

풍력터빈시험을 위한 실증시험장 개발에 관한 연구

문채주*, 장영학**, 소순열***, 김태곤****, 김영곤*****, 정문선*****, 정승원*****

*목포대학교 스마트그리드연구소, 전기공학과(cjmoon@mokpo.ac.kr),
**목포대학교 스마트그리드연구소, 제어로봇공학과(yhchang@mokpo.ac.kr),
***목포대학교 스마트그리드연구소, 전기공학과(syso@mokpo.ac.kr),
****목포대학교 스마트그리드연구소, 전기공학과(aicode@naver.com),
*****목포대학교 스마트그리드연구소, 전기공학과(middlesk@nate.com),
*****목포대학교 스마트그리드연구소, 전기공학과(suny3124@nate.com),
*****전남 테크노파크(swjeong@jntp.or.kr)

A Study on Development of Test Site for Wind Turbine Prototype Test

Chae-Joo Moon*, Young-Hag Chang**, Soon-Yeol So***, Tae-Gon Kim****,
Young-Gon Kim*****, Moon-Seon Jeong*****, Seong-Won Jeong*****

*Smartgrid Research Institute, Dept. of Electrical Engineering of Mokpo National University(cjmoon@mokpo.ac.kr),
**Smartgrid Research Institute, Dept. of Control & Robot Engineering of Mokpo National University(yhchang@mokpo.ac.kr),
***Smartgrid Research Institute, Dept. of Electrical Engineering of Mokpo National University(syso@mokpo.ac.kr),
****Smartgrid Research Institute, Dept. of Electrical Engineering of Mokpo National University(aicode@naver.com),
*****Smartgrid Research Institute, Dept. of Electrical Engineering of Mokpo National University(middlesk@nate.com),
*****Smartgrid Research Institute, Dept. of Electrical Engineering of Mokpo National University(suny3124@nate.com),
*****Jeonnam Technopark(swjeong@jntp.or.kr)

Abstract

It is evident that in the wind energy business as an economic activity there is a close relationship between the wind speed and the revenues. The wind turbine test facility for wind turbine accreditation is intended to be used by the industry for testing of both main components and systems. This paper suggest the wind test site for certification of prototype wind turbine with international regulations. The test site has an environmental permit for wind turbines with a maximum hub height of 120m and a rotor diameter up to 120m, and can accommodate prototypes with installed electrical powers up to 5MW each. A wind turbine manufacturer can lease the location for a period of type certification. And also researchers are the development of new methods for measuring the influence, performance and durability of the components, a mathematical and numerical modelling of component responses by using the site.

Keywords : Wind Energy(풍력에너지), Wind Turbine Test(풍력터빈시험), Wind Turbine Certification(풍력터빈인증), Performance Evaluation(성능평가), Meteorological Mast(기상탑)

submit date : 2013. 2. 15, judgment date : 2013. 2. 24, publication decide date : 2013. 4. 19
communication author : Chae-Joo Moon(cjmoon@mokpo.ac.kr)

1. 서 론

전 세계적으로 많은 풍력발전기가 개발되어 보급되고 있으며, 1980년 대 초부터 활발하게 보급되기 시작한 풍력시장은 2011년 설치용량 41.712MW와 누적설치용량 241GW를 나타내고 있다.[1] 개발된 풍력발전기를 상용화하기 위해서는 인증을 통한 성능평가 절차를 거쳐야 한다. 인증단계는 설계인증, 부품인증 및 시스템 인증이 있으며, 인증된 풍력터빈을 현장에 설치하여 실증시험을 통한 track record를 확보한 경우에 비로소 상용화에 대한 검증이 완료된 것으로 간주한다. 풍력발전기의 성능평가는 IEC 규정에 기초한 설계와 제조로 성능평가기관의 요구조건에 만족하는지에 대한 평가로써, 출력성능시험에 대하여 IEC 61400-12-1에 의해 출력성능 특성을 측정하는 방법 및 절차에 대하여 규정하고 있다.[2]

