

## 풍력발전기 소음 성능 실증

### Noise Performance Test and Evaluation of a Wind Turbine Generator

김석현<sup>†</sup> · 김태형\* · 박무열\* · C.C.Cui\*

Seockhyun Kim, Taehyung Kim, Mooyeol Park, C.C. Chui

**Key Words :** Wind Turbine Generator(풍력발전기), Noise Performance Test and Evaluation(소음 성능 실증),  
IEC 61400-11(소음실증국제 기준), Integrated Monitoring System(통합 모니터링 시스템)

#### ABSTRACT

This study introduces the wind turbine (W/T) noise evaluation procedure required in the international standard (IEC 61400-11) and monitoring system for the evaluation. Noise emission characteristics of a 750kW W/T generator is investigated. Test and evaluation are performed on J48 W/T model which is under operation in Daekwanryung Wind Test Site. With the noise signal, meteorological data and W/T operational data are monitored in real time by the integrated monitoring system using LabVIEW. From the measured noise data, acoustic power level and tonality of the W/T are estimated under the wind speeds required by the international standard.

#### 1. 서 론

화석 연료의 고갈과 온실가스 배출 증가에 따른 환경 문제는 전 세계적으로 대체에너지의 개발과 보급을 가속화시키고 있다.<sup>(1)</sup> 국내의 경우, 지난 십수년간의 기상청 자료와 최근 수행된 풍력 자원 조사 결과, 태백 준령 및 해안 그리고 제주 등의 섬 지역에 풍력 발전에 유리한 풍황 에너지가 분포하고 있음이 확인되었다.<sup>(2)</sup> 최근에는 행원, 영덕에 상업용 풍력발전단지가 가동되었고, 대관령 지역에도 국내 최대의 상업용 풍력발전 단지가 조성 중에 있어 국내에서도 풍력산업이 궤도에 오르고 있는 중이다. 화석 연료나 원자력 발전에 비해 친환경적임에도 불구하고, 풍력발전은 주변 환경에 미치는

몇 가지 문제점을 갖는다. 즉, 소음, 미관상의 문제, 전자파 간섭, 그리고 조류 충돌이나 동식물 생태계에 미치는 영향 등이 있다.<sup>(3)</sup> 특히 소음 문제는 단지 주변의 거주지에 민원을 발생시키고 생태계에도 영향을 준다. IEC 61400-11<sup>(4)</sup> 은 풍력발전기 소음 실증의 방법, 절차 및 보고 내용을 규정하고 있으며, 그 결과는 발전 출력과 같이 중요한 성능 인자가 된다. 본 연구에서는 국제기준에 따른 풍력발전기의 소음 성능 실증 과정을 소개하고, 대관령 풍력 실증연구단지내에 설치된 750kW 풍력발전기(J48, 프랑스 Jeumont 제작)를 대상으로 실증 작업을 수행한다. 음향 데이터는 IEC 61400-11 기준에 준하여 측정하였으며, 비 음향학적 데이터의 측정을 위하여 연구단지내에 구축된 풍황 원격 모니터링 시스템을 이용하였다. 향후 국산화 풍력발전기의 소음 실증 작업에 유용한 정보를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

<sup>†</sup> 정회원, 강원대학교 기계메카트로닉스공학부  
E-mail : seock@kangwon.ac.kr  
Tel : (033) 252-2595, Fax : (033) 257-4190

\* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과

## 2. 실증 단지 및 풍력 발전기의 제원

본 연구가 수행된 풍력 실증 연구 단지는 강원도 평창군 도암면 황계리의 구 대관령 휴게소 위치에 약 12,000평의 부지로 조성되었다.<sup>(5)</sup> Fig.1은 실증 단지의 전경이다. Fig. 2는 실증 대상 풍력발전기인 J48 모델이며, Table 1은 그 주요 제원이다. 풍력 발전기의 소음 평가에서는 풍향 및 발전기의 작업 조건이 소음에 영향을 주므로, 음향학적 변수와 함께 이러한 비 음향학적 변수들(non acoustic variables)도 동시에 측정해야 하는 문제가 있다. Fig. 3은 소음 실증에 필요한 풍향 데이터 및 작업 상태를 모니터링 하는 종합 원격 모니터링 시스템의 구성도이다. 지상 10m 및 허브 높이에서의 풍속, 풍향 등의 데이터를 측정하기 위하여 기상 계측 타워(Meteorological mast)가 설치된다. 또한, 출력, 로타 회전속도 등 발전기 데이터도 종합적으로 수집된다. 각종 센서로부터의 풍향 및 발전기 신호는 시스템 기본 제어장치인 NI8176(National Instrument)에 의하여 처리되는데, 소프트웨어로는 LabVIEW 프로그램을 사용하여 DAQ(data acquisition) 시스템을 제어한다.<sup>(5,6)</sup>

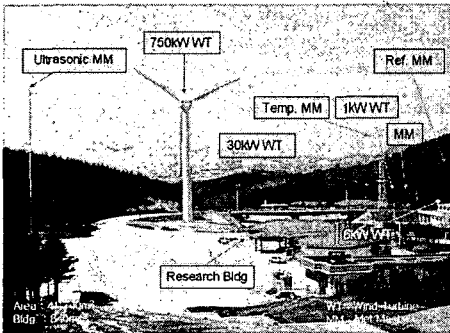


Fig. 1 View of the test site.

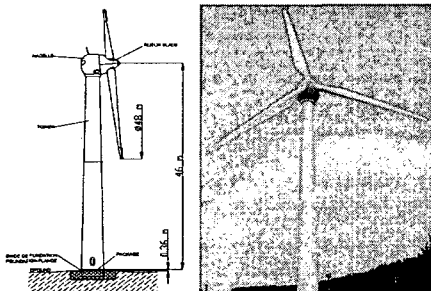


Fig. 2 750kW wind turbine generator.

Table 1 Specification of 750kW W/T

Model	J48(JEUMONT)
Rotor shaft	Horizontal
Hub height	46 m
Rotor diameter	48.2 m
Number of blades	3
Operation speed	8-26.5 rpm
Rated wind speed	14 m/s
Cut-in wind speed	4 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Survival wind speed	59.5 m/s During 5 seconds
Power control system	Stall
Rotor-generator coupling	Direct-gearless
Weights	Rotor with blades : 9000kg Nacelle: 30000kg Tower : 40000kg

Scheme of Instrumentation for Power Curve Measurements

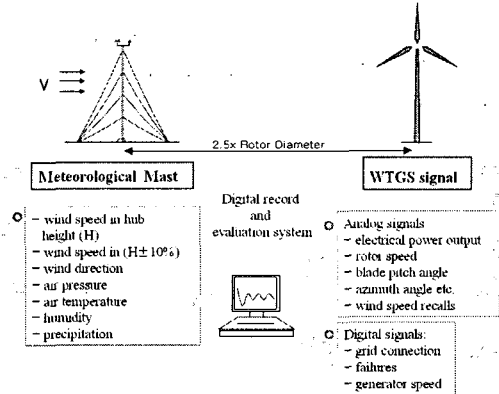


Fig. 3 Integrated remote monitoring system.

## 3. 소음 성능 평가 방법

### 3.1 IEC 61400-11

본 기준의 목적은 풍력발전기 방출 소음의 측정/분석에서 일관성과 정확성을 보장하는 통일된 방법을 제공하는 데에 있다. 본 기준에서는 음향 측정 위치를 정하는 방법, 취득하여야 할 음향 인자, 기상 인자 및 발전기 작업 데이터에 대한 조건, 그리고 취득한 데이터의 분석 방법 및 보고 내용을 규정한다.

