

제주도 용당/행원 풍력발전기 현장 소음 실증 Field Test and Evaluation of Noise from Wind Turbine Generators at Yongdang and Hangwon in Jeju Island

정철웅*·정성수**·정완섭**·신수현**·전세증***·이생희***
Cheolung Cheong, Sung-Su Jeong, Wan-Sup Cheung and Su-Hyun Shin

Key Words: Wind Turbine Generator (풍력발전기), Sound Power Level (음향 파워 레벨), Wind Speed Dependence (풍속 의존성), 1/3-Octave Band Power (1/3-옥타브 밴드 파워).

ABSTRACT

The sound measurement procedures of IEC 61400-11 are applied to field test and evaluation of noise emission from 1.5 MW wind turbine generator (WTG) at Yongdang and 660 kW WTG at Hangwon in Jeju Island. Apparent sound power level, wind speed dependence and third-octave band levels are evaluated for both of WTGs. 1.5 MW WTG at Yongdang is found to emit lower sound power than 660 kW one at Hangwon, which seems to be due to lower rotating speed of the rotor of WTG at Yongdang. Equivalent continuous sound pressure levels (ECSPL) of 660 kW WTG at Hangwon vary more widely with wind speed than those of 1.5 MW WTG at Yongdang. The reason for this is believed to be the fixed blade rotating speed of WTG at Yongdang. One-third octave band analysis of the measured data show that the band components around 400-500 Hz are dominant for 1.5 MW WTG at Yongdang and those around 1K Hz are dominant for 660 kW WTG at Hangwon.

1. 서론

최근 화석 연료 가격의 급등과 청정한 환경에 대한 요구로 대체에너지에 대한 관심이 급격히 증가하고 있다. 정부도 이에 풍력, 태양열, 연료전지 등과 같은 대체에너지의 연구 개발을 국가적 차원에서 체계적으로 지원하기 위하여 노력하고 있다⁽¹⁾. 대체 에너지 중 바람의 힘을 이용한 풍력 발전은 비교적 빠른 시일 내에 실용화 가능한 청정 대체에너지라는 점에서 더욱 많은 관심을 받고 있다. 하지만 이런 청정 대체 에너지인 풍력발전도 소음이라는 환경오염원을 가지고 있다. 국내는 아직 유럽만큼 풍력발전기 소음에 대한 민원이 발생하지 않고 있으나 미래에 풍력 발전의 광범한 보급을 위하여 꼭 해결해야 할 사항이 소음공해로 여겨진다. 본 논문에서는 제주도 용당리와 행원리에 위치한 상업용 풍력발전단지내의 풍력발전기 소음을 풍력발전기 소음 실증의 방법 및 절차를 규정하고 있는 국제 규격 IEC 61400-11⁽²⁾에 의거하여 실증하였다. 1.5 MW(용당)와 660 kW(행원) 급 풍력 발전기에 대하여 현장 소음 실증을 수행하였으며 결보기 음향 파워 레벨, 풍속 의존성, 1/3-옥타브 밴드 등에 대한 측정 및 분석 결

과를 제시하였다. 현장 소음 실증을 통하여 이미 국내에서 운행중인 풍력발전기의 소음 특성을 국제 규격에 기반하여 분석하고 국내의 현장 환경에 대한 국제 규격의 적용성을 살펴 추후 국내 실정에 맞는 규격안의 도출에 기본 정보를 제공하고자 하는 것이 본 연구의 기본 목적이다.