한편, 풍력발전기 성능평가를 위한 평가기관으로 시험기관으로는 미국의 NREL과 NWTC, 독일은 GL과 DEWI WINDTEST 그리스는 CRES에서 덴마크는 RISø와 ROSKILED, 네덜란드는 ECN, 영국은 Garrad-Hassan 등이 있으며, 국내는 한국에너지기술연구원과 한국표준과학원 등이 있다. 성능평가를 기반으로 한 인증기관은 독일의 GL, DEWI-OCC, TUV가 있으며, 덴마크의 DNV, 미국의 UL, ABS, 중국의 CCS, 영국의 LR 등이 있으며, 국내는 한국선급(KR)이 있다. 최근 국내 인증은 소형과 대형 풍력터빈 모두 에너지관리공단에서 인증을 수행하고 있다.

인증은 IEC (International Electrotechnical Commission) 국제규격에 따라 성능평가 기관을 통해 작성된 데이터를 토대로 인증기관(certification body)으로부터 각 단계별로 인증서(certificate)를 취득해야 하며, 성능평가 기관에서 측정된 하중, 출력성능, 전력품질, 구조적인 안전성, 소음 및 기타 특성 등의 실

험 결과를 바탕으로 한 인증은 국제적으로 공인된 기준과 부합됨을 의미한다.[2], [3],[4],[5] 시스템 인증을 거친 풍력발전기로 조성되는 풍력발전단지에는 그림 1과 같이 최종적으로 사업인증(Project Certification) 절차를 거칠 수도 있다.

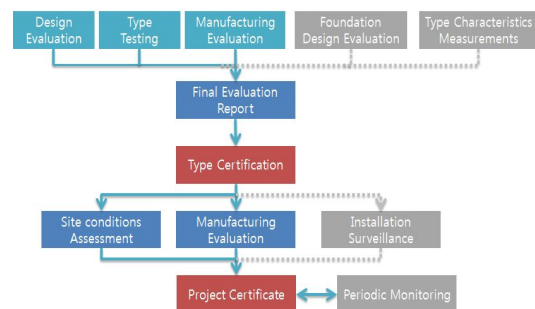


Fig. 1. Scope of Certification

본 연구에서 추진하는 풍력발전기의 성능평가를 위한 실증시험장은 영광군 백수읍 하사리 공유수면에 해당하며, 2008년 DEWI에서 현장조건에 대한 인증을 받은 지역이다.[6] 설계기준과 현장에서 측정된 풍황자원에 근거하여 5기의 풍력발전기의 성능을 평가하기 위한 기상탑 설치위치를 선정하고, 이를 바탕으로 선정된 지점에 120m 대형기상탑 2기를 구축한다. 설치된 기상탑을 통해 얻어진 최근 1개월간 수집된 풍황자원의 분석결과를 통하여 풍력터빈의 성능시험 현장조건을 분석하고 국제적인 성능평가 실증시험장으로 적합성을 확인하고자 한다.

2. 성능평가용 대형기상탑 설계

2.1 대형기상탑 설치위치 선정

대형기상탑의 설치 위치는 먼저 성능평가용 풍력발전기 위치를 선정된 이후 결정한다. 설치위치를 선정하기 위하여 2010년 12월 07일 부터 2011년 12월 07일까지 1년간 풍황을

측정하였으며, 80미터 높이에 풍속계, 78미터 높이에 풍향계를 설치하였다. PPT(Power Performance Test)와 MLT(Mechanical Load Test)를 측정하기 위한 풍향자료의 빈도수는 표 1과 같이 나타났다.

Table 1. Frequency of Wind Speed.

Hub Height Wind speed	Frequency	Hub Height Wind speed	Frequency
0.5	1529	15.5	255
1	1523	16	203
1.5	1798	16.5	169
2	2273	17	119
2.5	2605	17.5	70
3	2747	18	57
3.5	2935	18.5	39
4	2928	19	29
4.5	2846	19.5	22
5	2853	20	16
5.5	2858	20.5	10
6	2764	21	10
6.5	2684	21.5	9
7	2447	22	5
7.5	2368	22.5	4
8	2110	23	5
8.5	1876	23.5	6
9	1527	24	7
9.5	1456	24.5	2
10	1354	25	9
10.5	1134	25.5	1
11	930	26	2
11.5	762	26.5	1
12	681	27	0
12.5	579	27.5	0
13	548	28	0
13.5	457	28.5	0
14	367	29	0
14.5	306	29.5	0
15	265	30	0

