

Research Paper

## 풍력발전시설 소음 측정 방법에 대한 고찰

이영진\* · 이종태\*\* · 민현경\*\* · 권선용\*\*\* · 이병찬\*\*\*\*

주식회사 한국엔브이\*, 신일환경(주)\*\*, 한국환경연구원\*\*\*, 한국교통대학교 환경공학전공\*\*\*\*

### A Study on the Noise Measurement Method of Wind Power Facilities

YoungJin Lee\* · Jongtae Lee\*\* · Hyunkyung Min\*\* ·  
Sunyong Kwon\*\*\* · Byungchan Lee\*\*\*\*

Korea NV Co., Ltd.\*

Sinil Environment Co. Ltd.\*\*

Korea Environment Institute\*\*\*

Dept. of Environmental Engineering, Korea National University of Transportation\*\*\*\*

**요약:** 최근 신재생에너지로서 바람의 힘을 이용한 풍력발전단지가 전국에 설치되면서 소음 문제가 대두되고 있다. 환경영향평가 및 사후환경영향평가에서도 풍력발전단지에 대한 배경소음 및 저주파소음을 측정하도록 하고 있으며, 특히 저주파소음은 환경부에서 2018년 공표한 저주파소음 관리 가이드라인에 따라 생활소음 측정방법을 준용하여 측정하도록 규정하고 있다. 고품속에서 큰 소음을 발생시키는 풍력발전기의 특성상 고품속에서 소음 측정이 이루어져야 하나 풍속이 증가할 경우 풍잡음이 증가하여 생활소음 및 저주파소음이 제대로 평가되지 못하는 문제가 발생되었다. 따라서 풍력발전기에서 발생하는 소음의 종류를 확인하고 풍잡음 등 풍력소음 측정시 고려되어야 할 사항을 확인하였다.

**주요어:** 풍력발전기, 저주파소음, 풍잡음

**Abstract:** Recently, as wind farms using wind power as new and renewable energy have been installed nationwide, noise problems have emerged. The environmental impact assessment and post-environmental impact assessment also require the measurement of background noise and low-frequency noise for wind farms, especially by applying the living noise measurement method according to the low-frequency noise management guidelines issued by the Ministry of Environment in 2018. Due to the nature of wind power generators that generate loud noise in high winds, noise measurement should be made at high winds, but when wind speed increases, wind noise increases and living noise and low-frequency noise are not properly evaluated. Therefore, the type of noise generated by wind power generators was confirmed, and matters to be considered when measuring wind noise such as wind noise were confirmed.

**Keywords:** Wind power generator, Low frequency noise, Wind noise

First Author: YoungJin Lee, Tel: +82-31-204-4231, E-mail: konv1@naver.com, ORCID: 0009-0006-2117-9339

Corresponding Author: Byungchan Lee, Tel: +82-43-841-5456, E-mail: bclee@ut.ac.kr, ORCID: 0000-0002-5723-1585

Co-Authors: Jongtae Lee, Tel: +82-31-346-0078, E-mail: jtlee@sienv.co.kr, ORCID: 0009-0002-8298-0032

Hyunkyung Min, E-mail: hkmin@sienv.co.kr, ORCID: 0009-0009-5671-6888

Sunyong Kwon, E-mail: sykwon@kei.re.kr, ORCID: 0000-0003-1018-2592

Received: 19 June, 2023. Revised: 12 October, 2023. Accepted: 13 October, 2023.



계측하여 지상에서의 풍속 상황을 확인하였다. 또한 측정 풍향은 풍력발전기를 통과하여 측정위치로 바람이 불어오는 시기를 고려하고 나셀에서의 풍속데이터는 발전시설 운영자 측에서 제공받아 활용하였다.

풍력발전기 운영 중 강제로 정지시킬 수 없는 특성 상 배경소음 측정은 유사지역(풍력발전단지에서 2 km 이상 이격된 지점에서 측정하였으며, 또한 여름철인 9월에 측정을 시도하였으나 배경소음(매미, 풀벌레 소리 등)이 40 dB(A)를 초과하여 풍력발전기 소음이

제대로 평가되지 못하는 측면이 있어 이를 고려하여 배경소음이 낮은 10월~12월에 측정을 수행하였다.

1. 측정 위치 및 장소

선정된 풍력발전시설은 지형의 다양성, 해안 및 내륙의 특성을 확인하기 위해 Figure 1에 나타난 바와 같이 제주도에 위치한 ○○풍력과 강원도에 위치한 ○○풍력을 대상으로 하였다. 제주도에 위치한 ○○풍력은 비교적 평지로 목초지역(목장)에 해당하며,

Table 2. Wind Turbine Specification

Site	Installation year	Total capacity (MW)	Model	Capacity (MW)	Number	Start wind speed (m/s)	Maximum wind speed (m/s)	Hub Height (m)
Jeju	2016.08	21	WinDS3000	3	7	3	25	80
Kangwon	2020.12	43.2	Vestas	3.6	12	3	22.5	115



(a) Jeju






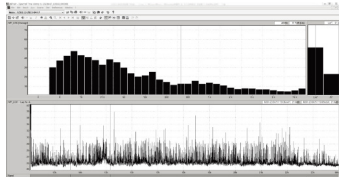
(b) Kangwon

Figure 1. Measurement site

Table 3. Measurement point and distance

Site	Picture	Point	distance	Reference
Jeju		A-1	118m	Wind speed
		A-2	283m	
		A-3	443m	
		A-4	931m	
Kangwon		B-1	35m	
		B-2	200m	
		B-3	510m	Wind speed
		B-4	960m	