2. 풍력발전기 제원 및 측정방법

2.1 풍력발전기 제원

풍력발전기 현장 소음 실증을 수행한 곳은 제주도 북제주군 한경면 용당리에서 남부발전이 운영하고 있는 풍력발전단지와 제주도 북제주군 구좌읍 행원리의 제주도에서 운영하고 있는 풍력발전단지로서 각각 1.5 MW 와 660 kW 풍력발전기에 대해서 소음 실증을 수행하였다. 용당리에 위치한 풍력발전단지는 1.5 MW 급의 풍력발전기 4 기가 운용중에 있으며 그 중 3 호기에 대해서 소음 측정을 수행하였고 Table 1 에서 주요 제원을 나타내었다. 행원리의 풍력발전단지에서는 600 kW 에서 750 kW 급까지 총 15 기의 풍력발전기를 운영하고 있는데 그 중 가장 남쪽에 위치한 660 kW 풍력발전기에 대해서 소음 실증을 수행하였으며 주요 제원을 Table 2 에서 나타내었다. 두 발전기의 정격발전용량이 다르다는 점 외에 용당리 풍력발전기 회전자의 회전 속도가 행원리의 풍력발전기와는 달리 고정되어 있다는 점이 주목할 만한 차이점이다

* 책임저자: 정철웅 한국표준과학연구원 물리표준부 음향진동실
E-mail: ccheong@kriss.re.kr
Tel: (042) 868-5783, Fax: (042) 868-5643
** 정희원 한국표준과학연구원 물리표준부 음향진동실
*** 정희원 한국표준과학연구원 물리표준부 유체유동실

Table 1. Specification of 1.5 MW WTG (Manufacturer: NEG-Micon/STX)

Rated Output	1.5 MW
Rated Wind Speed	15 m/s
Rotor Diameter	72 m
Tower Height	62 m
Operating Wind Speed	4~25 m/s
Rotor Speed	17.3 rpm
Regulation	Active Stall
Annual Generation Electricity	3,343 MWh (Vmean:6.5m/s)

Table 2. Specification of 660 kW WTG (Manufacturer: Hyosung/VESTAS)

Rated Output	660 kW
Rated Wind Speed	13 m/s
Rotor Diameter	47 m
Tower Height	45 m
Operating Wind Speed	4~25 m/s
Rotor Speed	28.5~32 rpm
Regulation	Opti Slip/Tip
Annual Generation Electricity	2,388 MWh (Vmean:6.5m/s)

2.2 측정 위치 및 장비

IEC61400-11 에서 요구하는 측정기와 방법에 따라서 풍력발전기 소음을 평가하였다. Fig. 1 에서 풍력발전기 소음 측정을 위한 마이크로폰 위치와 측정 및 분석 장비 구성도를 나타내었다.

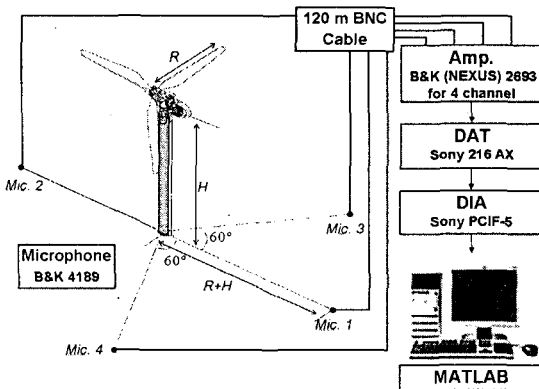


Fig. 1 Measurement locations and devices for acoustic quantities

IEC61400-11 의 규정에 따라 타워의 지면 중심에서 R+H 떨어진 위치에서 Fig. 1 에서 나타낸 네 위치에 마이크로폰을 설치하였다. 먼저 마이크로폰 신호를 증폭기를 통하여 DAT 에 녹음시키고 DIA(Digital Interface Adapter)장비를 이용하여

컴퓨터에서 사용할 수 있는 이진자료로 변환한 다음 풍력발전기 소음 분석을 위하여 개발한 MATLAB 프로그램을 이용하여 측정자료를 분석하였다. 풍력발전기 소음 실증 과정에서는 소음에 영향을 주는 가장 큰 변수로 생각되는 풍속도 소음과 동시에 측정해야 한다. 풍속측정을 위하여 이동식 기상타워와 기상 측정장비를 사용하였다. Fig. 2 에서 행원리에서 측정 할 때의 기상타워와 풍력발전기 사진을 나타냈다. 풍속을 비롯한 기상자료를 1 초 간격으로 기록하였으며 소음 측정 및 자료 분석시 동기화 하였다.

