

풍력발전기 고체음 저감을 위한 Sand-damper 진동해석

Vibration Analysis of Sand-Damper for Attenuation of Wind Turbine Structure-borne noise

지우진† · 박용환* · 임인규* · 김재홍*

Woojin Ji, Yonghwan Park, Ingyu Lim and Jaehong Kim

1. 서 론

풍력발전기의 주 소음원은 블레이드로부터 발생하는 공력소음원(Air-borne noise source)과 기어박스 및 유압장비 등으로부터 발생하는 구조소음원(structure-borne noise source)으로 나눌 수 있다. 공력소음원은 주로 블레이드 주변의 유동특성(난류, 경계층, 날개끝 와류 등)의 상호작용에 의해 발생하며, 주파수 특성은 저주파수 및 광대역주파수(broadband frequency) 특성을 가진다. 반면 구조소음원은 기어박스, 베어링 등의 회전체에서 기계적인 기진력에 의해 발생하며 중주파수대역에서 톤(tone)특성을 가진다. 일반적인 풍력발전기의 경우 블레이드 회전에 의한 공력소음원이 지배적인 소음원이지만 풍력발전기 소음평가 시 톤 소음에 대한 Penalty가 있으므로 톤 소음 레벨이 작더라도 톤 소음에 대한 정량적인 평가가 필요하다. 이러한 톤 소음은 주로 nacelle cover에 설치되는 환기구(ventilation hole), nacelle cover와 주 구조물(main frame) 사이의 갭(gap)을 통해 직접 전파하기도 하며, 진동의 형태로 tower로 전파하여 tower shell에 진동을 발생시키고 발생한 진동은 공기음을 발생시켜 공기 중으로 수음원(receiver)에 전파하게 된다. 또한 tower의 진동은 공기 중으로 전파하는 소음을 발생시킬 뿐만 아니라 tower를 따라 전파된 진동이 수중 하부구조물의 진동을 발생시켜 수중소음(underwater noise)을 발생시킬 수 있으므로 저진동 기계장치의 적용 또는 주구조물로 진동전파를 감소시키는 진동절연장치가 필요하다. 본 논문에서 다루어지는 sand damper는 sand의 감쇠효과(damping effect)를 이용하여 tower로 전파하는 진동을 감소시키는 장치이다. Figure 1은 개

략적인 풍력발전기의 소음 발생 및 전파 현상을 나타낸다. 본 논문에서는 해상풍력발전기의 다양한 소음원 중 구조소음원의 감소를 위해 제안된 sand damper의 진동해석에 대해 초점을 두었다.

2. Sand Damper 진동해석 결과

2.1 Tower 및 Sand damper model

풍력발전기에서 가장 큰 구조소음을 발생시키는 장치는 증속기(gearbox)이다. 일반적인 풍력발전기의 경우 회전수 증가를 위해 다단 증속기가 나셀 내부에 설치되며 기어맞물림(gear meshing) 주파수로 하중변동 또는 토크 변동(torque variation)을 발생시킨다. 발생한 변동력(variation force)은 구조물의 진동을 발생시키고 블레이드 및 타워로 전파하게 된다.

