

지진기반 가진효과를 고려한 MW 급 풍력발전기 타워의 구조진동 특성연구

Structural Vibration Characteristics of a MW-Class Wind Turbine Tower Considering Earthquake Base Excitation

김동만* · 박강균* 김동현† · 김수현**

Dong-Man Kim*, Kang-Kyun Park*, Dong-Hyun Kim †, and Su-Hyun Kim**

Key Words : Time History Analysis (), Finite Element Method (), Computational Structure Dynamic (), Response Spectrum Analysis (), Computational Fluid Dynamics ()

ABSTRACT

Modern wind turbines have been mainly erected in region where earthquake are rare or normally weak, especially Korea was thought as safety zone from earthquake. But recently, the earthquake occurs more and more frequently. So, the wind turbine design is required the structural and functional stability under the earthquake. The earthquake can influence normal operation, even if a weak earthquake. There are two ways to review the design under earthquake using Computer Applied Engineering (CAE). One is the Response Spectrum Analysis (RSA) the other is Time History Analysis (THA). In this research, dynamic response on time is obtained under the earthquake by taking into account ground accelerogram consistent with the relevant standards applied to the turbine foundation.

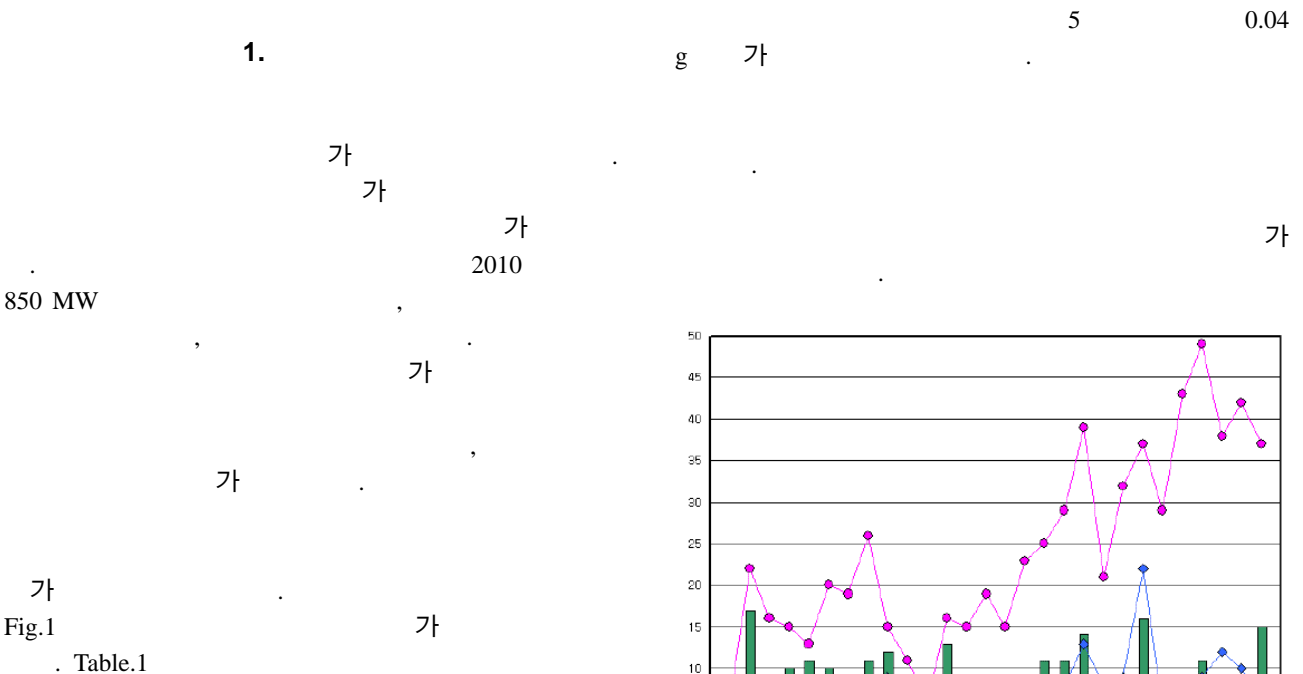


Fig. 1 Earthquake history in Korea

† ; 국립경상대학교 기계항공공학부
E-mail : dhk@gnu.ac.kr
Tel : (055) 755-2083, Fax : (055) 755-2081
* 국립경상대학교 기계항공공학부
** CAE-Korea