또한 15[m/s]에서의 난류는 0.08이며, 그림 2와 같이 풍속에 따라 난류강도가 감소한다.[7]

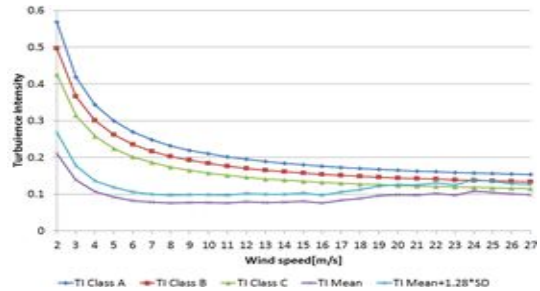


Fig. 2. Turbulence Intensity

풍향조건에서 그림 3과 같이 주풍은 북서풍이며, 에너지밀도는 주로 북풍방향이 높게 나타난다. 고풍속대는 여름철 태풍에 의해 주로 남풍으로 나타난다.

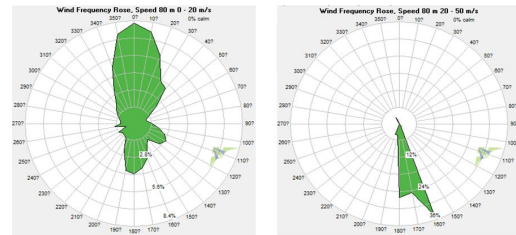


Fig. 3 Wind Rose

풍력발전단지 설계프로그램인 WindPRO와 WASP tool을 이용한 시뮬레이션 결과와 인증기관인 DNV의 검토를 통해 간섭과 후류를 고려하여 풍력발전기 설치위치를 결정하였으며, 설치위치에 따른 방위각은 그림 4와 같이 계산하였다.



Fig. 4. Installation Positions of Wind Turbines.

IEC규정에 의하면 기상탑과 풍력발전기 이격거리는 2D에서 4D 사이이며, 2.5D를 추천하고 있다.[8]

국내외적으로 상용화된 제품은 2~3MW급이며, 국내의 경우 환경 및 지형적 요인으로 인하여 여러 풍력발전기를 동시에 성능평가하기에는 힘든 현실이다. 제약적인 공간에 국내에서 개발되는 각기 다른 풍력발전기를 동시에 성능평가를 위해 그림 5와 같이 설계를 하였다.

5MW급 이하 풍력발전기 설치 위치를 고려한 대형기상탑 설치위치는 그림 5와 같이 점선으로 그려진 타원 전방에 위치한다. 현장의 지질조사 결과를 근거로 기상탑 설치위치를 선정하였다.



Fig. 5. Calculated Positions of Met. Mast A & B.

선정된 기상탑 설치위치는 영광군 백수읍 하사리 지번 1874-4의 A호기는 좌표 위도 35°17'15.39" 경도 126°20'34.08", 지번 1788의 B호기는 좌표 위도 35°17' 8.11" 경도 126°21'28.33"에 위치한다.

2.2 기상탑 설계

대형기상탑 상부의 풍속에 의한 기울기를 최소화하고, 제작 및 시공성의 편의를 위해서 지선을 사용하였다. 센서를 설치하기 위한 Boom의 설계는 IEC 61400-12-1의 Annex G(Mounting of Instruments on the Meteorology Mast)의 설치기준을 적용하였다. [2],[3],[4],[5],[8]

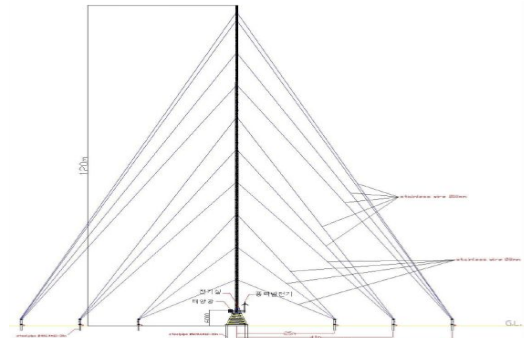


Fig. 6. Design of meteorological mast design.

