testing. The measured power curves are very closely coincide with the calculated. Total uncertainty of measured data for Power Curve is 120~200kW in the rated power.



<그림 1> 단지의 방위별 평균풍속 분포 및 빈도 수

1. 서 론

1980년대 초부터 풍력발전시스템의 제작기술이 급속히 발달하여 2010년 말 현재 전 세계적으로 199,520MW 풍력발전설비가 보급되어 연간 전력생산량이 409.91TWh이상 발전하고 있다. 풍력발전설비의 실용화 보급에 치중되면서 보다 경제적이고 신뢰성 있는 풍력발전기의 개발에 노력하고 있으며, 국내에서도 대형풍력발전기의 개발이 완료되어 보급되고 있는 상황이다. 또한, 국산화 개발 풍력발전기의 성능 시험도 해외 성능평가기관에 의뢰하여 인증획득을 위한 노력에 박차를 가하고 있다.

본 논문에서는 풍력발전성능평가단지의 모니터링 시스템에 계측된 데이터를 활용하여 풍력발전기 출력성능 평가 항목을 분석, 고찰하여 설계시 제안된 풍력발전기 출력곡선과 성능시험 결과의 값을 비교하였으며, 풍력발전기 출력성능평가의 사례를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

육상풍력실증연구단지에서 성능평가를 실시한 풍력발전기의 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 풍력발전기 사양

풍력발전기 Model	3MW WinDS3000
허브 높이(H)	80m
로터 직경(D)	91.3m
정격 출력(MW)	3MW
설치 일자	2009.10

풍력발전기 성능평가단지의 주위 지형은 완만하며, 해안가에 바로 연결하여 위치하고 있으며, 주 풍속 방향에는 어떠한 장애물도 존재하지 않는다. 또한, 성능평가에 있어 가장 중요한 것이 풍속을 측정하기 위한 기상탑인데, 기상탑의 설계는 IEC 61400-12-1의 Annex.G 풍속예란 조건이 0.5% 이내로 측정이 가능하도록 설치가 되었으며, 풍력발전기와 기상탑 사이 거리는 로터직경의 2.5배이다.

2.1.1 단지의 풍향자료 분석

실증연구단지의 풍향분석을 해보면, [그림 1]과 같다. 우측은 풍속의 빈도 방위를 나타내고 있는데, 주 풍향 방위가 북서방위를 알 수가 있으며, 고품속 데이터도 북서 방위를 알 수가 있다. 본 단지의 년평균 풍속은 허브높이 80m에서 6.5m/s이며, 방위별로 가장 강한 바람이 계속되었던 방위는 북북서(330°) 방위로 9.51m/s, 서북서(300°) 방위에서 8.45m/s의 평균 풍속을 기록하고 있고, 풍속의 빈도수는 북북서(330°) 방위에서 전체의 16.9%, 서북서(300°) 방위에서 18.1%, 서쪽(270°) 방위에서 16.7%가 계속되었다. 풍향 자원 분석은 WinPro V2.0을 사용하여 수행하였다.

2.1.2 성능평가 유효각 산정

3MW 풍력발전기의 성능평가의 측정 유효각의 산정은 성능평가 중인 풍력발전기 인근의 장애물의 영향성을 배제하여 출력성능 커브 곡선의 유효범위를 정하는 것이다. 본 논문에서는 [1]의 Site Assessment 자료를 참고하여 유효각을 산정하였으며, 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 출력성능 커브 곡선의 유효 각

대상	X ¹	Y ²	D ³	거리	방향	Wake	
	[m]	[m]	[m]	[D]	[degree]	[degree]	[degree]
Met mast sheltered							
Turbine 2	0	0	91.3	2.5	146	109	184
Other WG	1234	-7	70	19.6	98	83	114
Met mast undisturbed						185	82
WTGS sheltered							
Other WG	1234	-7	70	17.6	90	74	106
WTGS undisturbed						107	73
최대 측정 유효 구간						185	73

