

풍력발전기 증속기에 전달되는 풍하중 변동특성 연구

김정수¹ · 이형우[†] · 박노길² · 이동환³

(원고접수일 : 2011년 11월 7일, 원고수정일 : 2011년 11월 22일, 심사완료일 : 2012년 1월 27일)

A Study on Wind Load Variation Characteristics of Wind Turbine Gearbox

Jung Su Kim¹ · Hyoung Woo Lee[†] · No Gill Park² · Dong Hwan Lee³

요약 : 본 논문은 정상풍속과 돌발풍속을 수학적으로 모델링하고 풍향에 따라 전달되는 메인축에서의 전달모멘트를 조사하여 기어박스에 전달되는 풍하중의 특성을 파악하였다. 정상풍속은 지상에서 고도가 높아짐에 따라 속도가 증가하게 설정을 하였다. 풍하중에 의해서 메인축으로 전달되는 모멘트의 평균값과 하모닉값을 풍향 입사각을 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 로 변화를 주며 특성을 파악하였다. 또한 기어 트레인의 미스 얼라인먼트를 유발시키는 굽힘 모멘트의 특성을 파악하였다. 정상풍속모델에서는 블레이드의 3배수 주파수(3X)로 하는 토크의 가진이 생기며, 바람의 방향이 $+22.5^\circ$ 일 때 수평방향의 굽힘 모멘트가 주축으로 들어가는 토크의 50%수준으로 발생하는데 이는 수평방향으로의 탄성 축 휘임을 유발하여 치가 모서리에서 물림이 발생하게 하는 원인을 제공함을 알 수 있었다. 돌발풍속의 경우, 3X, 6X, 9X를 가진주파수로 하는 토크의 가진이 바람의 방향이 +방향으로 커질수록 하모닉항의 상대 비율이 증가하였다.

주제어 : 풍하중, 블레이드, 기어박스, 정상풍속, 돌발풍속

Abstract: In this study, normal wind load and blast wind load are modeled mathematical. And the periodical torque and bending moments transmitted to the main shaft of wind turbine are investigated. A normal wind model assumed, of which the wind velocity is increased according to the height from ground. The average values and the harmonic terms of the transmitted moments are studied on the wind direction of range $-45^\circ \sim 45^\circ$ and the bending moment characteristics are examined, which is regarded as the main source of the misalignment of gear train. In normal wind load case, excitation frequency is 3X (X : Rotor speed). When the wind direction is $+22.5^\circ$, the horizontal axis of bending moment occur the 50% of main torque. This result leads to edge contact of gear teeth by shaft elastic deformation. In blast wind load case, excitation frequency are 3X, 6X, 9X. Additional, in the (+) direction of wind load, relative harmonic percentage is increase

Key words: Wind load, Rotor blade, Gearbox, Normal wind load, Blast wind load

1. 서 론

최근 지구 온난화, 이상기후 현상, 유가급등 등의 문제로 화석연료를 대체할 친환경에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 풍력 에너지원은 에너지 부족으로 인한 대체 자원으로 각광을 받고 있다. 저탄소

녹색성장을 위한 유력 수단으로 신재생에너지 분야를 정부에서 강력하게 지원하고 나서고 있고, 이에 따라 풍력산업이 기존 조선 기계산업 등의 경쟁력에 더하여 신성장동력으로 주목을 받고 있다. 풍력 발전은 2000년 이후 고성장을 지속하고 있으며, 최

[†] 교신저자(부산대학교 기계기반융합부품소재인재양성센터, E-mail:leehwoo@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2598)

1 부산대학교 기계시스템설계 대학원

2 부산대학교 기계공학부

3 한국기계연구원

근에는 육상풍력의 성장세는 둔화되는 반면 해상풍력의 성장세가 크게 나타나고 있고, 정부는 2015년까지 총 40조원을 투자하여 세계 5대 신재생에너지 강국으로 도약하고 풍력산업을 세계시장 점유율 15%로 육성하기로 계획을 잡고 있다[1].

풍력발전기는 회전자를 통해 바람의 운동에너지를 흡수하여, 동력전달장치 및 발전기를 통해 최종적으로 전기에너지로 변환하는 장치이다. 따라서 신뢰성 있는 풍력발전기 설계를 위해서는 정상풍속과 돌발풍속에 따라 전달되는 메인축에서의 전달모멘트를 조사하여 기어박스에 전달되는 풍하중의 특성을 파악하는 것이 필요하다.