2.2

shell

(THA) (RSA) ⁽¹⁾
RSA

Fig. 2

⁽²⁾ SAMCEF (Ver. 6.3)

6 가 가
1,589 , 1,570

Table. 1 Earthquake history in Korea

발생시기	규 모	위 치
1978. 9.15	5.2	충북 속리산
1978. 10. 7	5.0	충남 홍성군
1980. 1. 8	5.3	평북 의주/삭주
1981. 4.15	4.8	경북 포항시 동쪽 65km 해역
1982. 3. 1	4.7	경북 울진군 북동쪽 45km 해역
1994. 7.26	4.9	전남 홍도 서북서쪽 100km 해역
2003. 3.23	4.9	전남 홍도 북서쪽 50km 해역
2003. 3.30	5.0	인천 백령도 서남서 쪽 80km 해역
2004.5.29	5.2	경북 울진 동쪽 80km 해역
2007. 1.20	4.8	강원 평창군

2.

2.1

MW

80.5 m

shell

1.544 m 2.274 m

18 mm 48 mm

212 ton

179 ton , 5.95X10⁶ kg·m²

가

(steel)

Table. 2

Table. 2 Material properties

Young's Modulus	210 GPa
Density	7,850 kg/m ³
Poisson's Ratio	0.3
Structural damping ratio	0.01

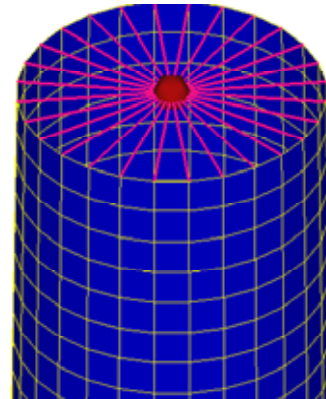


Fig. 2 Rigid beams and point mass

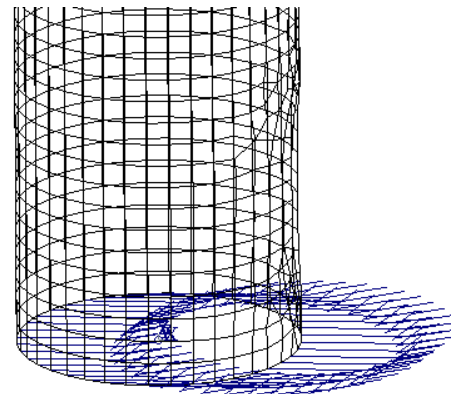


Fig. 3 Boundary condition on ground

3.

3.1

(CFD)

reference frames)

Fig. 2

가

1.65 m

25 m/s

cut-out speed

20 RPM

3

3 MW

MRF(multiple rotating

⁽³⁾

3

11

44 m

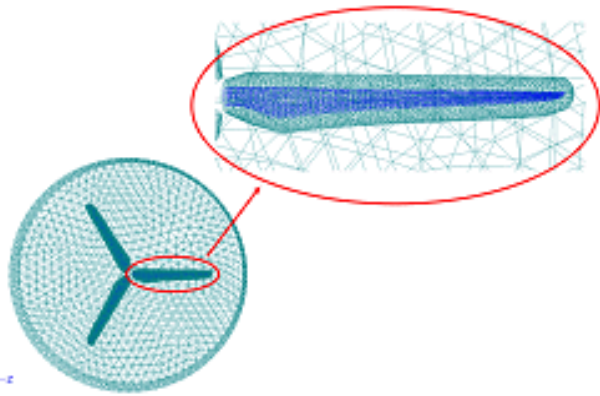


Fig. 2 Computational grid of turbine rotor blade

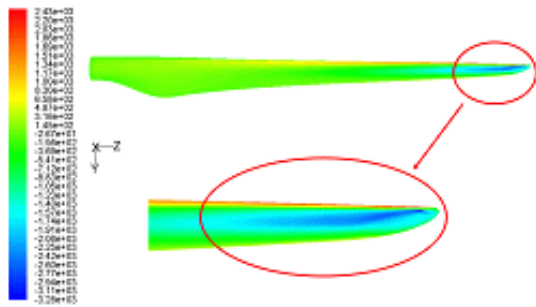


Fig. 3 Pressure contour on the blade surface

(1)