설계된 구조물에 대한 구조해석 및 분석, 기초공사와 기초구조물 해석과 센서 및 전원 공급장치, 항공장애등과 같은 기타 부속물이 설치되도록 그림 6과 같이 설계하였다.[9]

2.3 기상탑 기초

지지구구조물의 기초(Foundation)는 콘크리트 파일을 천공과 타설을 통하여 설치하였다. 주 지지구구조물에 4개, 각 지선에 3개씩 총 9개를 설치하였으며, 설치지역의 특성을 고려하여 하부구조물을 설치하였다. 그림 7은 설치된 기초와 지지구구조물을 나타낸 것이다.



Fig. 7. Foundation & Substructure for Tower Supporting.

2.4 기상탑 시공

기상탑 설치는 설계기준과 시공절차에 따라 기초구조물 설치, 앵커볼트 시공, 타워 조립 및 시공과 함께 지선을 설치하였다. 첫 번째 지선은 건립의 안전성을 위하여 지면의 약 27M 상부위치에 설치하고, 조임의 세기를 강하게 인가하여 지지 안전도를 높인 이후 두 번째 지선부터 마지막 지선까지 15M 높이의 간격으로 설치하여 3방향의 장력을 고르게 하여 타

위가 수직을 유지하도록 시공하였다. 기상탑과 지선설치가 완료된 후 센서 분대, 센서 및 데이터 로거, 전원공급장치 등을 설치하였다. 그림 8은 설치된 2개의 대형기상탑을 나타낸 것이다.

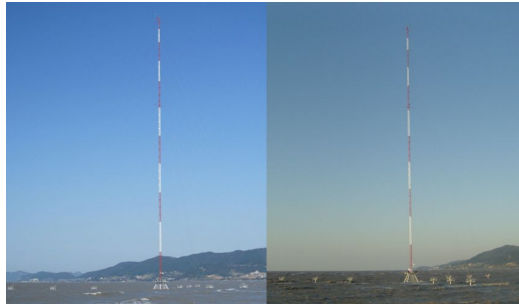


Fig. 8. Implemented Met. Mast A & B.

3. 풍황자원 수집 및 분석

3.1 풍황자원 수집

구축된 대형기상탑을 통해 2012년 10월 20일부터 2012년 11월 19일까지 30일간 수집된 120M 대형기상탑 2기의 120m, 80m 풍속 데이터를 수집하였다.

3.2 풍황자원 분석

구축된 2기의 대형기상탑의 풍황을 살펴보면 저풍속대에서는 주로 북풍이 나타나고 고풍속대에서는 북서풍이 주로 그림 9와 같이 나타난다.

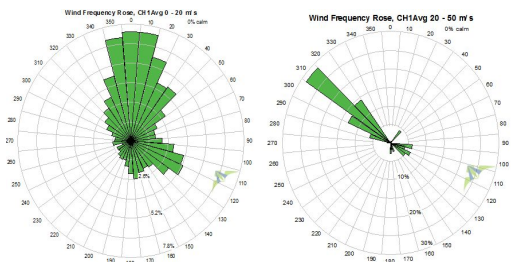


Fig. 9. Wind Rose for Met. Mast.

구축된 2기의 대형기상탑의 일 평균풍속 값을 비교한 결과 기상탑 A호기가 기상탑 B

호기에 비하여 다소 높게 나타났다.

Table 2. Wind Speed Data of Met. Mast A & B.