풍하중에 대한 연구는 바람이 블레이드에 수직하게 들어올 때에 대한 블레이드 설계가 대부분이며[2-3], 몇몇의 연구는 자유흐름에서 해석한 것들로, 주로 힘 계수, 압력 계수 같은 블레이드의 성능에 대해서 다루었다[4]. [5]에서는 비정상 공력 특성을 예측하였지만 이는 로터블레이드의 특성을 파악한 것이었다.

본 연구는 정상풍속과 돌발풍속을 수학적 모델링하고 풍향에 따라 전달되는 메인축에서의 전달모멘트를 조사하여 기어박스에 전달되는 풍하중의 특성을 파악하는데 목적이 있다. 풍속 모델은 고도에 따라 속도분포가 변하는 정상풍속모델과 바람중심에서 정규분포로 속도가 변화되는 돌발풍속모델 둘로 나누었다. 블레이드의 형상 및 양력/항력계수는 [6]에서 제시된 일반적인 경우를 채택하였다. 풍향에 따른 메인축에 전달되는 풍하중을 토크와 굽힘모멘트에 대하여 계산하여 주파수 스펙트럼을 통하여 그 특성을 살피고 블레이드에서 발생하는 굽힘 및 토크 모멘트와 기어박스의 진동 가진원을 파악하여 풍력 발전기 설계에 필요한 기초자료로 삼고자 한다.

2. 풍속 모델링

바람은 랜덤특성을 가지는 것이 일반적이거나 본 연구에서는 메인축에 전달되는 굽힘모멘트의 특성을 검토하기 위하여 풍속을 정상풍속모델과 돌발풍속 모델 둘로 설정하였다. 일반적으로 정상적인

바람은 지면에서 고도에 따라 변한다. 정상풍속모델에 대하여는 Hellmann exponent의 관계식[6]을 채택하여 식 (1)과 같이 정의하였다. 여기서 v_{10} 은 임이의 높이(h_{10})에서의 속도이다. 높이(h)에 따른 바람속도(v_w)는 다음 식과 같다(Figure 1 참조).

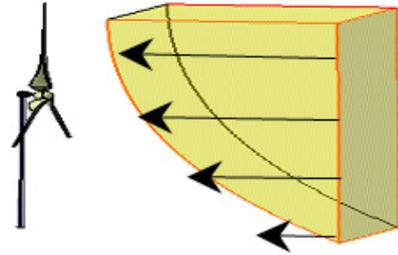


Figure 1: Normal wind profile

$$v_w(h) = v_{10} \left(\frac{h}{h_{10}} \right)^\kappa \quad (0.14 \leq \kappa \leq 0.17) \quad (1)$$

돌발풍속은 바람 중심으로부터 속도분포가 정규분포로 변한다고 가정하였다. 바람의 중심은 블레이드 중심을 기준으로 설정된다(Figure 2 참조). 바람의 중심에서 무한거리에서의 바람속도를 13m/s로 하였고 바람중심에서 최대속도 25m/s이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

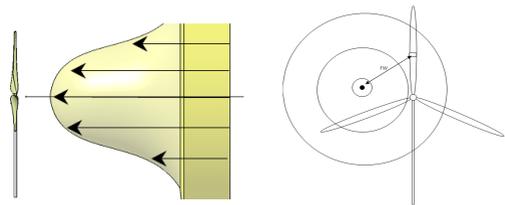


Figure 2: Blast wind profile

$$v = (v_{\max} - v_\infty) \exp \left\{ \left(\frac{r_w}{r} \right)^2 \ln \left(\frac{av_\infty}{v_{\max} - v_\infty} \right) \right\} + v_\infty \quad (2)$$

여기서 v_{\max} 는 돌발 풍속 중심에서의 최고 풍속이고 v_∞ 는 블레이드에서 멀리 떨어진 지점에서의 풍

속이다. r_w 는 블레이드에서 돌발 풍속 중심까지의 거리이다.

3. 풍하중에 의하여 메인축에 걸리는 모멘트

[6]에 의한 블레이드의 형상은 블레이드 반경에 따른 비틀림각(pitch angle) p 와 그 위치에서의 블레이드 폭 t_b 로 정의된다. 피치각은 블레이드에 불어오는 상대속도 방향각 δ 와 입사각 α 의 차로 정의된다(Figure 3 참조).

$$p = \delta - \alpha \tag{3}$$

여기서 $\delta = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{R}{r_b \lambda} \right)$ 이다.