C_D Reynolds ρ 1.225

0.5 V 25 m/s, A

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2 \quad (1)$$

3.2

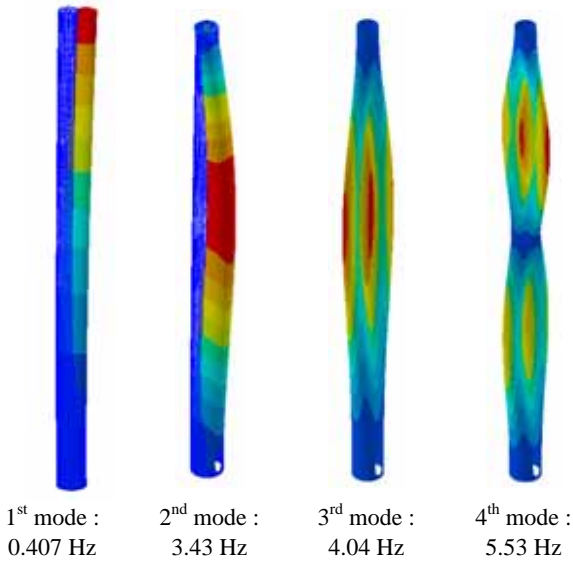
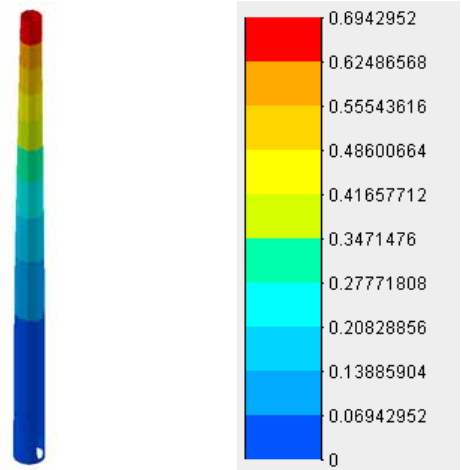


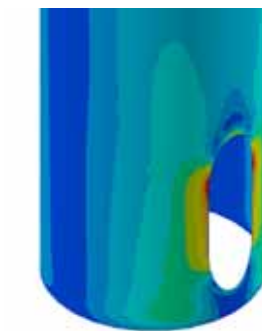
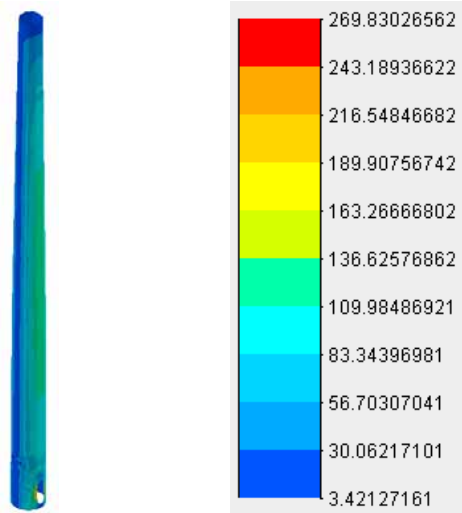
Fig. 4 Normal modes and corresponding frequencies

가 . 1 X-, Y- 가
 , 2 X-, Y- 2 가
 . 3 , 4 가

3.3



(a) Displacement on tower



(b) Von Mises stress on tower

Fig. 5 Results of the structural analysis with drag

타워의 정적구조해석을 위해 로터에 작용하는 앞서 계산된 로터와 타워에 작용하는 항력을 타워에 부가하여 구조물의 건전성을 계산하였다. Fig.5 는 구

조해석 결과를 나타내고 있다. 구조해석 결과 타워 상부의 최대변위는 0.38 m 이고 최대응력은 269 MPa 로 타워 하부의 출입문 부분에서 발생하였다. 일반적인 구조강의 인장강도(400~500 MPa)를 고려하면 충분한 마진의 안전계수를 갖는 것을 알 수 있다.