### 3.2 측정 위치

IEC 61400-11에 근거하면 풍력발전기의 크기에 따라 Fig. 4에서와 같이 4개 지점의 측정 위치를 측량을 통하여 결정한다. 타워 중심으로부터 측정점까지의 기준 거리는 다음 식 (1),(2)에 의하여 결정된다.

$$R_o = H + \frac{D}{2}, \quad R_1 = \sqrt{R_o^2 + H^2} \quad (1,2)$$

연구 대상 발전기에서 H = 46m, D = 48m 이므로,  $R_o = 70m$ ,  $R_1 = 83.8m$ 가 된다. 따라서 타워 축을 중심으로 반경 70m의 원주상에서 4개 지점에서 측정한다. 여기서 1번 지점이 기준점이 된다.

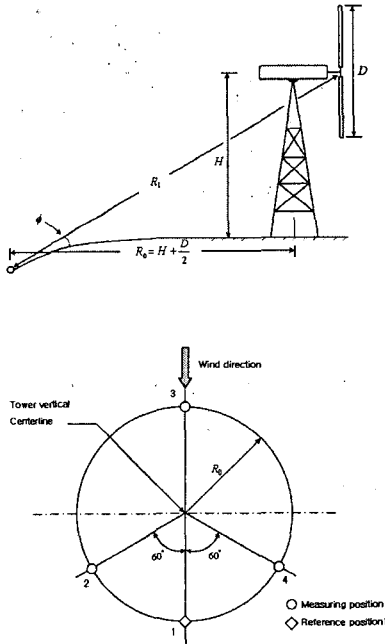


Fig. 4 Measurement positions.

### 3.3 측정방법

기준 위치에서 1분 이상의 A-가중된 등가연속음압 레벨을 풍속과 함께 측정한다.(10m 높이에서 6,7,8,9,10m/s 풍속 하 각각 측정) 발전기 정지 상태에서 암소음을 측정하여 보정한다. 측정 작업은 각 풍속 하에서 30회 이상 수행한다. 또한 각각의 풍속 하에서 1분 이상의 신호에 대한 1/3 옥타브 스펙트럼을 3개 이상 취하여 평균한다. 협대역 분석을 위해서는 매 풍속당 2분 이상의 발전기 소음 및

암소음을 취득한다. IEC 61400-11에서는 기준점 외의 다른 지점의 소음은 선택 사항으로 규정하고 있다. Fig. 5는 측정 장치를 보인다. 마이크로폰은 직경 1.0m 이상되는 두께 12mm 합판이나 2.5mm 금속 원판 상에 위치시키도록 되어 있다. 이는 측정점 지면에서 음향 조건의 일관성을 보장하기 위하여 요구된다. 측정을 위하여 마이크로폰과 휴대용 신호분석기(Symponie, 01dB)를 사용하였으며, 합판 지지대를 사용하였다. 측정된 소음 데이터로부터 다음 식 (3)을 사용하여 음향파워레벨을 구한다.

$$L_{WA} = L_{Aeq,c} - 6 + 10 \log \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_o} \right] \quad (3)$$

여기서,  $L_{Aeq,c}$  는 암소음 보정된 A 가중 등가연속음압레벨이고,  $S_o$ 는 기준 면적으로  $1 \text{ m}^2$  를 사용한다. 식(3)에서 -6dB는 원판 상에서 음압이 2배로 되는데 기인한다. IEC 기준에서 필수적으로 요구되는 또 다른 음향인자로 음조(tonality)가 포함된다. 전술한 풍속 하에서의 2분간의 신호를 취하여 10초씩 12개 구간으로 나눈 후, 각각의 협대역 스펙트럼을 사용하여 IEC 61400-11에서 규정하는 구체적인 절차에 따라 풍력발전기 소음의 음조를 구한다.<sup>(4)</sup>

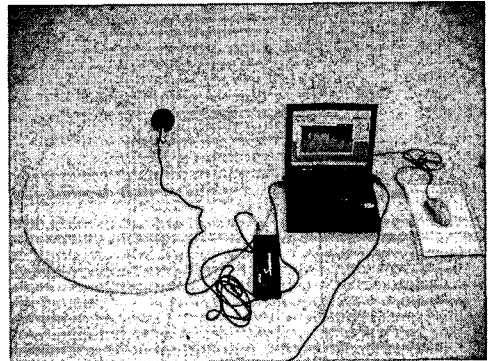


Fig. 5 Measurement devices.