Table 4. Specification of experimental equipment

Item	Maker	Model		Class	Characteristic
Sound Level Meter	01dB	Fusion		Class 1	40CE G.R.A.S. NESM-198 SD Momorycard (max128GB) Metrological audio recording Dynamic range 21-139 dB(A) Frequency weighting : A, B, C
Sound Pressure Calibrator	Larson & davis	CAL150		Class 2	Output Level : 94 or 114 dB Output frequency : 1 kHz
Wind direction & Anemometer	NAVIS	W12X /WSD		-	Logging: average and maximum Logging interval: selectable:10s, 1 min, 10 min, 60 min Wind speed resoluon: 0.1 m/s
Program	01dB	dBTrait			Temporal Analysis of Acoustical Quantities Frequency Analysis of Time Signals (Audio and Vibration) Multispectrum Analysis Result Processing

강원도에 위치한 ○○풍력은 산악지역으로 풍력발전기가 산의 능선에 설치되어 있어 측정지점과 고도가 상이하다는 특징이 있다.

2. 실험 장비

실험을 위해 사용된 장비는 소음계(01dB, Fusion), 음압교정기(L&D, CAL150), 풍향풍속계(NAVIS, W12X/WSD), 삼각대 등이며, 시간이력 분석 및 옥타브 분석을 위해 dBTrait(01dB) 프로그램을 사용하였다.

III. 연구 결과

1. 배경소음 측정 결과

1) 제주권역

Table 5는 제주권역 풍력발전단지외 유사한 지역에서 측정한 배경소음 측정자료로 5분간의 등가소음도와 1/3 octave 측정결과를 나타낸 것이다. 등가소음도는 약 31 dB(A)~40 dB(A) 범위로 나타났으며, 이 때 풍속은 최대 3.2 m/s로 계측되었다.

Table 5. Background noise in Jeju

Time	1/3 Octave dB			Leq Overall dB(A)	Wind speed m/s
	50 Hz	63 Hz	80 Hz		
15:00~15:05	52.1	46.7	42.4	37.3	3.2
17:00~17:05	42.9	37.3	33.9	36.3	1.7
19:00~19:05	35.7	34.9	38.2	35.4	1.3
22:00~22:05	34.8	32.8	31.5	31.4	0.2
07:15~07:20	38.4	34.0	33.5	33.5	1.0
09:40~09:45	42.4	44.8	39.1	39.6	2.6

Table 6. Background noise in Kangwon

Time	1/3 Octave dB			Overall dB(A)	Wind speed m/s
	50 Hz	63 Hz	80 Hz		
15:35~15:40	42.2	38.6	34.9	36.4	2.0
17:00~17:05	31.3	28.7	26.8	35.3	1.0
20:00~20:05	17.0	15.1	12.6	34.7	0.2
22:45~22:50	43.7	40.3	36.4	35.5	2.5
05:05~05:10	38.3	34.4	31.5	33.9	1.7
10:35~10:40	50.6	46.6	42.8	44.4	2.6

2) 강원권역

Table 6은 강원권역 풍력발전단지과 유사한 지역에서 측정된 배경소음 측정자료로 5분간의 등가소음도와 1/3 octave 측정결과를 나타내는 것이다. 등가소음도는 약 34 dB(A)~44 dB(A) 범위로 나타났으며, 이 때 풍속은 최대 2.6 m/s로 계속되었다.

저주파 소음에 대한 배경소음 측정 및 보정방법이 없고 측정시마다 풍속이 상이한 특성을 고려하여 지역별 측정결과에 보정하지는 않았다.

2. 제주권역 측정 결과

Figure 2는 5분 등가소음도와 지상에서의 풍속 측정 데이터를 비교한 결과로 지상에서의 풍속은 시간에 따라 변화가 크며, 소음 또한 변동폭이 10 dB(A)

이상인 것을 확인할 수가 있다. 이는 측정시간에 따라 풍속 및 소음이 변화하므로 현재 측정방법인 주간 4회, 야간 2회 측정은 해당 지역 풍력소음의 대푯값으로 보기 어려울 수 있다는 것을 보여준다.

Figure 3은 저주파 대역(50 Hz, 63 Hz, 80 Hz)에 대하여 1/3 옥타브 분석을 실시한 것으로 지상풍속과 나셀에서의 풍속을 저주파대역에서의 소음과 연관성을 확인하기 위한 것이다. 그 결과 나셀에서의 풍속보다 지상의 풍속과 더 상관관계가 높다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 측정장비 인근의 풍속에 의한 풍잡음이 저주파 대역의 소음에 상당한 영향을 미치고 있음을 추정할 수 있었다. 다만, 풍력발전기는 3 m/s 이상에서 회전되나 발전단지 운영자 측에서 제공한 자료에는 3 m/s를 초과하지 않는 데이터가 있어 현장