Day	Mat mast A_120m	Mat mast B_120m	Mat mast_120m_Average	Mat mast A_80m
10.21	3.49	3.46	3.47	3.62
10.22	11.85	11.28	11.56	11.14
10.23	9.94	9.77	9.86	9.78
10.24	4.49	3.99	4.24	4.11
10.25	3.60	3.63	3.62	3.83
10.26	4.18	4.08	4.13	3.77
10.27	10.82	10.74	10.78	9.86
10.28	9.65	9.60	9.62	9.40
10.29	6.54	6.56	6.55	6.38
10.30	10.00	9.85	9.92	9.79
10.31	7.74	7.76	7.75	7.63
11.01	10.95	10.84	10.90	10.60
11.02	3.97	3.71	3.84	3.54
11.03	3.55	3.57	3.56	3.14
11.04	10.16	9.88	10.02	9.20
11.05	6.38	5.87	6.13	5.80
11.06	11.85	11.84	11.85	11.58
11.07	9.11	8.93	9.02	8.94
11.08	3.42	3.25	3.34	3.16
11.09	3.84	3.55	3.70	3.31
11.10	6.81	7.08	6.94	5.89
11.11	13.52	13.83	13.67	13.13
11.12	11.00	11.33	11.17	10.50
11.13	10.76	10.89	10.82	10.60
11.14	12.26	12.20	12.23	12.02
11.15	6.09	5.83	5.96	5.94
11.16	2.58	2.64	2.61	2.92
11.17	10.18	10.16	10.17	10.02
11.18	5.44	5.52	5.48	5.39
11.19	9.50	9.32	9.41	9.21
11.20	6.99	6.69	6.84	6.64
Average	7.76	7.67	7.71	7.45

표 2와 같이 120m 높이의 1개월간 측정된 평균 풍속은 A호기 7.76m/s, B호기 7.67m/s를 나타내며, 80m 높이에서 측정한 값은 7.45m/s를 나타낸다.

A호기와 B호기를 평균한 값과 A호기를 비교한 그래프는 그림 10과 같고 120미터 측정 데이터와 80m 측정 데이터를 비교한 그래프는 그림 11과 같다.

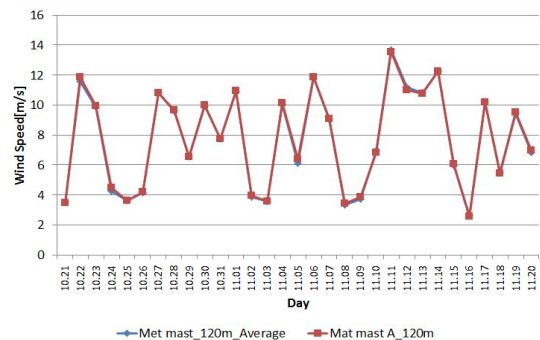


Fig. 10. Comparison of Wind Speed between Met. Mast A And B under 120m.

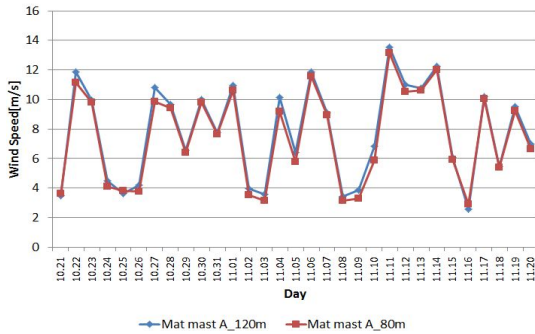


Fig. 11. Comparison of Wind Speed between Elevation 120m and Elevation 80m of Met. Mast A respectively.

3.3 실증시험 조건 분석

측정된 데이터는 1개월에 해당하므로 최소 1년간 데이터를 확보하여야 실증시험 조건을 확인할 수 있으며, 실증시험에서 가장 중요한 PPT(Power Performance Test) 측정방법은 다음과 같이 수행되어야 한다.

- o cut in 풍속 - 1m/s ~ 1.5m85%rated 풍속
- o 약 2.5m/s ~ 17.5m/s 내에서 0.5m/s 풍속별 3회 이상 측정

또한 MLT(Mechanical Load Test) 측정 방법은 다음과 같이 수행되어야 한다.

- o $V_{in} \sim V_{rated}$: 풍력터빈 cut in 속도부터 정격풍속까지 각 1m/s 구간별 최소 30회 측정
- o $V_{rated} \sim V_{o-5}$: 정격풍속부터 “cut out 풍속 -5의 풍속”까지 각 1m/s 구간별 최소 8회 측정
- o $V_{o-5} \sim V_{o-1}$: “cut out 풍속 -5의 풍속”부터 “cut out 풍속 -1의 풍속”까지 최소 3회 측정, 이때 풍속빈도는 2분간의 평균풍속 빈도수임
- o $V_{o-1} \sim V_o$: “cut out 풍속 -1의 풍속”부터 cut out 까지 최소 1회 측정, 이때 풍속빈도는 2분간의 평균풍속 빈도수임

이러한 요건의 충족여부는 빈도수에 의해 결정되며, 1개월간 측정자료는 2010년 12월 07일 부터 2011년 12월 07일까지 1년간 측정 한 동일한 기간의 풍황자료는 유사성을 갖고

있는 것으로 확인하였다.