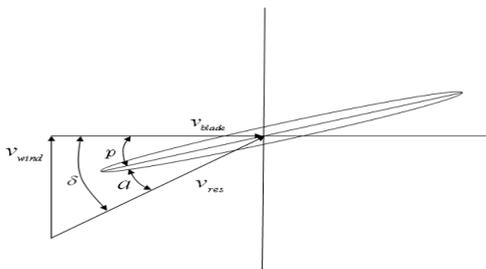


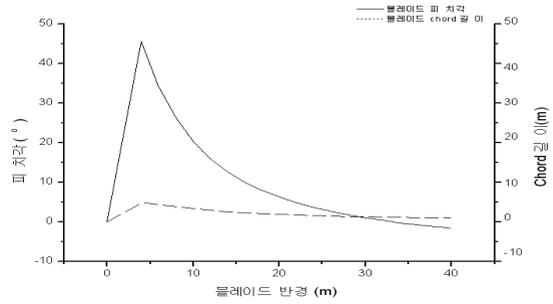
Figure 3: Pitch angle and wind direction

블레이드 chord 길이는 블레이드의 길이로부터 다음과 같은 식으로 얻을 수 있다.

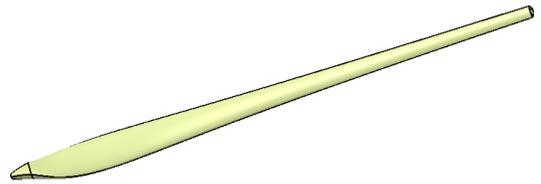
$$t_b(r_b) = \frac{16\pi R}{9z c_l \lambda} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\lambda}{R} r_b\right)^2 + \frac{4}{9}}} \tag{4}$$

여기서 R : 블레이드 반경, z : 블레이드 날갯수, λ : tip speed ratio, r_b : 블레이드상의 임의의 위치이다.

연구에 사용한 블레이드는 반경에 무관하게 입사각이 10° 로 일정하게 설정을 하여 피치각을 설정하였으며, 식 (4)를 통하여 블레이드의 chord길이를 설계 하였다. Figure 4는 블레이드의 모델이다.



(a) Blade length, Chord length, Pitch angle information



(b) Blade modeling

Figure 4: Blade model

블레이드 상의 임의의 위치에 전달되는 바람의 상대속도 \vec{v}_{rev} 와 입사각(α)에 따라 블레이드에 작용하는 양력(F_L)과 항력(F_D)이 정의된다(Figure 5 참조).

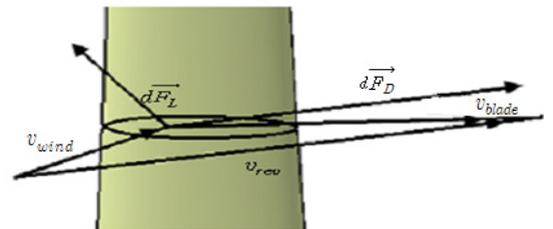


Figure 5: Coordinates of lift and drag force

바람의 블레이드에 작용하는 입사속도는 바람속도(v_{wind})와 블레이드 원주속도(v_{blade})의 합으로 정의된다. 항력은 바람의 입사속도와 같은 방향으로 작용된다. 양력 곧 항력방향 및 블레이드 길이방향에 수직이다. 따라서 항력방향은 바람의 입사속도 방향과 같이

$$\vec{n}_D = \frac{v_x \vec{i}_b + v_z \vec{k}_b}{|v_{rev}|} \tag{5}$$

이고, 여기서 \vec{i}_b, \vec{k}_b 는 각각 블레이드 회전 좌표계의 x_b, z_b 축 방향벡터이다. 블레이드는 기준좌표계의 z 축 기준으로 양의 방향으로 θ_t 만큼 회전한다(Figure 6 참조).

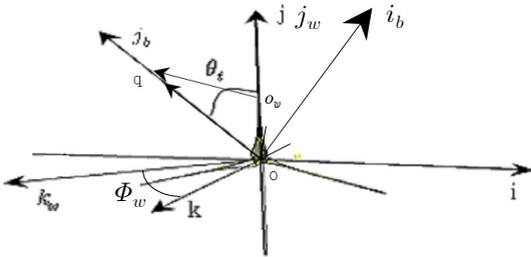


Figure 6: Coordinates of main component

그러므로

$$\vec{i}_b = \cos\theta_t \vec{i} + \sin\theta_t \vec{j} \tag{6}$$

$$\vec{j}_b = -\sin\theta_t \vec{i} + \cos\theta_t \vec{j} \tag{7}$$

$$\vec{k}_b = \vec{k} \tag{8}$$

또한 양력방향은 블레이드방향(\vec{j}_b)과 항력방향(\vec{n}_D)의 수직이므로

$$\vec{n}_L = \vec{j}_b \times \vec{n}_D \tag{9}$$

이다.