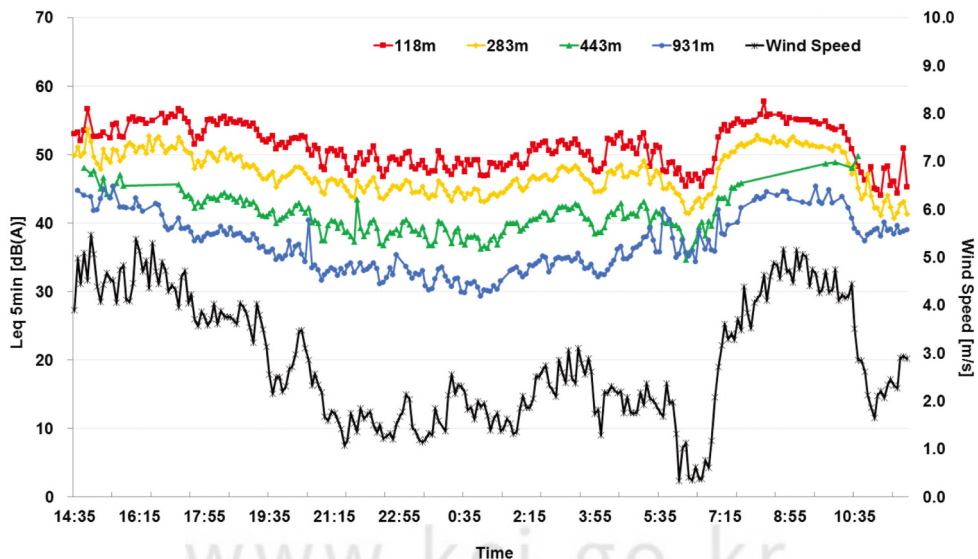


Figure 2. Leq (5min) time history data with wind speed in Jeju

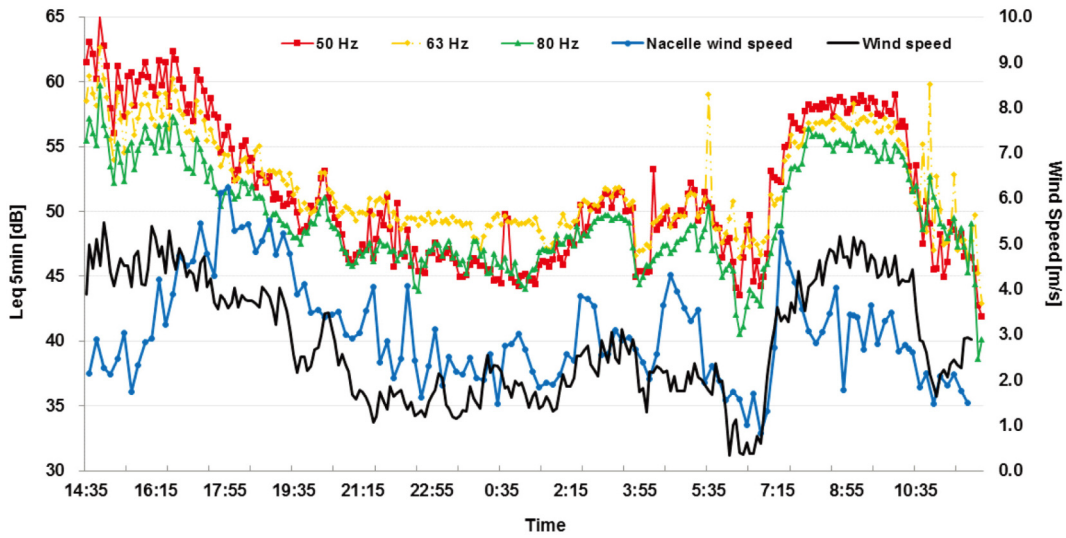


Figure 3. 50Hz, 63Hz, 80Hz time history data with wind speed in Jeju

측정시 블레이드가 회전하고 있는 상황에서 나셀에서의 풍속이 정확한지는 확인이 불가능하다는 한계가 있다.

Figure 4는 지상에서 특정한 풍속에서 저주파대역 전체에 대한 소음도를 분석하여 저주파소음 가이드라

인과 비교한 것이다. 그 결과 풍력발전기와 근접할수록 저주파 소음이 크게 측정된 것을 확인할 수 있고, 지상풍속이 증가할수록 저주파소음이 증가한다는 것을 알 수 있다. 다만, 931 m에서는 측정값이 오히려 증가하였는데 이는 다른 측정지점 보다 지면의 높이