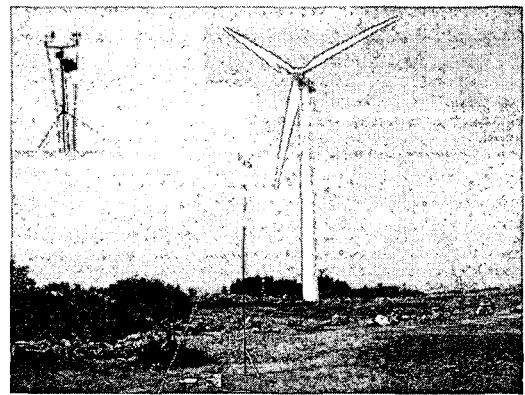


Fig. 2 Mobile meteorological mast at Hangwon

3. 측정 결과

본 논문에서는 IEC61400-11 에서 요구하고 있는 측정 요구량 중 겉보기 음향 파워 레벨, 풍속과 소음레벨의 상관관계, 1/3-옥타브 밴드 레벨에 대한 분석을 실시하였다. 아래에서 각각의 분석 결과를 제시하였다.

3.1 풍속과 소음레벨의 상관성 및 겉보기 음향 파워 레벨

풍력발전기의 겉보기 음향파워레벨을 결정하기 위하여 8 ± 2.5 m/s 범위의 풍속에 대해 기준 위치 (Mic. 1 위치)에서 1 분 이상 동안 측정된 30 개 혹은 그 이상의 자료들에 대해 등가연속음압레벨을 구하고 이차회귀해석을 하여 각각의 정수값의 풍속에 대응하는 등가연속음압레벨을 $L_{Aeq,k}$ ($k=6, \dots, 10$ m/s 의 정수 풍속값) 을 결정한다. 배경소음도 적어도 30 개 이상의 자료를 이용하여 위와 같은 방법으로 추정한다. 각각의 정수값의 풍속에서의 $L_{Aeq,k}$ 값은 대응하는 풍속에서의 배경소음에 대해 보정하고 $L_{Aeq,c,k}$ 로서 나타낸다. 기준 위치와 정수의 풍속값에서 겉보기 음향파워레벨 $L_{WA,k}$ 은 배경소음에 대해

서 보정한 $L_{Aeq,c,k}$ 를 사용하여 아래식으로 계산할 수 있다.

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \log_{10} \left[4\pi R_1^2 / S_0 \right] \quad (1)$$

여기서 R_1 은 회전자 중심에서 측정 위치까지의 거리이고 $S_0 = 1 \text{ m}^2$ 이다. Figs. 3 과 4 에서 각각 용당리와 행원리에서 측정한 값을 사용하여 결정한 L_{Aeq} 값을 도시하였다. 측정 당시 풍속 범위는 용당리에서 9 m/s 를 넘지 않았고 행원리의 경우 8 m/s 를 넘지 않아서 규격 요구범위를 만족시킬 수는 없었다.

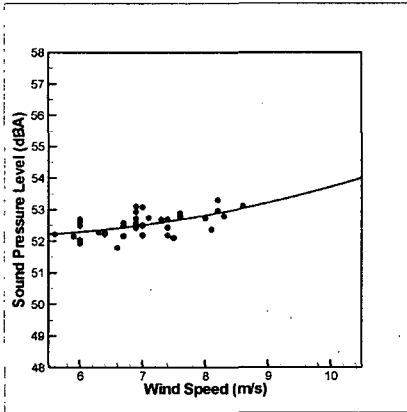


Fig. 3 Equivalent continuous sound pressure level of WTG (1.5 MW) at Youndang (Regression Curve: $5.30 - 0.40V + 0.047V^2$)