따라서 임의의 위치 $\vec{oq} = r_b \vec{j}_b$ 에서 바람에 의해 발생하는 미소 양력 및 미소 항력은 다음과 같다.

$$d\vec{F}_L = \left(\frac{1}{2} \rho v_{rev} c_L t_b dr_b \right) \vec{n}_L \tag{10}$$

$$d\vec{F}_D = \left(\frac{1}{2} \rho v_{rev} c_D t_b dr_b \right) \vec{n}_D \tag{11}$$

여기서 미소힘의 크기는 양력 및 항력계수 c_L, c_D 의 함수이다. 항력/양력계수는 입사각의 크기에 따라 변한다. 본 연구에서는 양력, 항력계수를

Siegfried Heier[6]을 인용하였다. Figure 7은 본 연구에서 사용한 계수자료이다.

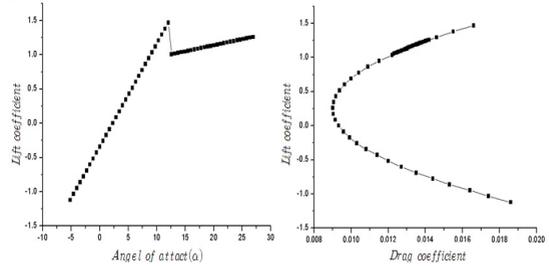


Figure 7: Lift(c_L) and Drag(c_D) coefficients

블레이드로 입사되는 바람의 방향(δ)이 변하므로 블레이드의 입사각 α 도 바람에 따라 변한다. 바람의 방향각은

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{v_z}{v_x} \right) \tag{12}$$

이다. 방향각은 풍속모델에 따라 위치에 따라 그리고 바람의 방향에 따라 달라진다. 이를 통하여 얻은 α 값을 통하여 블레이드의 미소면적에 작용하는 양력계수, 항력계수를 구할 수 있다.

결국, 블레이드의 미소 면적에 걸리는 힘을 구할 수 있다. 로터블레이드의 블레이드는 3개로 하였다. 따라서 각각 블레이드 사이의 위상차는 120° 이므로 각각에서 발생하는 모멘트를 합하여 총 풍하중 모멘트를 구한다.

$$\vec{M}_i = \sum_{i=1}^3 \int_0^{R_{og}} \vec{og} \times \left\{ \left(\frac{1}{2} \rho v_{rev} c_L t_b \right) \vec{n}_L + \left(\frac{1}{2} \rho v_{rev} c_D t_b \right) \vec{n}_D \right\} dr_b \tag{13}$$

식 (13)에서 산출된 풍하중 모멘트는 로터 블레이드가 등속도 Ω_i 로 회전하는 경우에, 주기적으로 변함을 알 수 있다. 총모멘트의 z 방향성분은 메인축에 전달되는 토크이며 방향성분은 수평방향 굽힘모멘트로서 메인축과 기어박스를 상하로 변형시키는 역할을 한다. y 축방향성분은 수직방향 굽힘모멘트로서 메인축과 기어박스를 좌우방향으로 변형시키는 역할을 한다. 토크의 평균값은 전기를 생

산하는 주 에너지원이며 하모닉항들은 풍력발전시스템의 비틀림 진동을 유발시키는 가진원이다. 굽힘모멘트의 평균값은 기어박스-회전축 라인을 수직 혹은 좌우로 변형시키는 요인이 된다. 그리고 하모닉항들은 상하 혹은 좌우 진동을 일으키는 진동원이 된다. 바람의 특성에 따라 굽힘모멘트가 과도하게 작용할 경우에는 기어열의 측정열오차가 설계범위를 넘어서게 되며 그로 인하여 치면손상을 유발할 수 있어서 굽힘모멘트 해석이 중요하게 작용된다.

