

# 상류형 풍력 터빈의 주요 소음원과 방사소음에 대한 실험적/이론적 고찰

## Experimental and Theoretical Study on Main Noise Sources and Its Radiations of Upwind Wind Turbines

이광세\* · 정철웅† · 신수현\* · 정성수 \*\*

Gwang-Se Lee, Cheolung Cheong, Su-Hyun Shin and Sung-Soo Jung

Key Words : wind turbine noise, beam-forming method, inflow broadband fan noise, airfoil-self noise, power regulation methods

### ABSTRACT

In this paper, the main noise sources and its radiated noise levels of upwind horizontal-axis wind turbines are experimentally and theoretically investigated. Theoretical predictions for indentifying the dominant source locations are made by using the empirical noise prediction model of Brooks et al. (1989) for the airfoil self noise. Through the comparison of theoretical results with the experimental results, turbulence-boundary-layer-trailing-edge (TBL-TE) noise is revealed to be the dominant source over all frequency range and separation and stall (S-S) noise is possibly important in the relative lower frequency range compared with TBL-TE noise.

### 1. 서론

풍력발전기 소음에 의한 분쟁을 최소화하기 위하여 효율적이고 정확한 풍력발전기 소음 예측이 요구된다. 이에 본 연구에선 준-실험적 단일 에어포일 예측 코드를<sup>(1)</sup> 확장하여 기존의 국내 풍력발전기에 대한 소음을 예측하고 IEC 61400-11 방법에 기반한 실증 평가내의 측정 소음과 비교 하였다.

### 2. 측정

#### 2.1 측정대상

Table 1 Target Wind Turbine Specification

Rated power	750 kW
Rated wind speed	12 m/s
Range of wind speed	3-25 m/s
Power control	Blade pitch
Tip speed ratio	7.5
Nominal rotor speed	25 rpm
Range of rotor speed	9-25 rpm
Rotor diameter	50.0 m
Hub height	50.0 m

† 교신저자; 부산대학교 기계공학부  
E-mail : ccheong@pusan.ac.kr  
Tel : (051) 510-2311, Fax : (051) 514-7640

\* 부산대학교 기계공학부 대학원

\*\* 표준과학연구원

측정 대상 풍력발전기의 사양은 Table 1 과 같다. 대상 발전기는 피치제어방식을 출력제어 방식으로써 이용하고 있다.

#### 2.2 측정결과

측정 결과는 허브에서의 풍속이 9.2 m/s 일 때의 1/3 Octave Band Level (OBL)로서 국내 산업자원부의 지원으로부터 진행된 실증보고서로부터 구하였으며, Fig. 1 과 같다<sup>(2)</sup>.

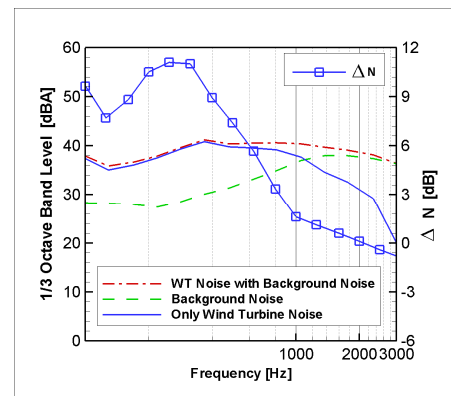


Fig. 1 Measured wind turbine noise with background noise, background noise, wind turbine noise and  $\Delta N$ .

1 kHz 이상의 주파수 영역에선 발전기 소음과 배경 소음간 차이( $\Delta N$ )가 적어 예측과 비교를 위한 측정치는 100 Hz 와 1 kHz 사이 주파수 구간의 결과에서만 유효하다. 이러한 측정 소음치의 한계에도 불구하고, 풍력단지로부터의 소음은 가청 영역대내

의 평가로 A 가중치가 적용되고 원거리 방사 시 공기 흡음이 고려되기 때문에 주어진 주파수 구간이 원거리 소음평가에 있어 가용한 결과로 고려한다.

### 3. 예측

예측은 Brooks 와 그의 동료들의 준-실험적 식을 풍력발전기의 3 차원 거동에 따라 확장하였다. 풍력발전기의 소음원은 회전의 반경의 60% 이상 영역에 주로 분포하며<sup>(3)</sup>, 이 영역 내의 대상 발전기의 구성 에어포일의 그 형상은 NACA63 시리즈이다. 이 형상의 경우 주어진 풍속에서 발전기 피치각이 3 도 일 때 그 양력이 최대가 된다<sup>(4)</sup>. 대상 발전기는 가변피치제어 방식의 발전기로서 출력의 최대화를 위해 양력이 최대가 되도록 그 받음각을 조절한다 가정하였고 이로서 풍력발전기 피치각이 3 도라 가정하여 예측을 수행하였다. 여러 풍력발전기 소음원 중 Tip Vortex 소음의 경우 실제 매우 미약한 것으로 판단되었고 Tip Vortex 소음 계산시 정밀한 유도 받음각 (induced attack angle) 계산에 의한 비용을 줄이고자 본 예측에선 Tip Vortex 소음의 예측은 제외하였다<sup>(5)</sup>.