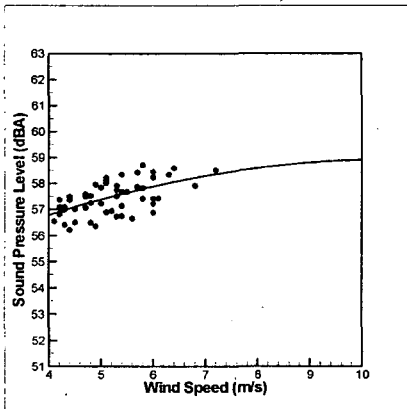


Fig. 4 Equivalent continuous sound pressure level of WTG (660 kW) at Hangwon (Regression curve: $53.4 + 1.03V - 0.047V^2$)

용당리의 1.5 MW 풍력발전기의 경우 풍속이 3 m/s 변화는 동안 음압이 2 dB 정도의 변화량을 보인 반면 행원리의 660 kW 풍력발전기의 경우 풍속이 2.5 m/s 변화는 동안 음압이 2.5 dB 정도로 좀 더 큰 변화를 보이는데 이것은 용당리 풍력발전기의 회전자의 회전속도가 고정되어 있기 때문인 것으로

생각된다.

현장소음실증중 가장 어려운 점들 중 하나가 배경소음의 측정인데 다행히 용당리에서는 남부발전 관계자 분들의 도움을 받아 측정대상이었던 3 호기를 40 분 가량 중지시키고 배경소음을 측정할 수 있었다. Fig. 5 에서 용당리에서 측정한 배경소음의 분포를 나타내었다. 풍속에 따라 일정한 경향을 나타내지는 않으며 방사소음측정값에 비해 약 10 dBA 정도 작다는 것을 확인할 수 있다. 비록 행원리에서는 배경소음을 측정할 수는 없었지만 용당리의 경우를 고려하면 배경소음의 영향은 미미할 것으로 생각된다.

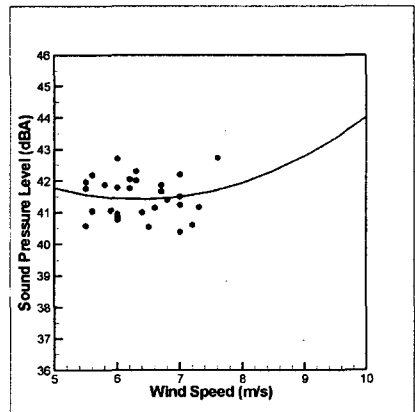


Fig. 5 ECSPL of background noise at Youndang

Table 3. Apparent sound power level (dBA)

Wind Speed (m/s)	1.5 MW (Yongdang)		660 kW (Hangwon)	
	$L_{Aeq,c}$	L_{WA}	L_{Aeq}	L_{WA}
6	51.9	98.2	57.9	101.1
7	52.1	98.4	58.3	101.5
8	52.4	98.7	58.6 ^e	101.9 ^e
9	52.7 ^e	99.1 ^e	58.8 ^e	102.1 ^e
10	53.2 ^e	99.5 ^e	58.9 ^e	102.2 ^e

*Symbol e denote the extrapolated value.

Table 3 에서 Fig. 3-5 에서 도시한 음압분포에 기 반하여 결정한 겉보기 음향파위를 나타내었다. 행원의 660 kW 풍력발전기의 겉보기 음향파위레벨이 용당의 1.5 MW 풍력발전기보다 약 3 dBA 정도 작다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 부분적으로 용당의 풍력발전기의 날개끝 속도가 행원의 날개끝 속도 보다 작은 것에 기인하는 것으로 추정된다. Table 1 과 2 의 풍력발전기의 제원을 바탕으로 날개 끝 속도의 비를 계산해보면 약 0.88 정도가 되고 광대역소음중 자가소음이 풍력발전기소음의 주성분

으로 가정하면 이론적으로 날개끝 마하수의 5 제곱에 비례⁽³⁾하므로 소음레벨이 약 2.8 dB 정도 차이나는 것으로 계산할 수 있다.

3.2 1/3-옥타브 밴드 레벨

기준 위치에서 풍력발전기의 방사 소음의 1/3-옥타브 밴드 스펙트럼은 각각의 정수값의 풍속에서 1분 이상 동안 측정된 적어도 3개 스펙트럼의 에너지 평균값으로 결정한다. 본 논문에서는 측정 당시 용당리와 행원리의 실제 풍속 범위와 논문 지면을 고려하여 풍속이 7 m/s 일 때 1/3-옥타브 밴드 레벨만을 계산하였다.