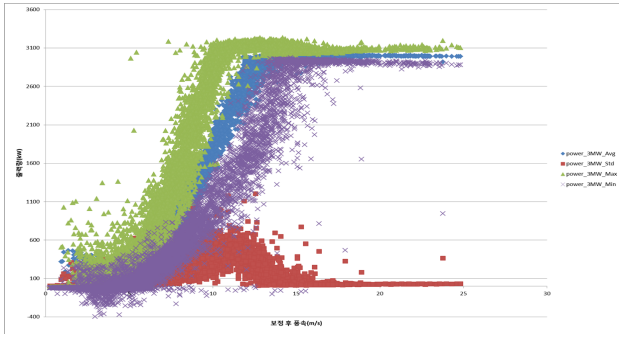
2.2 출력성능의 측정 및 분석

측정 데이터는 1Hz 또는 그 이상의 샘플링율로 연속적으로 수집이 된다. 공기밀도와 대기압, 풍력발전기 및 풍력발전기 상태가 측정되는 경우 최소한 1분당 1회 샘플링률로 수집을 하였으며, 자료수집시스템은 통계 처리된 10분 평균값, 표준편차, 최고값, 최저값 자료를 저장하였다. 또한, 자료 정규화 방법은 IEC 61400-12-1에서 정한 방법에 따라 시험 자료를 정규화 하여 처리하였다. 측정된 풍향 데이터 값은 표준공기밀도인 해수면 공기밀도를 사용하여 풍속측정 데이터값을 정규화 하여야 한다. 또한, 능동 출력제어를 수행하는 풍력발전시스템에서는 측정된 풍속을 식(1)을 사용하여 다시 정규화 하여야 한다.

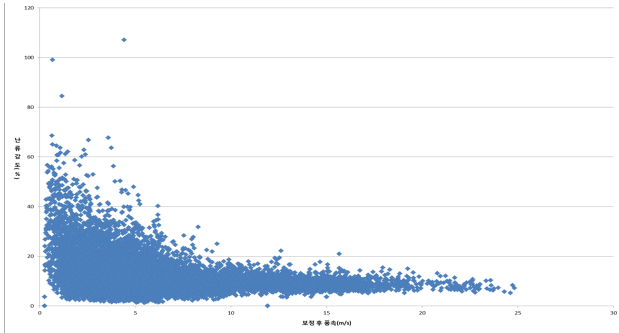
$$V_n = V_{10} \min \left(\frac{\rho_{10} \min}{\rho_0} \right)^{1/3} \quad \text{식(1)}$$

V_n 은 정규화된 풍속이며, V_{10} 은 10분 평균풍속, ρ_0 는 기준 공기밀도, $\rho_{10} \min$ 은 측정된 10분 평균 공기밀도이다.

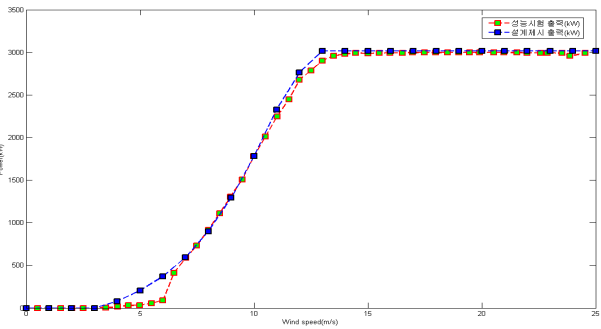
본 논문에서 측정된 시험 자료군은 2010년 01월 01일부터 2011년 4월 01일 까지의 10분 평균 데이터를 활용하여 분석을 실시하였으며, 이때, 풍력발전기의 운전이 정지된 자료는 배제하여 분석을 실시하였다. 본 논문에서는 풍력발전기의 가동상태 정보 값의 부재로 인하여 저풍속에서의 출력성능 측정에 오차가 발생할 소지가 있다.



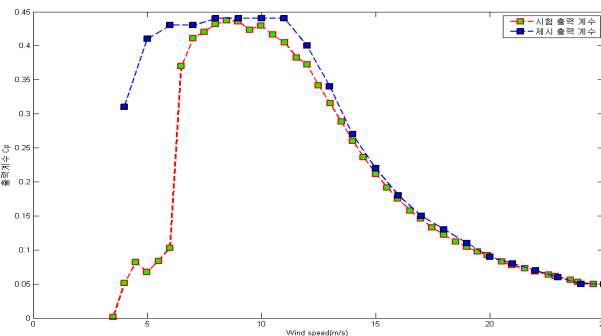
〈그림 2〉 보정풍속에 대한 출력 측정 자료군



〈그림 3〉 보정풍속에 대한 난류강도 분석



〈그림 4〉 설계 제시 및 성능시험 출력곡선의 비교



〈그림 5〉 설계 제시 및 성능시험 출력계수의 비교

[그림 2]는 유효각 및 풍력발전기 운전이 유효한 데이터 값을 추출하여 본 논문의 분석에 사용된 보정 풍속 대비 출력량을 나타낸 그림이다. 데이터의 값은 10분 평균, 표준편차, 최대, 최소값의 데이터 군으로 이루어져 있다. [그림 3]은 성능평가단계 풍속의 난류 강도를 나타내고 있다. 고풍속의 조건 약 10~15% 구간의 값이 계속되었음을 확인할 수가 있다. [그림 4]는 설계 시 출력곡선과 성능시험 측정 시 출력곡선을 비교하고 있다. 전구간에서 설계 제시 값과 동일하게 출력이 되었음을 확인할 수가 있다. 그러나, 저풍속 구간(약5~6m/s)에서 설계 값보다 성능측정값이 낮은 것을 확인할 수가 있는데, 이는 풍력발전기 운전 상태정보 값의 부재로 인한 데이터 정규화의 오류로 말할 수가 있다. [그림 5]는