3.4

지진이 발생하는 과정 중 타워에서 발생하는 진동 현상을 계산하였다. 지진하중은 시간에 따른 가속도를 부가하여 기반가진시켰다. 지진하중은 Eurocode 8 에서 정의하는 값을 사용하였다⁶⁾. Fig.6 는 본 연구에서 적용한 지진하중이다. 지진하중을 3 차원으로 고려될 수 있으나 수직방향 하중은 미미 할 것으로 가정하고 X-direction 의 지진하중만 고려하여 타워의 구조안정성을 검토하였다. 지진하중이 매우 불규칙적인 것을 알 수 있으며 지진하중의 최대치는 2.94 m/s^2 (0.3 g)이다.

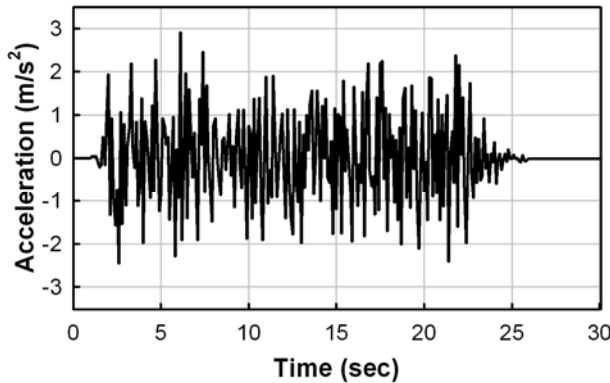


Fig. 6 Typical accelerogram applied in the load case

지진하중을 시간에 따른 가속도 하중으로 타워 하부에 부가하여 구조물의 동적 구조진동해석을 수행하였다. Fig.7 은 지진하중에 따른 타워 하부의 시간에 따른 변위응답을 나타내고 있다.

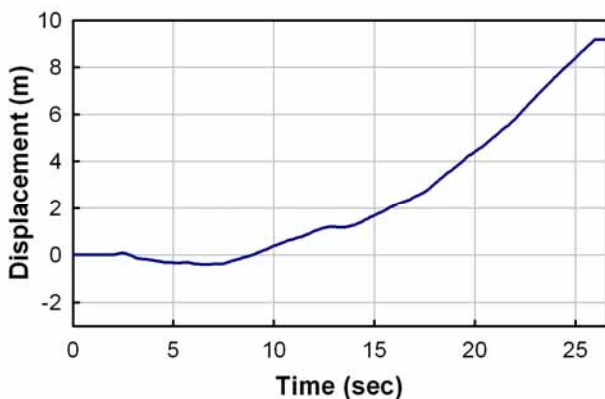


Fig. 7 Displacement response at tower base

본 연구에서는 지진이 발생하는 과정에서 풍하중이 타워에 미치는 영향을 검토해 보았다. 이를 위해 앞서 계산된 항력을 부가하여 계산한 결과와 자중만 고려한 결과를 비교하였다. Fig.8 에서 알 수 있듯이 로터 및 타워에 작용하는 하중의 영향으로 발생하는

변위의 차이가 발생하였을 뿐 지진하중이 작용하는 과정에서 발생하는 진동적 특성이 바뀌지 않은 것을 알 수 있다. 두 변위사이에 발생한 차이는 앞서 구조해석한 결과와 일치하는 것을 알 수 있다. Fig.9 는 나셀에서 시간에 따른 가속도를 나타내고 있다. 26 초 이후 지진하중이 사라졌으나 나셀에서 나타나는 진동이 바로 사라지지 않고 한동안 지속되고 있음을 알 수 있다.