4. 풍속 모델 및 풍향에 따른 전달 모멘트 특성

일반적으로 풍력발전시스템에서는 제어장치가 구비되어 있어서 바람의 방향이 감지되면 블레이드의 방향을 바람에 정면을 향하도록 한다. 그러나 갑작스러운 바람이 불거나 그 제어하는 시간이 지연될 경우 항상 풍향의 방향이 블레이드의 정면에 놓여있을 수는 없다. 본 연구에서는 여러 가지 운전 조건과 돌발상황을 고려하여 바람의 방향을 블레이드 방향 기준으로 좌우로 45° 범위로 한정하여 모사실험하고자 한다. 모사실험은 정상풍속모델과 돌발풍속 모델에 대하여 수행하였다. 정상풍속 모델에서 사용한 계수는 높이가 30m일 때 풍속이 11m/s이고 계수 a는 0.16이다. 돌발 풍속에서 최대 풍속은 25m/s이고 무한 풍속은 13m/s이다. 유효 반경은 10m이다. 식 (13)에 의거하여 풍하중 모멘트의 주기적인 특성을 정리하면 Table 1과 같다. Table 1에 평균값(mean)과 1차, 2차 하모닉항을 수록하였다. 풍향 방향각 -45°, -22.5°, 0°, 22.5°, 45°에 대한 결과가 수록되어 있다. 이 때 첫번째 하모닉의 기본주파수는 블레이드 회전주파수(1X)에 블레이드 수를 곱한 값과 같다. 블레이드 수가 3이면 3X가 기본주파수이다. 블레이드의 직경은 45m, 블레이드 수는 3개, 블레이드 중심까지의 고도는 70m이고, 돌발풍속모델의 바람 중심위치는 상향방향으로 블레이드 중심에서 20m 만큼 떨어진 곳에 있다고 보았다.

Table 1: Mean and harmonics of moment and torque

(a) Horizontal bending moment [Unit : kNm]

| wind dir.(°) | Normal wind load | | | Blast wind load | | |
|--------------|------------------|-------|------|-----------------|------|------|
| | mean | 1ST | 2ND | mean | 1ST | 2ND |
| -45 | -772.9 | 492.0 | 3.9 | -144 | 242 | 17.9 |
| -22.5 | 156.9 | 507.3 | 9.5 | 478 | 72.8 | 30.3 |
| 0 | -192.0 | 328.8 | 10.4 | -24.5 | 36.1 | 13.0 |
| 22.5 | -1284 | 95.1 | 8.5 | -502 | 75.3 | 65.1 |
| 45 | -772.3 | 264.1 | 12.7 | -250 | 401 | 83.2 |

(b) Vertical bending moment [Unit : kNm]

| wind dir.(°) | Normal wind load | | | Blast wind load | | |
|--------------|------------------|-------|------|-----------------|-------|------|
| | mean | 1ST | 2ND | mean | 1ST | 2ND |
| -45 | 0.0660 | 492.0 | 4.2 | 0.0157 | 289.8 | 26.8 |
| -22.5 | -0.081 | 469.5 | 14.4 | 0.1935 | 26.6 | 2.26 |
| 0 | -0.125 | 286.1 | 6.6 | -0.0011 | 14.2 | 11.7 |
| 22.5 | -0.100 | 56.1 | 5.9 | -0.0405 | 12.4 | 11.5 |
| 45 | 0.0059 | 255.7 | 17.3 | -0.0421 | 84.7 | 70.3 |

(c) Torque [Unit : kNm]

| wind dir.(°) | Normal wind load | | | Blast wind load | | |
|--------------|------------------|------|-----|-----------------|-------|------|
| | mean | 1ST | 2ND | mean | 1ST | 2ND |
| -45 | 973.2 | 6.0 | 0.8 | 814 | 28.2 | 9.0 |
| -22.5 | 1891.8 | 14.4 | 1.0 | 1840 | 52.8 | 12.6 |
| 0 | 2158.4 | 28.2 | 0.9 | 2485.8 | 110.5 | 46.3 |
| 22.5 | 2020.8 | 23.6 | 1.2 | 1867 | 121.9 | 55.1 |
| 45 | 1002.5 | 11.3 | 1.7 | 932 | 177 | 29.5 |

4.1 정상풍속모델

(a) 토크 (Table1(c) 참조)

일반풍속 모델에서 토크의 가진 주파수는 3X영역에서 발생을 하며 전달토크의 하모닉항은 평균값에 비해 상대적으로 1% 내외로 적은 것으로 나타났다. 바람의 방향각이 비틀어지는 경우는 가진 토크의 크기는 감소하는 것을 볼 수 있다(Fig. 8 (b) 참조).

(b) 굽힘 모멘트 (Table 1(a), (b) 참조)

굽힘모멘트는 축과 기어박스의 케이스의 변형을 유발시킨다. 기어 물림에 풀림이 일어나면 모서리 접촉이 일어날 수 있어서 마이크로피팅, 스커핑 등의 치접촉 손상을 가져오기 때문에 수명이 줄어들 수 있다. 따라서 굽힘모멘트 분석은 기어상자 신뢰성 제고 설계에 필수적이다.