출력계수의 비교를 나타내고 있다. 저 풍속에서는 설계값 보다 낮고 고풍속에서는 설계값과 거의 동일함을 확인할 수가 있었다. 또한, 설계 제시 및 성능측정 출력곡선의 비교를 위하여 <표 3>과 같이 표준대기 상태에서 편차값을 합성 표준불확도와 비교하였다. 5~6m/s 범위만 편차가 발생되고 있는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 풍력발전기의 가동률이 적어서 연간 에너지 생산량에 대해서는 고려하지 않았다.

〈표 3〉 표준대기상태의 제시 및 측정 출력곡선 비교

Bin. No	풍속 (m/s)	측정출력 (kW)	제시출력 (kW)	합성 불확도(kW)	편차(%) (측정/제시)
8	4.01	13.33	78.90	12.96	16.90
10	5.00	33.80	203.70	12.56	16.59
12	6.00	90.46	368.40	20.46	24.55
14	7.02	585.98	596.60	85.17	98.22
16	8.00	916.27	900.80	105.60	101.72
18	8.98	1307.29	1292.70	128.35	101.13
20	9.99	1781.70	1781.20	190.85	100.03
22	11.02	2246.89	2392.20	175.68	93.93
24	12.00	2678.51	2764.60	205.60	96.89
26	13.01	2901.69	3015.80	102.79	96.22
28	14.01	2978.16	3015.80	34.16	98.75
30	15.02	2988.48	3015.80	29.83	99.09
32	15.97	2993.49	3015.80	30.00	99.26
34	16.97	2995.67	3015.80	29.85	99.33
36	17.99	2996.74	3015.80	29.94	99.37
38	19.00	2998.29	3015.80	29.92	99.42
40	19.90	2996.73	3015.80	30.07	99.37
42	20.97	2998.45	3015.80	29.93	99.42
44	21.98	2994.96	3015.80	29.88	99.31

3. 결 론

본 논문에서는 풍력발전성능평가 단계에서 수행된 풍력발전기의 성능평가 사례를 소개를 하였으며, 계속된 데이터를 통한 데이터 정규화 작업을 통하여 데이터를 보정하여, 설계 제시된 출력곡선과 성능시험의 출력곡선의 비교 등을 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.

- 1) 시험단계의 입지조건이 양호하여 24.5m/s의 풍속범위까지 성능시험을 완료할 수 있었으며, 설계 제시된 출력곡선과 비교해서 아주 일치한 시험결과를 도출하였다. 단, 저풍속구간에서 시험값이 설계값보다 낮은 것은 풍력발전기 상태정보의 부재로 인한 것이다.
- 2) 제시된 출력계수 곡선과 측정된 출력계수 곡선과의 비교에서는 비교적 낮은 풍속에서 차이가 발생하고 있으나, 약 8m/s 이상의 높은 풍속 상태에서는 점차적으로 일치하고 있음을 확인할 수가 있었다. 저풍속 상태에서는 출력계수 자체는 매우 미세한 수치로 풍력발전시스템의 성능에 직접적인 영향을 준다고 할수 없다.
- 3) 측정된 출력곡선의 합성 불확도는 9~13m/s 구간에서 출력값의 10% 범위 값을 갖는 100~200kW 정도를 보이고 있으며, 고풍속으로 갈수록 1%이내의 값인 30kW 값 정도를 보이고 있다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(신재생에너지개발사업)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(과제번호: NP2009-0045)

[참 고 문 헌]

[1] 김건훈 외, "3MW 풍력발전시스템 출력성능 및 불확도 분석", 한국태양에너지학회, Vol.30, 10~15, 2010
 [2] IEC 61400-12(1st), Wind turbine generator systems-Part 12 : Wind turbine power performance testing, Feb. 1998
 [3] IEC 61400-12-1 Wind turbines(1st ed.)- Part 12-1-1 : Power performance measurements of electricity producing wind turbines, Dec.2005.