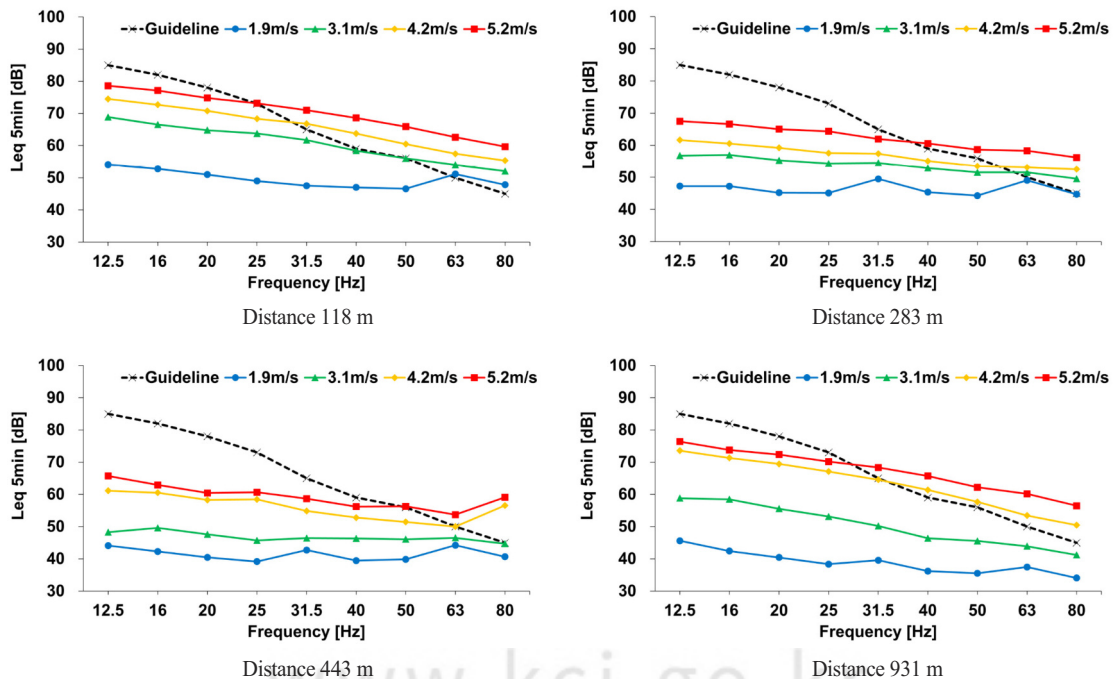


Figure 4. Sound Pressure Level according to wind speed by distance in Jeju

가 높아 상대적으로 풍속이 커진 영향일 것으로 추정된다. 그러한 관점에서 보면 931 m에서의 낮은 풍속이 약 3 m/s(118 m 지점에서 측정한 풍속) 이상일 때 40 Hz~80 Hz에서는 저주파 소음기준을 초과하고 있다. 풍력발전기의 영향이 상대적으로 적은 원거리에서 측정한 것임에도 불구하고 풍속에 따라 소음이 커지는 것을 볼 때 특정 풍속 이상일 때 순수한 풍잡음 만으로도 저주파 소음기준을 초과할 수 있다는 것을 추정할 수 있다.

## 2. 강원권역 측정

강원권역의 경우 10월에 측정한 데이터로 근접한 풍력발전기 3호기에서부터 약 35 m, 200 m, 514 m, 960 m 이격된 위치에서 24시간 동안 측정하여 5분 등가소음도로 분석하고 514 m 위치에서 지상풍속 계측을 병행하였다.

Figure 5는 5분 등가소음도와 지상에서의 풍속 측정 데이터를 비교한 결과로 지상에서의 풍속이 시간에 따라 변화가 크며, 소음 또한 변동폭이 10 dB(A)