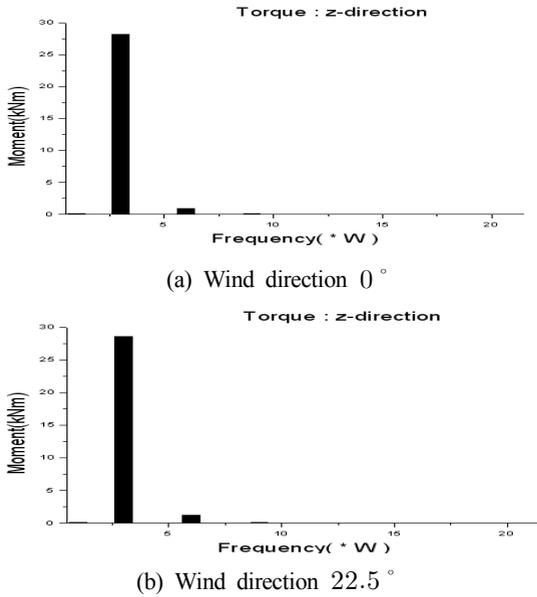


Figure 8: Spectral diagram of torque on normal wind load

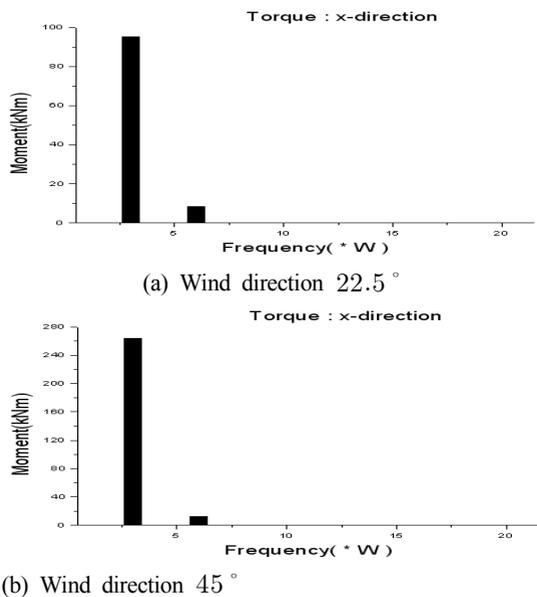


Figure 9: Spectral Diagram of horizontal bending moment on Normal wind load

Figure 9는 수평방향의 굽힘모멘트를 하모닉 성분으로 나타낸 것이다. 3X,6X 영역에서 가진이 발

생하는 것을 알 수 있다. 입사하는 바람의 각이 틀어 질수록 굽힘 모멘트의 평균값은 감소하는 반면 하모닉 성분이 증가하는 것을 볼 수 있다(Figure 9, Table 1 참조). 이것은 전체적으로 풍력시스템의 동력계를 수평방향으로 탄성 축 휘임을 유발시키며 기어열의 치물림에서 치접촉이 모서리에 일어나게 할 수 있다. 따라서 풍력시스템 기어상자 설계에서 치형수정 기술이 매우 중요함을 시사한다.

4.2 돌발풍속모델

(a) 토크 (Table(c) 참조)

돌발풍속모델에서는 전달토크의 하모닉항의 평균값에 대한 상대비율은 정상풍속모델의 경우에 비해 상승함을 알 수 있다. Table 1-(c)에서 1차하모닉항의 가진토크의 상대비율이 대략 5~20% 임을 알 수 있다. 바람의 방향각도가 +방향으로 커질수록 하모닉 항의 상대비율은 증가하는 경향을 보여준다.

Figure 10은 돌발풍속일 때 발생하는 토크의 하모닉 성분이다. 3X,6X,9X가진 주파수가 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 그 크기는 일반 풍속일 때 보다 큰 하모닉 크기를 나타낸다.

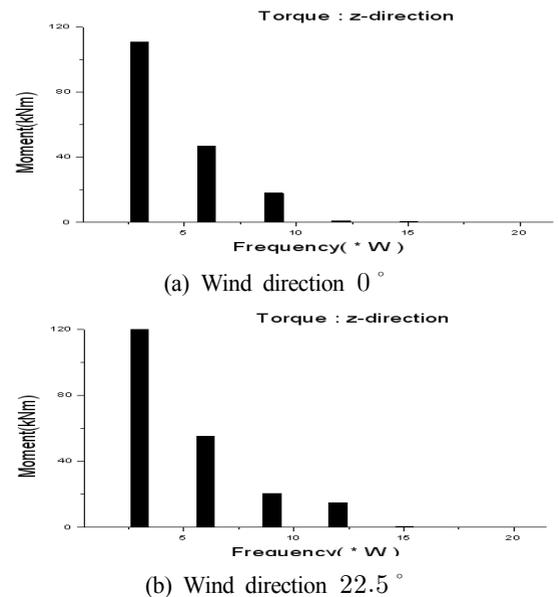
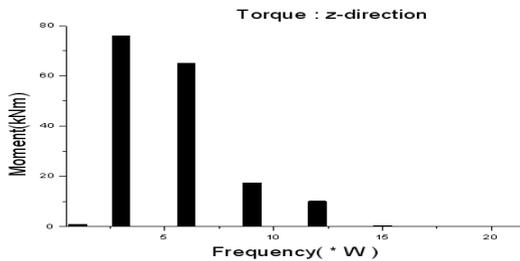