## 4. 소음 실증 결과

Fig.6은 기준 위치에서 측정된 A 가중된 등가연속 소음레벨 을 보인다. 풍속(10m 높이) 8m/s 이하였는 거의 비슷한 소음레벨을 보인다. Table 2는 측정된 소음레벨로부터 식(3)을 사용하여 산정한 음향파워레벨이다. 측정 위치별로 산정된 파워레벨이

큰 차이가 없는 것으로 보아 총 소음 레벨에서는 특정 방향의 지향성이 크지는 않아 보인다. Fig. 7은 6m/s의 풍속 하에서 구한 1/3옥타브 및 협대역 스펙트럼을 보인다. 저주파수 대역의 공력소음과 3400Hz의 피크가 소음을 지배하는 것을 확인할 수 있었다.

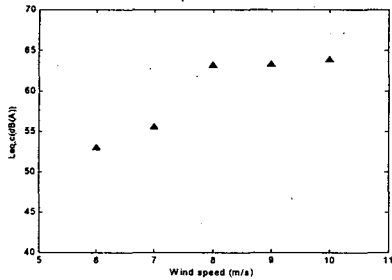


Fig. 6  $L_{Aeq,c}$  at the reference position.

Table 2 Acoustic power levels

wind speed (m/s)	power level dB(A)			
	position 1	2	3	4
6	96.3	-	95.5	99.5
7	98.9	-	96.9	-
8	106.5	-	106.5	100.2
9	106.6	106.5	-	106.6
10	107.2	107.1	107.7	105.2

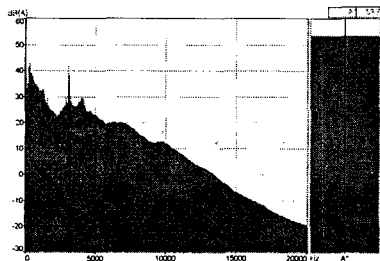
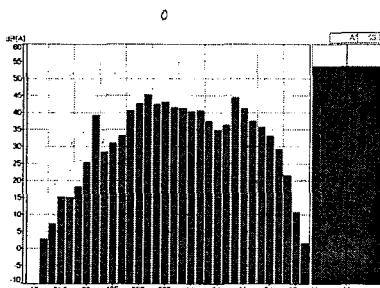
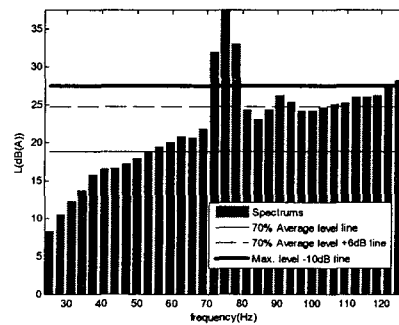


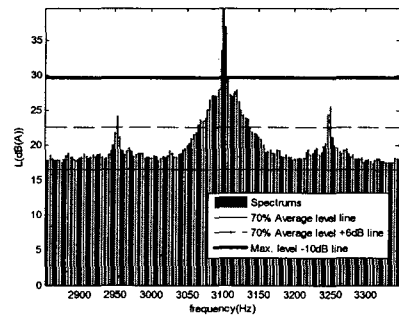
Fig.7 1/3 octave band and narrow band spectrums at wind speed of 6m/s.

Fig. 8은 음조 해석을 위한 주파수 스펙트럼이다. 가는 실선은 스펙트럼의 에너지 평균의 70%값이며, 이에 6dB 더한 점선 밀의 부분을 매스킹(masking)으로 구분한다. 굵은 선은 가장 높은 값에서 10dB 아래이며 이보다 큰 높은 레벨의 부분을 톤으로 구분한다. 톤으로 결정된 부분의 합을 톤 레벨( $L_{pt,j}$ ), 매스킹 부분의 합을 매스킹 레벨( $L_{pm,j}$ )로 구한 후, 식 (4)와 같이 그 차이를 음조값( $\Delta L_{tm,j}$ )으로 구한다.

$$\Delta L_{tm,j} = L_{pt,j} - L_{pm,j} \quad (j=1, \dots, 12) \quad (4)$$



(a) 75Hz tone



(b) 3100Hz tone

Fig. 8 Tonality analysis at wind speed of 6m/s.

