

# 등가타워 모델링기법을 이용한 수직축 풍력발전기 운전 진동시험

## Operational Vibration Test for VAWT using Equivalent Tower Modeling Technique

오민우\* · 김동현† · 추헌호\* · 신요셉\*

Min-Woo Oh, Dong-Hyun Kim, Heon-Ho Choo and Yo-Seph Shin

### 1. 서 론

현재 세계적으로 나타나고 있는 지구온난화 등의 이상기상현상에 대한 우려 속에 가장 실용적인 대안으로 인정받고 있는 분야는 풍력발전이다.

본 논문에서는 풍력발전기 타워를 소형풍력발전기에 체결한 후 지상 풍동 베이스에 설치하고 송풍기를 이용하여 가진 응답 실험을 수행하였다. FEM 진동해석결과를 바탕으로 공진 RPM 에서의 가속도와 변형률을 분석하고 전산 다물체 동역학 해석 결과와 비교하였다.

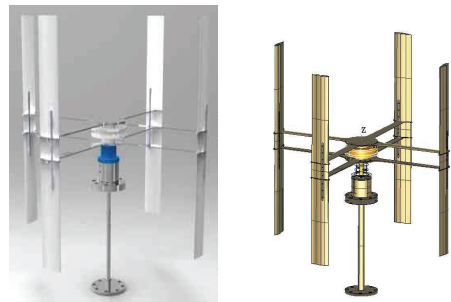
### 2. 해석 및 실험기법

FEM 기법으로 SAMCEF를 활용하여 진동해석(Vibration Analysis)을 수행하였다. Fig. 1 (a)은 CATIA로 모델링한 450W 소형 수직축 풍력발전기 모습이다. Fig. 1 (b)는 SAMCEF에서 진동해석하기 위해 풍력발전기를 Shell Modeling한 모습이다.

하중조건은 Table 1에 나오는 정보를 활용하여 풍력발전기 부품 별로 질량을 부가하였고, 중력효과를 고려하기 위해 구조물 전체에 9.81 m/s<sup>2</sup>의 중력 가속도를 부가하였다. 회전효과는 rotation speed로 풍력발전기 구조물에 부가하여, 각 50 rpm별로 해석을 수행하였다.

Table 1 4-blade small vertical-axis wind turbine mass information

Generator	11.3 kg
Blade (4 EA)	7.1 kg
Arm-Upper (4 EA)	8.7 kg
Arm-Lower (4 EA)	8.7 kg
Plate-Upper	2.1 kg
Plate-Lower	2 kg
Guide (16 EA)	0.3 kg
Tower (D=50.1 mm)	15.5 kg
Generator-Tower Flange	9.4 kg



(a) CATIA modeling (b) FEM modeling  
Fig.1 450 W small VAWT modeling

가진 응답 실험은 풍력발전기 타워의 가속도를 모니터링 할 수 있는 랩뷰 시스템(Lab-VIEW System)과 스트레인 게이지(Strain Gage)를 이용하여 변형률을 모니터링 할 수 있는 스트레인 인디케이터(Strain Indicator)로 구성되어 있다. 이 장비들을 이용하여 가속도 및 변형률을 측정하는 기법으로, 지상 풍동 베이스에 타워를 체결하여 고정시켰으며 RPM을 조절하면서 가속도와 변위응답을 측정하였다.

† 김동현 ; 정회원, 경상대학교 항공우주시스템공학과  
E-mail : dhk@gnu.ac.kr  
Tel : +82-055-755-2083, Fax : +82-055-755-2081  
\* 경상대학교 항공우주시스템공학과

### 3. 결과 및 검토

전술한 바와 같이 본 연구에서는 등가타워 모델링기법을 이용한 수직축 풍력발전기 운전진동시험에 대해 수행하였다.