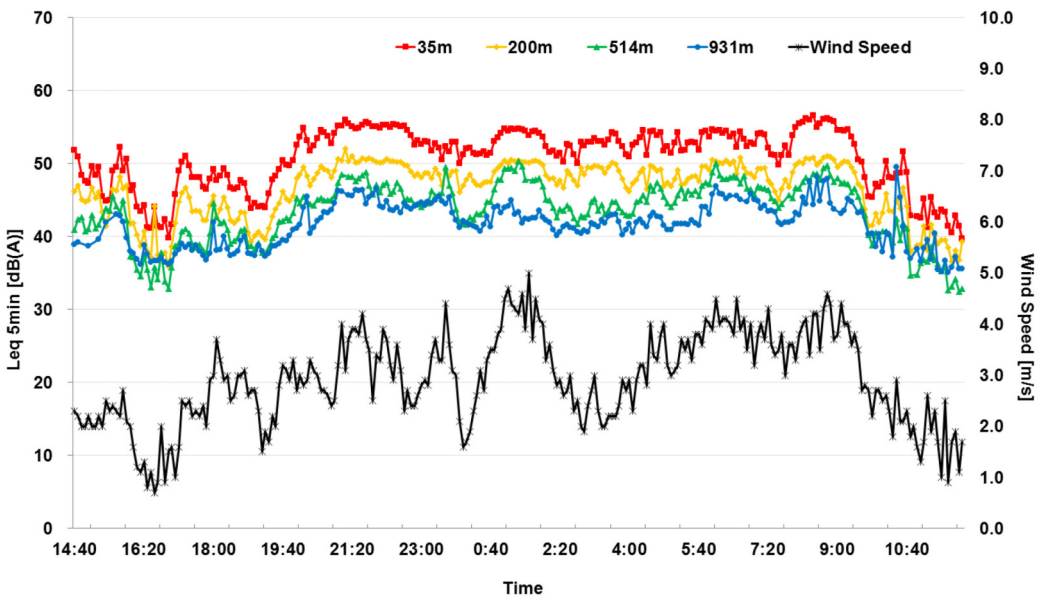


Figure 5. Leq (5min) time history data with wind speed in Kangwon

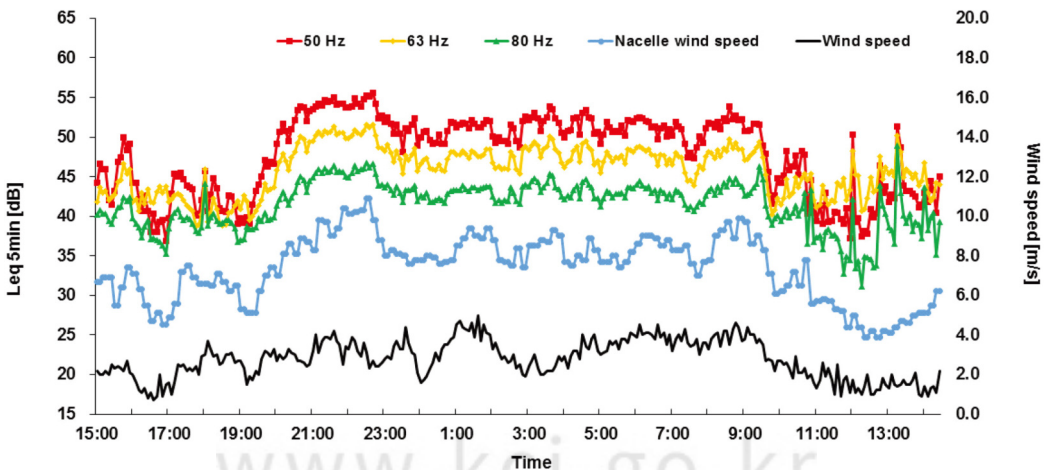


Figure 6. 50Hz, 63Hz, 80Hz time history data with wind speed in Kangwon

이상인 것을 확인할 수가 있다. 제주권역에서 측정한 데이터와 같이 측정시간에 따라 풍속이 변화하므로 현재 측정방법인 주간 4회, 야간 2회 측정시 풍속 측이 병행되지 않을 경우 해당 지역 풍력소음의 대푯값으로 보기 어려울 수 있다는 것을 보여준다.

Figure 6은 저주파 대역(50 Hz, 63 Hz, 80 Hz)에 대하여 1/3 옥타브 분석을 실시한 것으로 지상풍속과 나셀에서의 풍속을 저주파대역에서의 소음과 연관성을 확인하기 위한 것이다. 그 결과 나셀에서의 풍속이 지상에서의 풍속보다 더 상관관계가 높다는 것을 확인할 수 있다. 이는 제주도에서 측정된 데이터와 다른 결과를 나타낸 것으로 나셀에서의 풍속이 제주도에서 측정할 때 보다 높아 풍력발전기에서 발생하는 소음이 지상의 풍속에 의한 풍잡음 보다 더 큰 영향을 미치는 결과를 보여주는 것이다. 즉, 지상풍속이 낮고 나셀에서의 풍속이 높을 때는 풍력발전기의 소음이 크게 작용하며, 나셀에서의 풍속이 낮고 지상풍속이 커질 때는 지상의 풍속에 의한 풍잡음이 커지는 결과를 도출할 수 있었다.

Figure 7의 그래프는 지상에서 특정한 풍속별 저

주파대역 전체에 대한 소음도를 추출하여 저주파소음 가이드라인과 비교한 것이다. 그 결과 풍력발전기와 근접할수록 저주파 소음이 크게 측정된 것을 확인할 수 있고, 지상풍속이 증가할수록 저주파소음이 증가한다는 것을 알 수 있다. 다만 514 m 지점에서는 지상 풍속이 4 m/s에서 저주파소음 가이드라인을 일부 주파수에서 초과하는 것을 볼 수 있는데 이는 타 지점보다 개활지로서 바람의 영향이 큰 지점이므로 먼거리보다 오히려 저주파 소음이 커졌다는 것을 추정할 수 있다. 따라서 풍잡음이 저주파 대역에서 일정 풍속을 초과할 경우 측정소음에 영향을 미칠 가능성을 확인할 수 있었다.

### 3. 풍속과 일반소음 및 저주파소음 분석

앞의 실험 결과는 풍력발전기 인근에서 측정된 결과로 풍속이 증가할 때 풍력발전기의 회전수가 증가하여 소음이 증가하는 측면과 풍잡음에 의한 소음의 증가가 혼합되어 있다고 할 수 있다. 따라서 풍속의 증가에 따른 순수한 풍잡음의 증가가 Overall 소음 및 저주파소음에 얼마나 영향을 미치는지 확인하고자