표 1과 같이 산출된 빈도수 데이터는 풍력터빈의 일반적인 cut out 풍속대인 25m/s 이상이 13회로 나타나 MLT 측정이 가능함을 확인할 수 있다. 또한, PPT 수행에도 충분한 여건을 갖추고 있음을 알 수 있으며, 본 연구로 설치한 기상탑에서 측정된 풍황자료도 유사하게 나올 것으로 예측되며, 선정된 지점이 충분한 실증시험장 조건을 갖추고 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

풍력산업을 육성하기 위해서는 풍력터빈의 인증과 track record 확보는 필수적이다. 최근 우리나라는 많은 풍력터빈 모델이 개발됨에 따라 다수의 풍력터빈 성능을 평가하기 위한 실증시험장이 요구되고 있으나 제주도 지역으로 제한적이다. 기업에서 추진하는 풍력터빈시스템 개발이 완료되는 시점에서는 성능평가를 위한 실증시험장 확보가 선행되어야 하나 제주도 실증시험장이 포화상태가 되어 외국 실증시험장을 이용해야 하는 실정이다. 본 연구에서는 우리나라 내륙지방의 실증시험장 구축을 위한 풍황자원의 조사, 분석 및 대형 기상탑 구축 등을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 풍력터빈 실증시험장 구축을 위한 풍황자원조사,와 분석을 통하여 영광 백수 하사리 지역에 대한 실증시험장의 적합성을 확인하였다.
- (2) 성능평가를 위한 실증시험장 풍력터빈의 배치를 설계하여 제시하였으며, 설치된 기상탑 풍황자료가 정상적으로 얻어지는 것을 확인하였다.
- (3) 구축된 대형기상탑을 통해 120m 높이의 1개월간 측정된 평균 풍속은 A호기 7.76m/s, B호기 7.67m/s를 나타내며, 80m 높이에서 측정된 값은 7.45m/s를 얻었다.

- (4) 제시된 실증시험장은 5MW급 이하의 풍력터빈 성능평가 시험장으로 설계되었으며, 7MW 이상의 풍력터빈의 성능평가를 위해서는 추가적인 보완이 필요하다.
- (5) 향후 대형기상탑에서 수집된 풍황자료의 실시간 원격모니터링시스템을 구축할 계획이며, 본 실증시험장 구축으로 제주도 실증시험장 규모 확장의 어려움을 해소하고 접근성을 향상시키는 계기가 될 것이다.

후 기

본 연구는 “지식경제부”, “한국에너지관리공단”의 “풍력시스템 Test-Bed 센터 구축사업”과 목포대학교 스마트그리드연구소 지원으로 수행된 연구결과입니다.

References

1. BTM Consult, A Part of Navioant, 2012
2. 황병선, “최신풍력터빈의 이해”, 2010
3. 고석환, “풍력발전기 성능평가 측정시스템에 관한 연구”, 공주대학교, 2011
4. 한국선급, “해상풍력발전시스템의 기술기준”, 2011
5. DNV KEMA, “Wind Turbine Certification”, 2012
6. 전남테크노파크, “풍력시스템 테스트베드 구축사업 계획서”, 2011
7. 정권성 “ 풍력시스템의 성능평가와 인증을 위한 Test-Site 구축에 관한 연구” 목포대학교, 박사학위논문, 2012
8. IEC Standard 61400-12-1, Wind turbines -Part12-1 : Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 3rd Ed.,2005
9. 김영근, 김태곤, 문채주, 정승원, 정권성 “ 중대형 풍력발전기의 성능평가를 위한 대형기상탑 설계” 한국풍력에너지학회, 2012