

# 풍력발전기 소음평가 Wind Turbine Noise

정성수† · 전병수\* · 서재갑\* · 이용봉\*

Sung Soo Jung, Byung Soo Jeon, Jae Gap Seo, Yong Bong Lee

**Key Words :** Wind turbine noise (풍력발전기 소음), 1/3-octave band noise (1/3-옥타브 밴드 소음), low frequency noise (저주파음)

## ABSTRACT

Wind turbine industry is the most developing field among other renewable energy industry. As expanding wind farms, noise is the big problem to solve. This study is about wind turbine noise measuring method based on IEC 61400-11. Sound pressure levels, 1/3-octave band levels, and low frequency sound pressure levels of a 3 MW wind turbine were measured and analyzed.

## 1. 서 론

신재생에너지 산업분야는 이미 세계 각국에서 신 성장 동력산업으로 정책적으로 활성화하고 있다. 이들 중 풍력발전기 산업이 아직까지는 가장 활발하게 진행되고 있다. 풍력발전기는 육상에 설치하는 육상용과 바다에 설치하는 해상용으로 구분할 수 있다. 육상용의 경우는 3 MW 이하 그리고 해상용은 육상용에 비해 출력이 더 큰 대용량까지 설치되고 있다. 대용량을 위해 해상 풍력발전단지 개발은 전 세계적인 추세라고 할 수 있다.

풍력발전기 설치에 따른 가장 큰 문제 중의 하나는 소음이다. 풍력발전기에서 방사되는 소음은 대기를 통해 전파되며, 주야간 발생되기 때문에 야간에 문제가 되는 경우가 많다. 풍력발전기는 소음원의 위치가 높고, 저주파음 발생, 풍속 증가에 따른 소음도 증가 등 다른 일반적인 육상 교통소음원의 경우와는 다르다고 할 수 있다. 특히, 소형 풍력발전

기의 경우는 도로변 혹은 주택근처에 설치되기 때문에 소음에 좀 더 취약하게 된다. 본 연구에서는 풍력발전기 소음을 측정하는 방법과 평가방법에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 풍력발전기 소음 측정방법

풍력발전기에서 방사되는 소음을 측정하는 방법은 목적에 따라 다르게 할 수 있다. 풍력발전기에서 방사되는 소음의 정확한 음향파위를 산정하는 방법은 IEC 61400-11<sup>(1)</sup>에 규정되어 있는데 풍력발전기를 개발할 때 형식승인을 위한 것이다. 이 방법은 Fig. 1에 나타난 것처럼 풍력발전기 허브까지의 높이 h에 풍력발전기 날개의 길이 D/2를 더한 R<sub>0</sub> (=h+D/2) 거리만큼 풍력발전기 뒤에서 떨어져 측정하는 방법이다. 수직축의 경우는 수평축에 비해서 아직까지는 전기적 용량이 크지 않고 주로 소형풍력발전기가 주종을 이루고 있다.

Fig. 1의 위치에 마이크로폰을 설치하게 되는데, Fig. 2(a)와 같이 딱딱한 원형 반사판을 지표면에 설치한 후 마이크로폰은 방풍망을 씌우고 그 중심 지점에 위치시킨다. 이처럼 바닥에 설치하는 이유는, 마이크로폰에 바람이 직접 영향을 미치는 경우 상대

† 정성수; 정회원, 한국표준과학연구원  
E-mail : jss@kriss.re.kr  
Tel : 042-868-5307, Fax : 042-868-5643

\* 한국표준과학연구원

적으로 지면에서 풍속이 최소화되므로 바람의 영향을 최소화시킬 수 있기 때문이다. 또한 바다면에 딱딱한 반사판을 설치하는 이유는 측정하는 지점의 바다면의 상태에 따라 동일한 풍력발전기에서 방사되는 소음이라도 지표면의 흡음정도에 따라 측정값이 다르기 때문에 동일한 조건을 만들기 위함이다. 반사판의 영향은 음향파워 산출 시 제거하게 되므로 문제가 없다. 한편, 소음 측정 시 바람의 영향을 미치는 경우는 제 2의 방풍망을 Fig. 2(b)처럼 설치하고 이 방풍망의 설치로 인한 감음량은 보정하게 된다. 배경소음은 풍력발전기가 운행되지 않는 경우로서 풍력발전기를 정지시킨 후 풍속별로 소음을 측정하여 풍력발전기 소음으로부터 배경소음을 보정하게 된다.

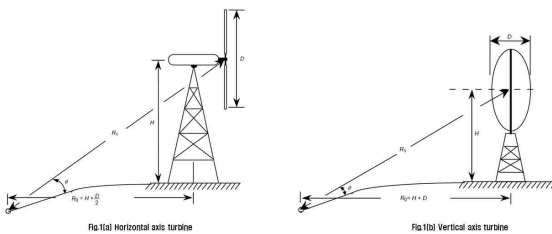


Fig. 1. Noise measuring position.