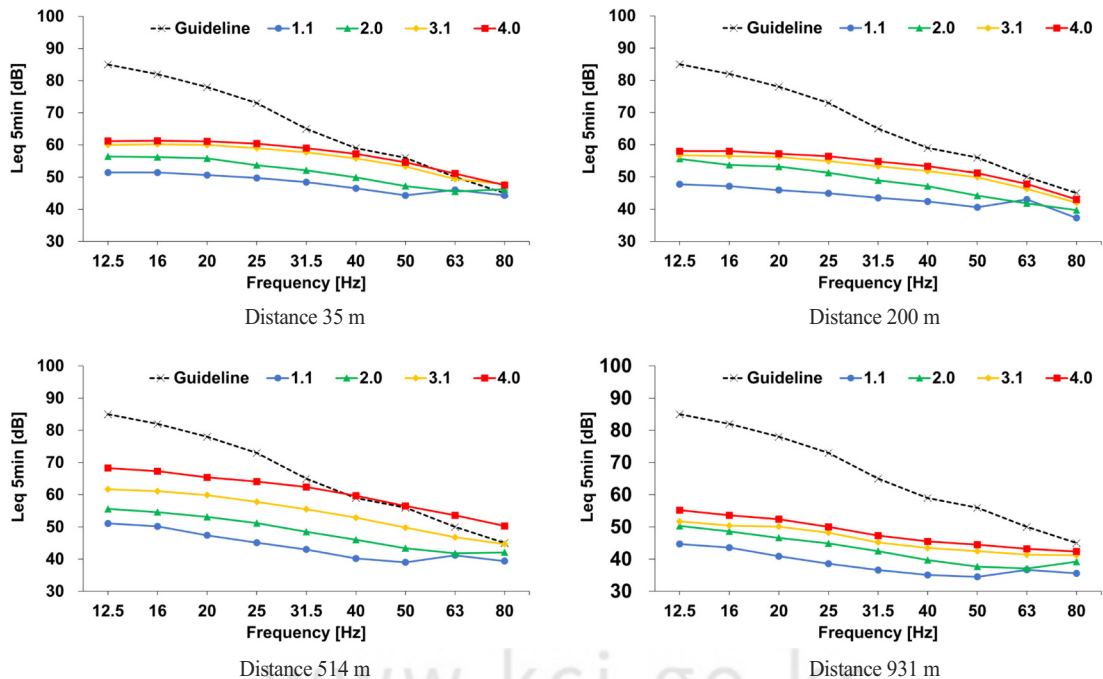


Figure 7. Sound Pressure Level according to wind speed by distance in Kangwon

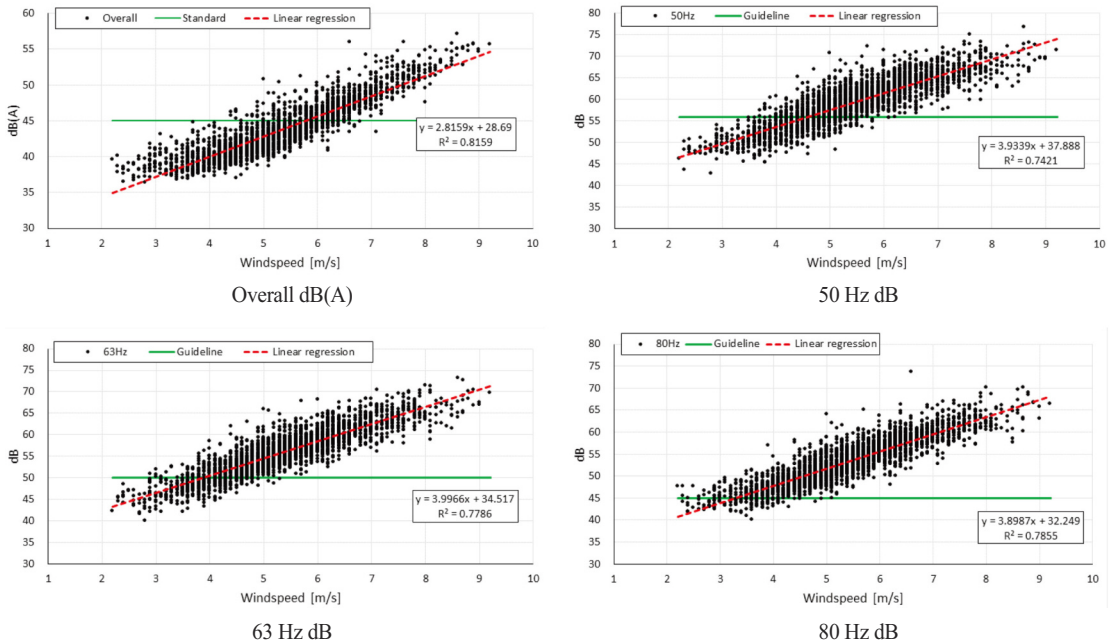


Figure 8. Relationship between Wind Speed and Noise in Non-Wind Generator Impacts

하였다. Figure 8은 제주 ○○풍력의 풍력발전기로부터 소음의 영향이 미치지 않을 상당히 이격된 위치에서 소음계 제조사에서 제공한 방풍망이 설치된 상태에서 풍속과 함께 30분 이상 초당 소음 및 풍속을 측정된 결과이다.

그 결과 Overall 소음(전 주파수 대역의 합성)은 약 6 m/s 정도의 풍속일 때 생활소음 규제기준의 45 dB(A)를 초과하며, 50 Hz의 경우 약 4.6 m/s, 60 Hz의 경우 약 3.8 m/s, 80 Hz의 경우 약 3.2 m/s를 초과할 경우 저주파소음 가이드라인을 초과하는 것으로 나타났다. 즉, 생활소음 규제기준 측정방법에 따라 5 m/s~6 m/s에서 Overall 소음은 측정이 가능하나 저주파소음은 이미 가이드라인을 초과하고 있어 제조사에 따라 제공되는 방풍망의 풍잡음 저감 성능에 약간의 차이가 있을 수 있음(Lee & Lee 2019)을 고려하더라도 저주파소음을 풍속이 5 m/s~6 m/s에서 측정하기는 어려울 것으로 판단된다.