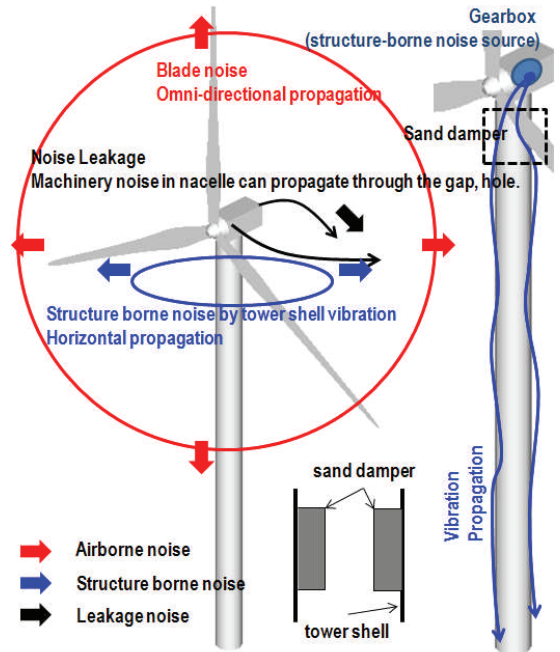


Figure 1 Schematics of wind turbine noise sources & sand damper

† 교신저자: 지우진, 삼성중공업(주) 조선해양연구소

E-mail : woojin.ji@samsung.com

Tel : 055-630-6461, Fax : 055-630-8587

* 삼성중공업(주) 조선해양연구소

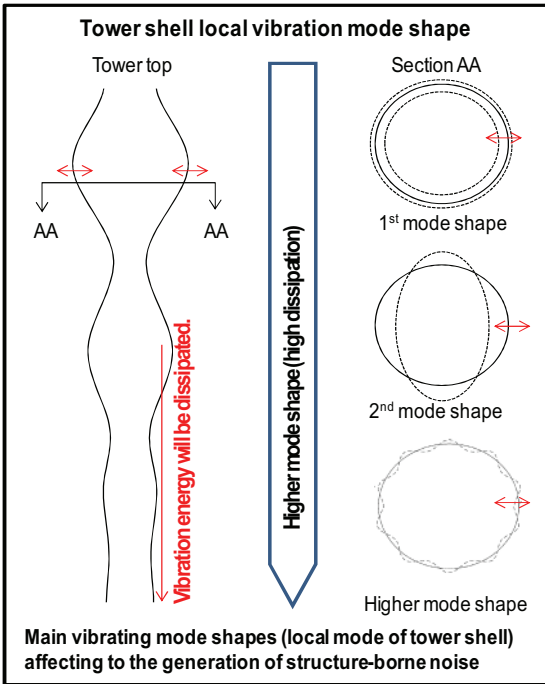


Figure 2 Local vibration mode shapes of tower shell

타워의 진동형상은 매우 복잡한 형태로 나타나는데, 저차 모드(mode)는 주로 tower 자체의 굽힘 형태로 나타나게 되며, 이런 저차 모드(고유진동수 10Hz 이하)는 소음 방사 효율(radiation efficiency)이 매우 낮기 때문에 구조 소음해석 시 고려대상이 아니다. 구조소음 방사에 지배적인 영향을 미치는 tower의 진동 모드는 Figure 2와 같이 tower shell의 국부적인 진동모드이다. 따라서 tower의 유한요소모델(finite element model)은 2D shell 또는 3D solid로 모델링 되어야하며, 모델링 시 고차 진동모드를 모사하기 위해 요소크기도 고려되어야 한다.

Figure 2에서 보이듯이 진동에너지는 tower 상부에서 가장 크며 tower 하부로 전파할수록 material damping에 의해 감소하게 된다. 따라서 sand damper는 target frequency의 진동모드를 파악하여 tower 상부의 anti-node 근처에 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 본 연구에서는 650Hz를 target frequency로 설정하고 tower 상부에 sand damper를 설치하였고, sand의 damping coefficient는 0.05로 설정하였다. (tower shell의 damping coefficient 0.02) Figure 3은 진동해석을 위해 유한요소로 모델링된 풍력발전기를 나타내며, 가진력은 torque의 형태로 gearbox center 위치에 가해지며, 크기는 약 34 kNm를 적용하였다.

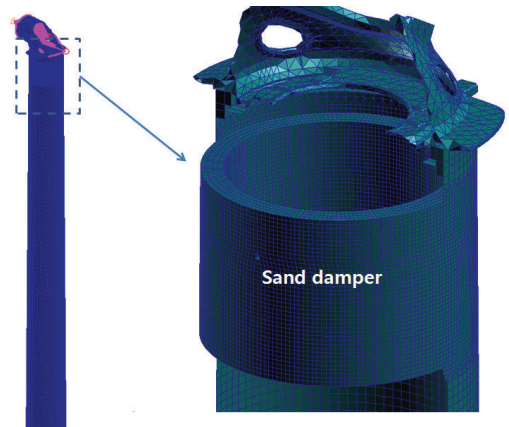


Figure 3 Sand damper & tower model

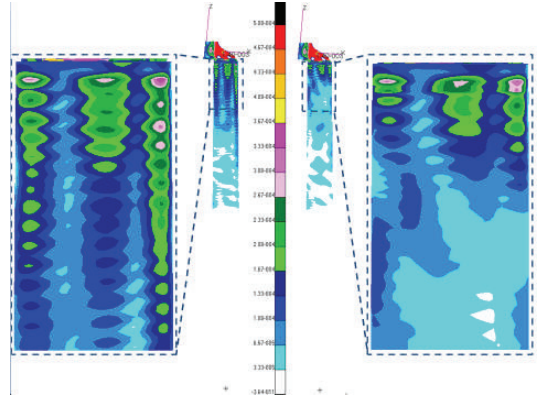


Figure 4 Tower shell velocity contour for each case

2.2 Tower 및 Sand damper 진동해석 결과

Figure 4는 sand damper 미설치 및 설치 시 tower shell의 진동레벨을 나타내며, 그림에서 보듯이 Sand damper를 지나면서 진동레벨이 감소함을 볼 수 있다. 또한 sand damper를 적용할 경우 진동레벨은 target frequency에서 약 0.5배로 감소함을 볼 수 있다. 이는 방사효율을 고려하지 않을 경우 소음감쇠 레벨은 6dB에 해당한다.

3. 결 론

풍력발전기 tower 진동에 의해 발생하는 구조소음의 감소를 위해 제안된 sand damper의 진동해석을 수행하였다. Sand damper를 적용한 경우 tower shell에서 예측된 진동레벨은 최대 0.5배로 감소하였으며, 소음레벨로 환산 시 약 6dB 정도의 감음을 발생시킴을 알 수 있었다. 따라서 타워진동으로부터 발생하는 토음 소음문제 발생 시 효과적인 구조소음 감쇠 장치로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.