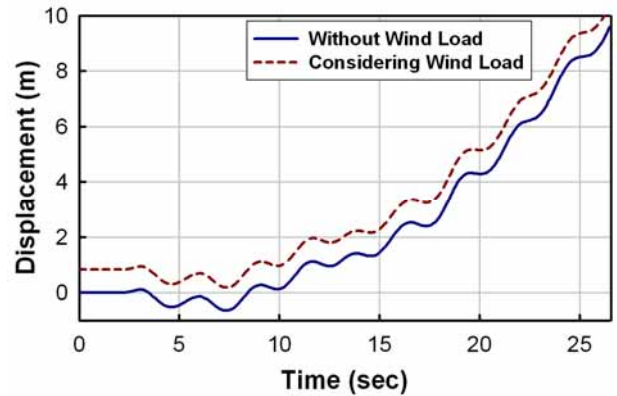


Fig. 8 Comparison of displacement response at nacelle

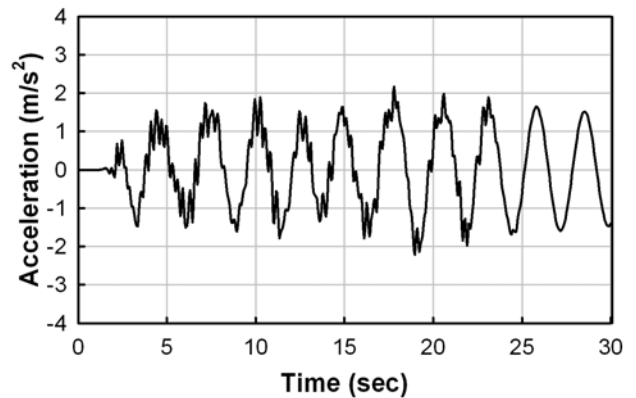


Fig. 9 Displacement response at nacelle

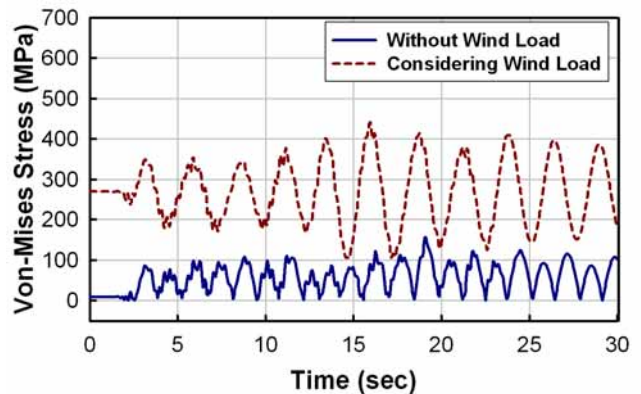


Fig. 10 Comparison of maximum stress response

Fig.10 은 출입문 부분에서 발생하는 최대응력을 시간에 따른 응답으로 나타내었다. 그래프에서 알 수 있듯이 순수 지진하중으로 인해 발생하는 응력은 일반구조강의 인장강도 이하로 발생할 것으로 예상되나, 풍하중과 복합적으로 작용할 경우에는 상당히 위험한 상황에 놓일 수 있음을 알 수 있다. 지진하

중이 사라진 26 sec 이후 풍력발전기가 안정을 되찾기까지는 상당한 시간이 필요할 것으로 판단된다. 이렇게 지진하중이 사라진 이후에도 진동현상이 지속적으로 발생하는 것은 구조물의 형상이 길고 강성이 높기 때문으로 판단된다.

4.

MW

가

가

가

5MW

(1) Ritschel, U. Warnke, I., Kirchner, J., Meussen, B., 2003, "Wind Turbine and Earthquake", World Wind Energy Conference.

(2) Lee, D. G., Kim, T. H., 1998, "The Estimation of the Floor Vibration in Structures for Application of Response Spectrum Analysis Method", Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 2, No. 4, pp. 169~178.

(3) Kim, Y. H., Park, H. G., Kim, D. H., Kim, D. M., Hwang, B. S., Park, J. S. and Jung, S. H., 2008, "Structural and Vibration Analyses of 3MW Class Wind-Turbine Blade Using CAE Technique", Korean Fluid Machinery Association, Vol. 11, No 4, pp. 22 ~ 31.

(4) SAMCEF ver 12.1, User's Manual, SAMTECH Co., 2007.

(5) Eurocode 8 DD ENV 1998-1-1 : 1996, Design Provisions for earthquake resistance of structure, Part 1.1, Part 1.2, Part 1.3, Part 5