#### 4. 소음원 분석

##### 1) 주파수 특성 및 시간이력 특성 분석

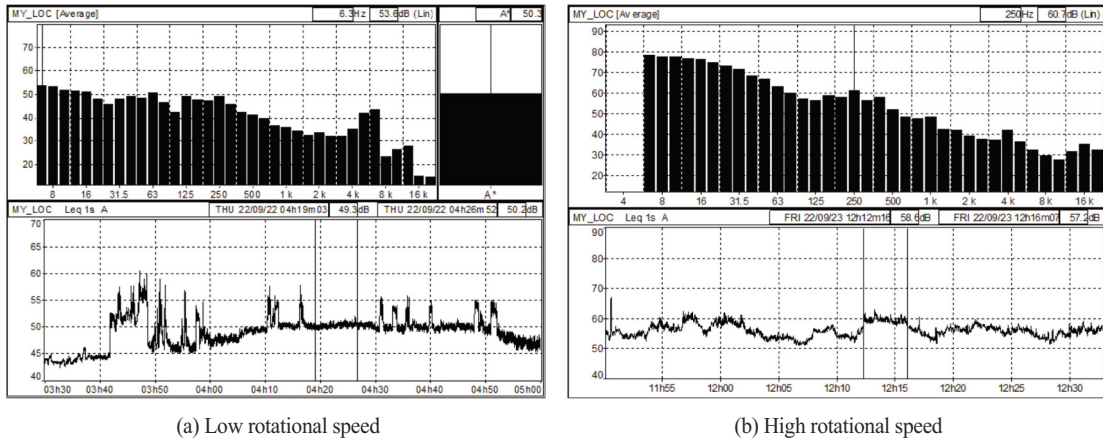
풍속이 낮은(4 m/s 이하) 상황에서 블레이드가 회

전할 때와 고풍속(7 m/s 이상)일 때 주파수 특성을 비교하였다. Figure 9에 나타난 바와 같이 저풍속과 비교하여 고풍속일 때 전 주파수 대역에서 소음이 증가하기는 하나 특히 저주파대역(100 Hz 이하)에서 큰 증가량을 보였다. 이는 블레이드와 공기의 마찰에 의한 소음이 저주파대역을 크게 증가시키고 있다는 것이며, 바람이 강해질수록 소음은 증가할 수 있음을 확인할 수 있다.

또한 아래의 시간이력에서 보는 바와 같이 측정하는 시간에 따라서 소음의 크기를 다양하게 평가될 수 있음을 확인할 수 있다.

##### 2) 요잉시스템

풍향이 변화할 때 나셀을 회전시키는 요잉시스템에 의해 소음이 발생된다. 제조사에 따라 소음의 크기와 횟수가 다를 수 있으나 해당 측정지점에서는 50 dB(A)을 초과하고 대체로 5~10분에 1회전하는 것을 확인하였다. 또한 블레이드 회전과 상관없이(블레이드가 회전하지 않는 풍력발전기에서도 발생) 발생되며, 50 Hz와 그의 배수인 하모닉 성분이 증가하는 것을 볼 때 블레이드 회전에 따른 주파수와 다른 특성을



(a) Low rotational speed

(b) High rotational speed

Figure 9. Noise characteristics according to rotational speed

가지고 있다. 따라서 빈도가 높은 경우에는 나셀이 회전할 때 발생하는 소음도 측정결과에 포함되어 평가되는 것이 타당하다.

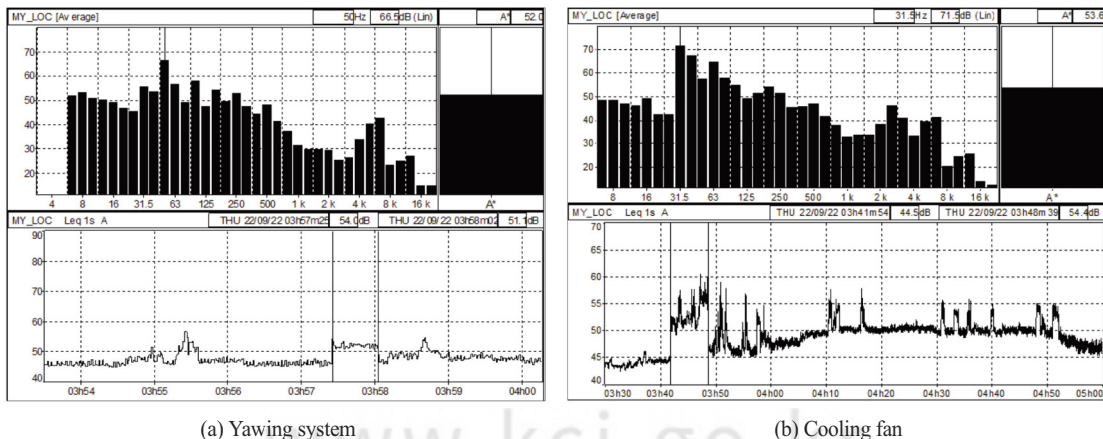
3) 냉각팬

터빈의 과열이나 환기를 위해 냉각팬이 작동된다. Figure 10에 나타낸 바와 같이 비주기적으로 작동하나 소음의 크기는 상당히 증가하는 것을 볼 수 있다. 여름철에 빈번히 작동되며, 31.5 Hz에서부터 증가하므로 저주파 소음측정에 영향을 미칠 수 있다. 측정지점 인근 주민에 따르면 이러한 소음이 더 시끄럽다고 표현하는 경우가 있어 빈도가 높은 경우에는 측정결과에 포함되어 평가되는 것이 타당하다.

III. 고찰

풍력발전시설에서 24시간 동안 풍력발전기의 소음 측정을 수행하여 시간별 분석, 주파수 분석, 각 설비의 소음 특성 등을 검토하였다. 그 결과 풍력발전기에서 발생하는 소음 특성을 확인할 수 있었고, 그에 따라 생활소음 및 저주파소음 측정시 고려되어야 할 사항을 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 환경영향평가 등에서 생활소음 및 저주파소음은 분기별로 총 4회를 측정하고 있으나 여름철에는 풀벌레소리, 매미소리 등의 배경소음이 크므로 여름철 측정시 주의하여야 한다.