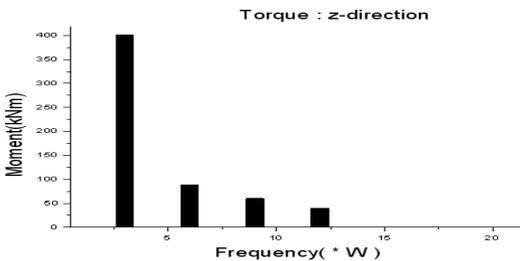
Figure 10: Spectral Diagram of Torque on Blast wind load

(b) 굽힘 모멘트 (Table 1(a), (b) 참조)

Figure 11은 돌발풍속모델일 때 굽힘 모멘트의 하모닉 성분이다. 3X, 6X, 9X, 12X성분의 가진이 발생하는 것을 파악하였다. 또한, 보통 수평방향 굽힘모멘트의 평균값은 주축 전달토크의 25% 이하 수준이다. 바람의 방향이 정면일 때와 45° 일 때 가장 크게 나타남을 보여주고 있다. 하모닉항의 크기는 평균값과 비슷한 수준이다. 이것은 전체적으로 풍력시스템의 동력계를 수평방향으로 모멘트 가진시키는 진동원으로 작용하므로 기어열의 치물림에서 치접촉 메카니즘이 더욱 복잡하게 거동함을 시사한다. 따라서 풍력시스템 기어상자 설계에서 굽힘진동해석이 요구된다. 수직방향 굽힘모멘트가 전체적으로 적게 나타나는 것은 돌발풍하중의 중심이 블레이드 중심에서 상향 방향에 위치해 있기 때문이다.



(a) Wind direction 22.5°

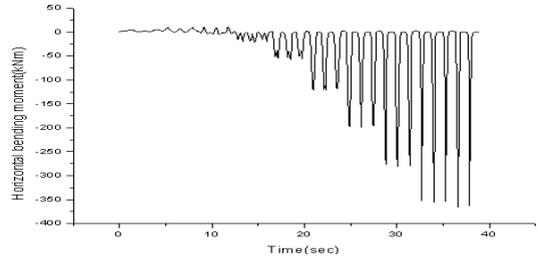


(b) Wind direction 45°

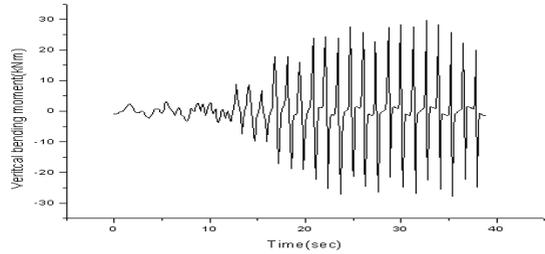
Figure 11: Spectral diagram of horizontal bending moment on blast wind load

(c) 바람 중심의 이동에 따른 변화

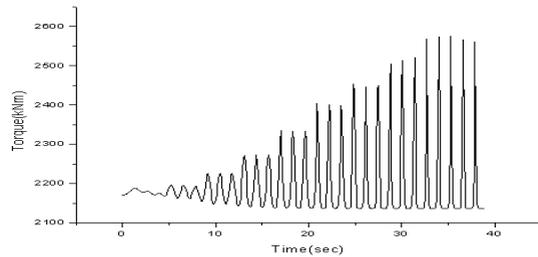
돌발풍하중에서 바람의 중심이 블레이드 중심에서 블레이드의 끝 방향으로 변화되는 경우 산출되는 풍하중 모멘트를 시간역에서 살펴보았다.



(a) Horizontal bending moment



(b) Vertical bending moment



(c) Torque

Figure 12: Bending moments and torque with moving wind enter

Figure 12에서는 돌풍의 중심이 블레이드의 끝 방향으로 갈수록 평균값과 하모닉항의 크기가 증가함을 알 수 있다. 이것은 바람 중심이 블레이드 끝으로 이동하면서 대칭으로 배치된 블레이드에서의 모멘트 상쇄효과가 줄어든 이유인 것으로 사료된다. 결과적으로 돌발풍하중은 그 중심이 블레이드 중심에서 벗어날 수록 토크와 굽힘모멘트의 하모닉 항을 증대시키는 결과를 낳는다.