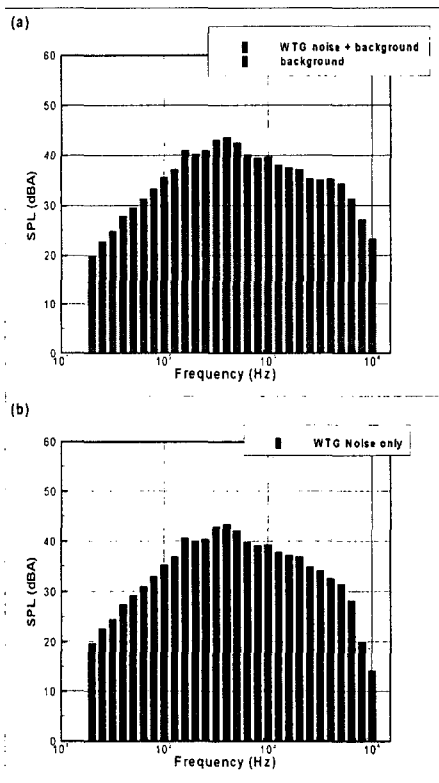


Fig. 6 Average one-third octave band of noise emission ($v=7m/s$) from 1.5MW WTG at Yongdang

Fig. 6에서 용당의 1.5 MW 풍력발전기 방사소음 측정값에 대한 1/3-옥타브 밴드 분석 결과이다. 고주파성분의 배경소음이 매우 커서 풍력발전기만의 옥타브 밴드 결과는 400 Hz 성분이 가장 크고 6000 Hz 이상에서는 급격히 감소함을 알 수 있다.

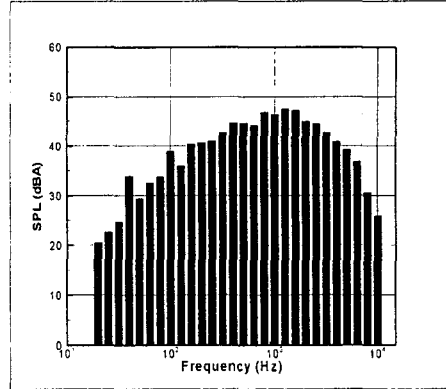


Fig. 7 Average one-third octave band of noise emission ($v=7m/s$) from 1.5MW WTG at Hangwon

Fig. 7에서 행원의 660 kW 풍력발전기 방사소음의 1/3-옥타브 밴드 분석결과를 나타내었다. 1000~2000 Hz 성분이 가장 주요한 성분을 이루고 있다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

풍력발전기의 방사소음을 실증하는 국제규격인 IEC61400-11에 따라 제주도 용당리와 행원리에서 각각 운용중인 1.5 MW와 660 kW 풍력발전기의 현장소음을 실증하였다. 결론기 음향과위레벨은 1.5 MW 풍력발전기가 660 kW 풍력발전기보다 약 3 dBA 정도 작았으며 이는 용당리 풍력발전기의 날개끝 속도가 작은 것에 부분적으로 기인하는 것으로 추정된다. 풍속에 대한 음압의 변화는 용당리 풍력발전기가 더 작는데 이는 고정된 회전속도를 유지하기 때문인 것으로 생각된다. 1/3-옥타브밴드 분석을 통해 660 kW 풍력발전기의 방사소음이 1.5 MW 풍력발전기보다 고주파 소음성분으로 이루어졌다는 것을 확인할 수 있었다.

후기

이 논문은 산업자원부의 제 2 차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획과 관련된 연구의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

- (1) 산업자원부 풍력개발사업단, kwedo.or.kr
- (2) IEC 61400-11 Second edition, 2002, Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques, International Electrotechnical Commission.
- (3) T.F. Brooks et al., "Airfoil Self-Noise and Prediction," NASA Reference Publication 1218, 1989.