(a) Yawing system

(b) Cooling fan

Figure 10. Noise characteristics of yawing system and cooling fan

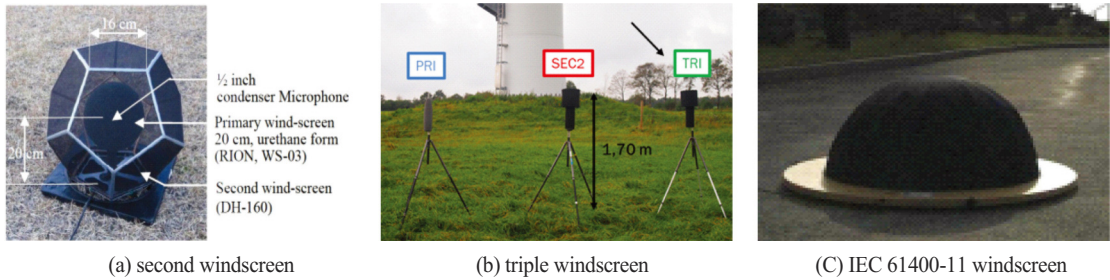


Figure 11. Windscreen with excellent wind noise reduction effect

- (2) 현행과 같이 낮시간대 4회, 밤시간대 2회의 소음측정으로는 풍속에 따라 달라지는 소음의 변화로 인해 대표성을 가지기 어려우므로 24시간 측정을 통해 분석되어야 한다.
- (3) 측정지점마다 풍속이 달라(특히 산악지역이 심함) 바람에 의한 영향을 확인하기 어려우므로 풍속계를 설치하여 측정 지점의 풍속을 함께 기록하여야 하며, 가능한 경우 나셀 높이에서의 풍속 또한 병행 기록할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 요잉시스템의 경우 5~10분 간격으로 발생하는 비주기적, 비정상소음으로 바람의 방향이 바뀌는 경우 발생하고 냉각팬 작동 또한 비주기적으로 작동하나 만약 발생 빈도가 높아 등가소음도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 경우 측정에 포함될 수 있도록 10분 등가소음도 측정도 고려되어야 한다.
- (5) 일반적으로 사용하는 소음계의 방풍망(소음계 구매시 제조사에서 제공하는)으로는 풍잡음으로 인하여 측정결과를 신뢰하기 어려우므로 측정시 주의하여야 하고 풍잡음 저감효과가 우수한 2중 방풍망(Park at al. 2015), 3중 방풍망(S 2019), KS C IEC 61400-11에서 제시한 지면 측정 등의 대책이 필요하며, 특히 고풍속에서의 풍력발전기에 대한 저주파대역 측정방법 연구가 반드시 필요하다.

#### IV. 결론

풍력발전시설에 대한 소음측정시 생활소음 및 저주파소음이 고려된다. 생활소음은 측정방법에 의해 5분 동안의 등가소음도( $L_{Aeq}$ )로 낮시간대 4회, 밤시간대 2회 측정하여 각각 평균하며, 저주파소음 또한 생활소음 측정방법에 따라 측정 및 분석을 수행하고 있다.

그러나 앞의 연구결과에 나타난 바와 같이 5분간의 측정은 풍속 등과 같은 요인에 의해 해당 지역 소음의 대표성을 가지기 어렵고 측정간의 편차가 크게 발생할 가능성이 높다. 따라서 5분 보다는 좀 더 장시간 측정을 통해 해당 풍력발전시설에서 발생하는 소음의 대표성을 가질 수 있도록 하여야 하며, 소음측정시 풍속 계측이 반드시 병행될 수 있도록 하여야 한다.

그와 더불어 각 풍력발전기 제조사 및 모델별로 KS C IEC61400-11에서 제시하고 있는 방사소음의 검토가 이루어져야 할 것이며, 배경소음, 풍잡음 등 측정에 영향을 미치는 요인을 고려한 측정방법이 확립되어야 할 것이다. 특히, 저주파소음은 일정한 풍속 이상에는 현재의 저주파 소음기준을 초과할 가능성이 있으므로 이에 대한 좀 더 정밀한 추가 연구가 필요하다.

#### 사사

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(과제번호: 20203020020040)의 지원을 받아 한국환경연구원이 수행한 수탁연구사업(2023-011(R))의 연구결과로 작성되었습니다.

## References

- Lee YJ, Lee JW. 2021. An Experimental Study on the Characteristics of a Windscreen for Reducing Wind Noise. Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 31(6): 708-718. [Korean Literature]
- Park YM, Choung TR, Son JH. 2011. Study on Noise and Low Frequency Noise generated by Wind Power plant (Wind Farm). Journal of Environmental Impact Assessment, 20(4): 425-434. [Korean Literature]
- Park YM, Kim GG, Kim GM. 2015. Noise Environmental Impact Assessment and Management by Wind Power Plant (Wind Farm), Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Park YM, Kim GM. 2017. Environmental Impact Assessment of Wind Noise Current status and improvement plan. Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 27(2): 8-13. [Korean Literature]
- S Martensa, M Boasb, T Bohna, R Rolfesa. 2019. Towards the use of secondary windscreens to improve wind turbine sound measurements. 15th EAWC PhD Seminar on Wind Energy 29-31 October 2019, Centrale Nantes, France.
- Son EK, Lee GS, Lee JJ, Kang SG, Hwang SM, Park SI, Kim SK. 2018. 1.5MW Wind Turbine Noise Measurement and Analysis of Low-Frequency Noise, New & Renewable Energy, 14(4). [Korean Literature]