Fig. 2. Microphone and wind screen.

풍속별로 음압레벨을 측정하고 1/3-옥타브 밴드별로 음압레벨을 구한 후 이로부터 음향파워레벨을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$L_{WA, i, k} = L_{V, c, i, k} - 6 + 10 \log \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right]. \quad (1)$$

여기서  $L_{V, c, i, k}$  는 정수값의 풍속  $k$ 에서 배경소음을 보정한  $i$ 번째 1/3-옥타브 밴드 중심주파에서의

A-가중 음압레벨이다.  $R_1$ 은 Fig. 1에서 보듯이 로터 중심으로부터 마이크로폰까지의 거리이고,  $S_0$  는 기준 면적으로  $1 \text{ m}^2$ 이다. -6은 반사판의 영향을 제거하기 위한 값이다.

식 (1)의 방법은 음향파워를 구하는 방법으로 일반 환경소음을 측정하는 방법과는 차이가 있다. 따라서 어떤 측정방법을 풍력발전기 소음 측정방법으로 할 것인지에 대한 연구가 필요하다. 국외의 경우도 덴마크는 식 (1)의 방법에 기초하고 있으나 풍력발전기 소음에 대한 측정방법이 없는 국가들은 일반적인 소음측정 방법처럼 지면에서 1.2 ~ 1.5 m 높이에 마이크로폰을 설치하고 있다. 하지만 후자의 경우 풍속에 따른 풍잡음의 영향을 어떻게 보정할 것인지가 필요하게 된다. 따라서 풍력발전기 소음에 대한 관리를 위해서는 평가방법에 대한 결정이 필요하다. 즉, 일반 환경소음처럼 측정 시간동안 산출된 등가소음레벨로 할 것인지 풍력발전기의 특성을 고려하여 덴마크처럼 특정 풍속에서의 측정값으로 할 것인지 이에 대한 연구가 필요하다. 예를 들어, 덴마크는 풍속 6, 8 m/s에서 토지사용 목적에 따라 각각 다른 한도값을 적용하고 있다.

### 3. 풍력발전기 소음 분석

제주도 풍력단지에 설치되어 있는 3 MW급 풍력발전기의 소음을 측정하고 분석하였다. 풍속은 소다(SODAR)를 사용하여 높이별로 비접촉적인 방법으로 측정하였다. 소다 설치모습은 Fig. 3에 그리고 소음레벨 측정 결과는 Fig. 4에 나타냈다. 풍속은 허브 높이에서 측정한 값을 높이 10 m의 기준높이로 환산한 값이다. 이렇게 환산하는 이유는 풍력발전기의 용량에 따라 허브 높이가 다르기 때문에 비교를 위해 높이 10 m에서의 풍속을 기준으로 하기 때문이다. 결과를 보면 알 수 있는 것처럼 풍속이 증가함에 따라 음압레벨 역시 증가하게 된다. IEC 61400-11에서는 음향파워레벨을 구하는데 있어 풍속범위를 최대 전기출력 85 %의 0.8배에서 1.3배 사이 값으로 하고 있는데 이것은 높이 10 m에서 6 ~ 10 m/s 정도의 범위에 해당된다.



Fig. 3. Measurement picture of wind speed with SODAR.

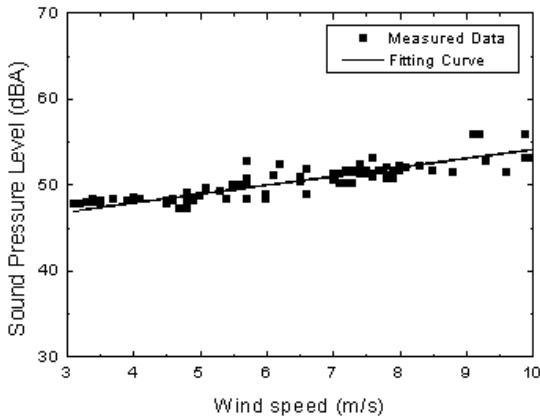


Fig. 4. Measured sound pressure level of 3 MW wind turbine.

한편, 1/3-옥타브 밴드별 측정결과는 Fig. 5 그리고 저주파 대역에서의 결과는 Fig. 6에 나타냈다. 1/3-옥타브 밴드별 음압레벨 역시 풍속 증가에 따라 증가하고 있으며 300 ~ 1000 Hz 밴드에서 주요 소음원을 갖는 주파수 스펙트럼 형상을 보여주고 있다. 이러한 형상은 풍력발전기 기종에 따라 일반적으로 다르게 나타난다. 만약 1/3-옥타브 밴드에서 특정 주파수 구간에서 큰 소음이 발생하는 경우는 협대역 주파수 분석을 통해 순음성 여부를 판정할 수 있다. 1~100 Hz까지의 저주파음의 측정값을 보면 주파수가 증가할수록 음압레벨 값이 선형적으로 감소하고 있다.