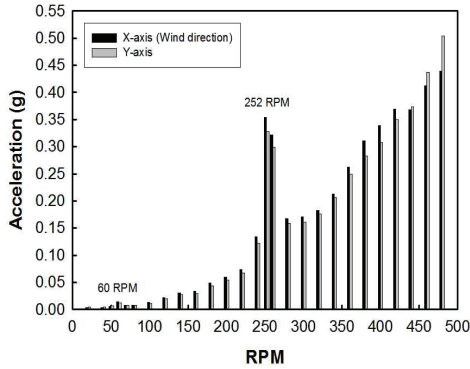


Fig. 2 Induced acceleration level vs. rpm

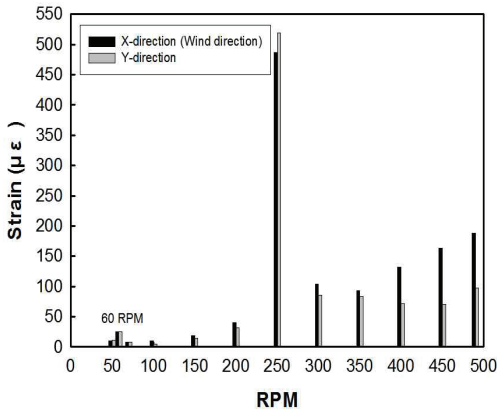


Fig. 3 Induced dynamic strain vs. rpm

Fig. 2 와 Fig. 3 의 실험결과를 보면 1/rev 과 1 차 모드의 교차점 부근인 250 rpm 에서 519.1  $\mu\epsilon$  정도로 상당히 큰 공진 변형률이 발생함을 볼 수 있다. 4/rev 과 교차하는 60 rpm 의 경우 주변 RPM 보다 높은 25.5  $\mu\epsilon$  의 동적 변형률 수준을 보이며, 2/rev 및 3/rev 가진 조건의 경우는 이보다 낮은 수준으로 250 rpm 에서의 1 차 공진조건에 비하면 무시 가능한 수준임을 볼 수 있다. 그러므로 풍력 시스템 및 타워설계 시 최우선적으로 1/rev 과 1 차 고유 모드가 교차하는 공진회전 조건은 절대적으로

회피할 필요성이 있다. Fig. 3 에서 X 축 방향의 변위는 350 rpm 을 시작으로 선형적으로 증가한다. 또한 X 축 방향이 바람방향과 동일하며 회전속도의 증가는 풍속의 증가를 의미하고 있다. 풍속이 증가하면 X 축 방향으로 동적 풍하중 증가에 따른 진동 변위 증가로 타워의 X 축 상에 위치한 스트레인 게이지에 보다 큰 변형률이 측정되는 것을 확인할 수 있다. 본 논문의 풍동시험에서 비록 축소형 타워 모델을 적용하였지만, 실제 10~20 m 정도의 전용타워 설계가 이루어진 경우에는 이에 대한 등가 강성수준을 반영하여 실제 타워 설치조건과 유사하게 가속 평가하는 것이 가능함을 중요하게 파악할 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 타워의 강성효과를 고려하여 4 개의 블레이드를 가지는 소형 수직축 풍력발전기 모델에 대해 운전진동시험과 전산해석을 수행하였다. 시험을 수행해본 결과 1 차 주요 공진조건 이외에는 바람 방향으로의 풍속 및 회전속도 증가에 따른 동적 풍하중 증가가 시스템 진동 불안정성의 주요 원인으로 작용하게 됨을 중요하게 보였다. 본 연구 결과는 복잡하고 난해한 수직축 풍력발전기 및 타워의 최적 구조설계과정에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 4-블레이드 소형 수직축 풍력발전기 모델에 대형풍력발전기 하부구조물 축소화모델을 체결시켜 풍속에 따른 타워의 가진특성 분석에 대하여 수행하였다.

### 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 에너지미래선도인력양성사업(GET-Future)의 일부이며, 지원에 감사를 표하는 바입니다.