#### 3.1 예측 결과

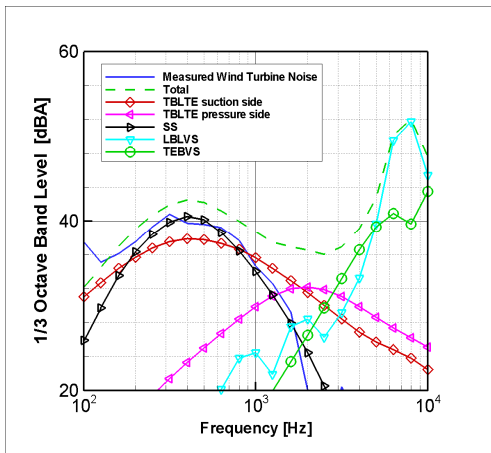


Fig. 2 Comparison between measured wind turbine noise and each predicted noise source.

1 kHz 이상 주파수 영역에서 Fig. 2 와 같이 Laminar Boundary Layer Vortex Shedding (LBLVS)과 Trailing Edge Bluntness Vortex Shedding (TEBVS) 소음원들에 의한 상당한 과예측이 발견 되었다. 이는 기존의 현대적 대용량 풍력발전기에 대한 또 다른 예측에서<sup>(6)</sup> 발견된 과예측과 동일한 양상이다. 이 결과를 바탕으로 대상 풍력발전기 소음 예측 시에는 Turbulent Boundary Layer Trailing Edge(TBLTE) 와 Separation and Stall (SS) 소음을 주요한 소음원으로 고려하고 또한 공기 흡음(air attenuation)을 적용하여 소음 예측을 시도하였고 그 결과는 Fig. 3 과 같다.

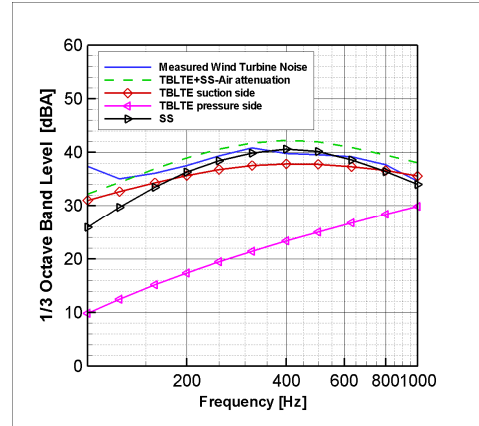


Fig. 3 Comparison between measured noise and predicted noise of main sources with air attenuation.

### 4. 결론

실제 운용 중인 풍력발전기의 실증 과정에서의 소음 측정치를 기반으로 주요 소음원 파악을 위한 예측치와 측정치의 비교결과를 제시 하였다. 이 결과를 바탕으로 환경 평가 시 주요 주파수 범위인 100 Hz 에서 1 kHz 사이에 주파수에 대한 정확한 소음 예측(2 dB 이내 차이) 수행을 통하여 예측 시 주요 소음원 파악의 중요성을 확인 하였다.

### 후 기

본 논문은 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)” 과 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 331-2008-1-D00083).

### 참고 문헌

- (1) Brooks, T.F, et al., 1989, “ Airfoil Self-Noise and Prediction,” NASA Reference Publication 1218, National Aeronautics and Space Administration,USA.
- (2) Ji-Yun Ryu et al., 2004, “ A Study on Field Test for 750kW Gearless Type Wind Turbine” , Final report 2004-N-WD11-P-03, MOCIE.
- (3) Gwang-Se Lee et al., 2009, “ Localization of Acoustic Sources on Wind Turbine by Using Beam-forming Techniques” , Transaction of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, 809-815.
- (4) Abbott et al., 1945, Summary of airfoil data, NACA ACR No. L5C05.
- (5) Oerlemans, S., et al., 2007, “ Location and Quantification of Noise Source on a Wind Turbine,” Journal of Sound and Vibration, 299, pp.869-883.
- (6) G. Leloudas et al., 2007, “ Prediction and Reduction of Noise for a 2.3 MW Wind Turbine” , The Science of Making Torque from Wind, Journal of Physics: Conference Series, 75:1- 9.