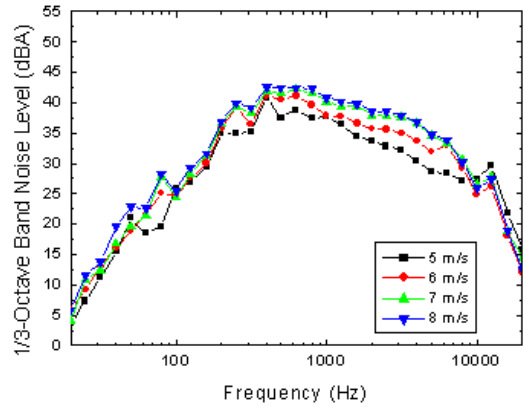


Fig. 5. Measured 1/3-octave band sound pressure level of 3 MW wind turbine.

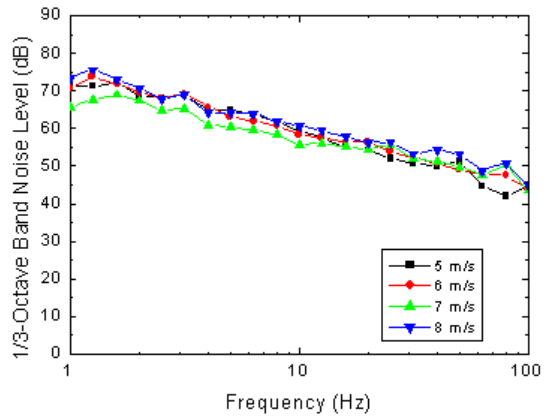


Fig. 6. Measured low frequency sound pressure level of 3 MW wind turbine.

풍력발전기의 주요 소음원은 기어박스, 발전기 등 기계적인 부분과 날개와 공기와의 접촉에 의한 공력 소음으로 구분할 수 있다. 이들 중 공력소음이 기계 소음에 비해 3 dB 이상 높기 때문에 풍력발전기의 주요 소음원으로 알려져 있으며, 이것은 Fig. 7에 나타난 것처럼 음향카메라를 사용하면 쉽게 확인이 가능하다. 음향카메라를 사용하여 측정할 경우 풍력발전기 날개의 팁 속력을 고려할 경우 영상과 함께 음원의 위치를 실시간으로 확인이 가능하게 된다.



Fig. 7. Measured wind turbine noise source wind acoustic array system.

최근 IEC 61400-11(3판, 2012)에서는 소형풍력발전기의 경우에 대해서도 소음측정방법을 부속서에 담고 있다. 주요 내용을 살펴보면, 우선 풍속은 운행풍속부터 11 m/s까지 구간에서는 소음 측정이 필수이고 가능하면 운행중단 풍속(약 25 m/s)까지 측정할 것을 권장하고 있다. 특히 음향과위 산출값으로부터 거리별로 Fig. 8과 같은 소음지도를 작성하도록 하고 있다.

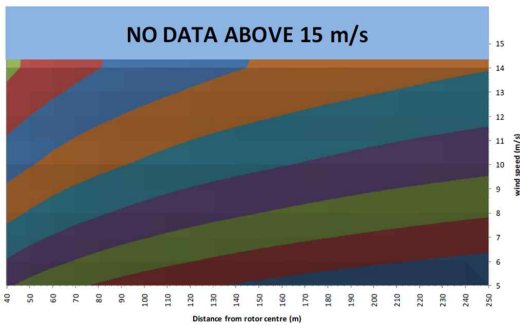


Fig. 8. Noise immersion map.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 풍력발전기에서 방사되는 소음을 측정하는 방법을 간략하게 소개하고 예로서 3 MW 풍력발전기에 대한 소음측정 결과를 살펴보았다. 아직까지도 풍력발전기 소음 측정에 대한 국내 연구는

미미한 실정이라고 할 수 있다. 풍력발전기 소음은 다른 경우와 다르게 바람이 불어야만 가능하기 때문에 아직도 많은 연구가 필요한 것이다. 최근에는 순음성에 대한 3-dB의 불이익 적용과 더불어 진폭변조 (amplitude modulation)에 대한 연구도 활발히 진행 중에 있다. 특히, 해상풍력발전기의 경우는 수중으로 방사되는 음에 대한 측정방법에 대한 규정이 아직까지 마련되지 못하고 있다. 외국의 경우도 이에 대한 연구가 진행 중에 있기 때문에 우리도 시급히 연구를 할 필요가 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) IEC 61400-11, 3rd Ed. Wind turbines - Part 11 : Acoustic noise measurement techniques, 2012.