5. 결 론

본 연구에서는 블레이드, 바람의 프로파일(profile)을 설계한 후, 항력, 양력의 원리에 의해서 풍하중 모멘트를 해석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 정상풍속모델

(a) $3X$ 를 가진주파수로 하는 토크의 가진이 생김 그 크기는 정격토크의 1% 내외이며 바람의 상태에 따라 그 이상으로 발생할 수 있다. 이는 기어상자의 비틀림 진동이 일차적으로 중요성을 띄고 있음을 시사한다.

(b) 바람의 방향이 $+22.5^\circ$ 일 때 수평방향의 굽힘 모멘트가 주축으로 들어가는 토크의 50%수준으로 발생하는데 이는 수평방향으로의 탄성 축 휘임을 유발하여 치가 모서리에서 물림이 발생하게 하는 원인을 제공함을 알 수 있었다. 따라서 이는 풍력시스템 기어박스 설계에서 치형수정의 중요성을 시사한다.

(2) 돌발풍속모델

(a) $3X, 6X, 9X$ 를 가진주파수로 하는 토크의 가진이 바람의 방향이 +방향으로 커질수록 하모닉항의 상대 비율이 증가하였다. 1차 하모닉항은 가진 토크에 대한 상대비율이 5~20%이다.

(b) 수평방향으로의 굽힘모멘트 하모닉항 크기는 평균값에 비슷한 수준으로 발생하는데, 이는 풍력시스템의 동력계를 수평방향으로 가진하는 진동원이므로 기어열의 치물림에서 치접촉 메카니즘이 더욱 복잡하게 거동함을 시사한다.

(c) 바람의 중심이 블레이드의 끝 방향으로 이동할수록 대칭으로 상쇄된 모멘트 효과가 줄어들어 평균값과 하모닉항의 크기가 증가함을 알 수 있다.

풍하중에 의해서 발생하는 메인축의 가진 주파수는 블레이드의 날개수에 비례하게 발생한다. 또한 일반 풍속일 때보다 돌발풍속으로 불어 들어 올 때, 진동을 야기하는 가진의 크기와 하모닉 주파수 성분이 더 많이 나타나는 것을 파악하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지역전략기획기술개발사업(“수직축 블레이드 및 풍력발전 시스템 개발”)으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] 녹색성장위원회, 신재생에너지 발전전략, 2010. 10.13.
- [2] 박지상, 정성훈, 황병선, “풍력터빈 블레이드의 설계/해석 및 시험 평가 기술”, 기계와 재료, 제 19권, 제2호, pp. 28-47, 2007.
- [3] 김동현, 황미현, 김요한, 김동만, 김수현, “공탄성 변형 효과를 고려한 5MW급 풍력 발전기 블레이드의 성능해석”, (사)풍력에너지 학회 2010 춘계학술대회, pp. 657-662, 2010.
- [4] Berthold Schlecht, Dipl.-Ing. Sascha Gutt, “Multibody-System-simulation of Drive Trains of Wind Turbines”, WCCMV, pp. 1-326, 2002.
- [5] 유동욱, 권오준, “RANS 및 VTM 기법을 이용한 풍력 터빈 블레이드의 비정상 공력 특성 예측”, (사)풍력에너지 학회 2010 춘계학술대회, pp. 667-672, 2010.
- [6] Siegfried Heier, Grid of Wind energy Conversion System, John Wiley & Sons, Inc, New York, 2006.
- [7] 김경택, 박종포, 이충원, “굽힘 및 비틀림 연성 효과를 고려한 대형 풍력터빈 블레이드의 강제 진동 및 하중 해석”, 한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp. 256-263, 2008.

저 자 소 개



김정수(金正洙)

1987년생, 2006년 부산대학교 기계공학부 졸업, 현재 부산대학교 기계시스템설계 석사과정



이형우(李炯佑)

1966년생, 1991년 부산대학교생산기계공학과졸업, 1999년 부산대학교 대학원생산기계공학과 졸업(공학박사), 2007년~현재 부산대학교 기계공학부 기계기반융합부품소재인재양성센터 교수



박노길(朴魯吉)

1955년 생, 1977년 서울대학교 기계설계학과 졸업, 1979년 한국과학기술원 대학원 기계공학과 졸업, 1988년 North Carolina State University 기계항공공학과 졸업(공학박사), 1980년 부산대학교 기계공학부 교수



이동환(李東桓)

1958년생, 1980년 부산대학교 화학기계공학과 졸업
1999년 부산대학교 대학원 기계공학부 졸업(공학박사)
1982년~현재 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부