$j=1\sim 12$ 의 스펙트럼에 대하여 평균하면 각 풍속하에서의 음조값  $\Delta L_{tm}$ 을 구할 수 있다. 또한, 다음과 같이 주파수 가중하여 청음도(audibility)를 구한다.

$$\Delta L_a = \Delta L_{tm} + \log\left[1 + \left(\frac{f}{502}\right)^{2.5}\right] \quad (5)$$

청음도가 -3.0dB보다 크게 나오는 경우, 반드시 그

값을 보고하게 되어 있다. Table 3은 음조 분석 결과를 보인다. 75Hz, 3100Hz 피크가 뚜렷하게 관찰되었으며, 그 음조값은 모두 7이상으로서, 보고되어야 하는 기준치(-3dB)를 훨씬 상회하고 있다.

Table 3 Tonality analysis result

Critical band (Hz)	25~128	2853~3350
Tone (Hz)	75	3100
Tonality (dB)	5.7	3.2
Audibility criterion (dB)	-2.0	-4.0
Tonal Audibility (dB)	7.7	7.2

이와 같은 상황은 다른 풍속에서도 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다. 이상에서 검토된 음향 인자 외에 4개 지점의 측정치로부터 구해지는 지향성(directivity)이 선택 사항으로 포함된다. 또한, 음향 인자와 함께 보고되어야 하는 비 음향 변수로는 풍속 측정방법, 대기 온도, 대기압, 지면 거칠기, 매 측정시의 풍향 변화 범위 등이 있다. 이외에 전술한 음향 인자에 관련하여 불확실도 평가 결과를 첨부하도록 되어있다. 연구 여건과 실증 단지의 상황 때문에 소음 데이터의 측정은 풍향 및 발전기 데이터의 원격 모니터링과는 별도로 수행되었다. 그 결과 데이터의 처리에 어려움이 많았으며, 다양한 상태에서의 풍부한 데이터를 얻기에는 미흡한 점이 있었다.

### 5. 결론 및 토론

대관령 풍력실증연구단지의 750kW급 풍력발전기(J48)의 방출 소음에 대한 실증 연구를 수행하였다. 소음 실증은 IEC61400-11의 국제 기준에 따라 음향 측정 장치, 비 음향 측정을 위한 종합 모니터링 시

스템을 구축하여 수행되었다. 8m/s 이상에서는 106dB(A) 정도의 음향 파워 레벨이 나왔으며 4개 지점 중 특정 방향으로의 방향성은 높지 않은 것으로 나타났다. 75Hz 와 3100Hz 성분은 청음도 7이상으로, 기준치를 훨씬 상회하는 것으로 확인되었다. 추후 보다 풍부한 소음 데이터를 확보하기 위하여, 현재의 모니터링 시스템에 소음 측정 기능을 포함하는 종합 원격 모니터링시스템의 구축이 필요하다.

### 후 기

풍력발전기의 풍향 및 발전기 모니터링을 지원한 강원대학교 풍력발전시스템 연구센터에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) Wind Force. 12, European Wind Energy Association and Green Peace.
- (2) 이동현 외, 2001, "강원도 풍력자원 조사결과 및 풍력발전 시스템 운전효율의 분석", 풍력기술연구회 2001년 추계학술발표회 초록집.
- (3) S. Wanger, R.Bareiß, G. Guidati, 1996, Wind Turbine Noise, Springer Verlag.
- (4) IEC 61400-11 ed.2, 2002, Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques, International Electro technical Commission.
- (5) 유능수의, 2004, 750kW급 풍력발전기 실증연구,, 산업자원부.
- (6) 남윤수, 김형기, 유능수, 이정완, 2003, "LabVIEW를 이용한 풍력 발전기 모니터링 시스템 개발", 한국 정밀공학회 논문집, 제 20권 5호, pp.92-97.