

풍력 발전기의 피로 하중 감소를 위한 드라이브 트레인 댐퍼 적용

Drive train damper apply to reduce for fatigue loading on the drive train for wind turbines

*# 김현건¹, 남윤수¹, 손재훈¹

* H. G. Kim(iwisk@kangwon.ac.kr)¹, Y. Nam¹, J. H. Son¹

¹강원대학교 기계 메카트로닉스 공학과

Key words : Wind turbine, Drive train, Drive train damper, Fatigue load

1. 서론

풍력 발전기(wind turbine)는 일반적으로 20년 이상의 수명을 가지도록 설계 되지만, 작동시 변화하는 공력 토크에 의하여 많은 피로 하중을 받게 된다. 그 중에서도 풍력 발전기의 저속 축(low speed shaft)과 기어 박스(gear box)를 포함한 드라이브 트레인(drive train)은 풍력 발전기의 구성 요소 중 가장 많은 피로 하중을 받고 있다.

현대 MW급 풍력 발전기의 드라이브 트레인은 매우 낮은 댐핑(damping)을 가진 재료로 만들어진다. 드라이브 트레인의 댐핑이 낮기 때문에 반복적인 하중이 가해지게 되면 드라이브 트레인의 피로 파괴 현상이 나타날 수 있다. 드라이브 트레인의 피로 파괴는 풍력 발전기의 파괴로 이어 질 수 있다.

매우 낮은 댐핑을 가진 드라이브 트레인의 특성 상, 반복적인 하중을 견디기 위해서는 추가적인 댐핑이 필요하다. 보통 현대 풍력 발전기에서는 발전기 토크(generator torque)를 제어 하는 방식을 사용하여 추가적인 댐핑을 부여 한다 [1]. 발전기 토크를 제어 하는 방식은, 피드백된 발전기 회전속도(generator rotor speed) 신호에 밴드 패스 필터(band pass filter)나 노치 필터(notch filter), 밴드 하이 패스 필터(band high pass filter)등을 부착하여 발전기 토크를 제어 하는 것이다.

본 논문에서는 드라이브 트레인에 밴드 패스 필터와 노치 필터를 사용 하여 피로 하중을 줄이고, 더불어 풍력 발전기의 피로 하중 감소도 확인 하고자 한다.

2. 풍력 운동 모델

Fig. 1은 단순화된 드라이브 트레인 모델로, J_r 과

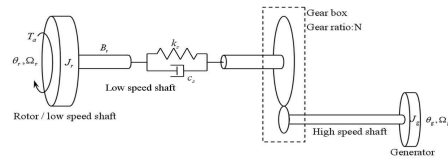


Fig 1 Simplified drive train model

J_g 는 풍력 터빈의 로터와 발전기의 회전 관성 질량이다. J_r 과 J_g 로 이루어진 지배 방정식은 다음과 같다[2]

$$\begin{aligned} J_r \frac{d\Omega_r}{dt} &= T_a - k_s(\theta_r - \frac{1}{N}\theta_g) - c_s(\Omega_r - \frac{1}{N}\Omega_g) - B_r\Omega_r \\ J_g \frac{d\Omega_g}{dt} &= \frac{k_s}{N}(\theta_r - \frac{1}{N}\theta_g) + \frac{c_s}{N}(\Omega_r - \frac{1}{N}\Omega_g) - B_g\Omega_g T_g \end{aligned} \quad (1)$$

3. 드라이브 트레인 댐퍼 시스템

풍력 터빈의 제어 구조는 Fig. 2와 같이 피치 제어 루프(pitch control loop)와 토크 제어 루프(torque control loop)로 구성되어 있다 [3]. 드라이브 트레인 댐퍼 시스템은 Fig. 2에서와 같이 발전기의 로터 회전 속도를 피드백 받아 적용한다. 드라이브 트레인 댐퍼에 의해 필터링(filtering)된 신호는 토크 루프(torque loop)의 PI 제어기에서 나온 토크 명령 신호와 합쳐져 풍력 발전기 토크 입력 신호가 된다.

발전기 로터 회전 속도로부터 피드백 받은 신호에 밴드 패스 필터와 노치 필터를 적용한다. 밴드

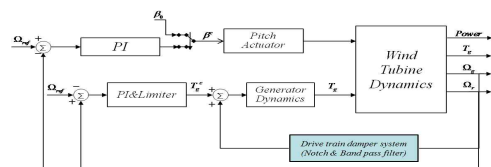


Fig. 2 Driver train damper system

패스 필터는 드라이브 트레인의 성분을 필터링하기 위해서 사용 하였고, 노치 필터는 타워의 2차 모드 신호와 블레이드의 인플레인(inplane) 3차 모드의 성분을 필터링 시키기 위해 사용 하였다.

$$\frac{k(2\xi\tau\omega s^2 + 2\xi\tau\omega s)}{s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2} \quad (2)$$

$k = \text{gain}, \xi = \text{damping}, \omega = \text{frequency}$ and $\tau = \text{time constant}$

$$\frac{s^2 + 2\xi_1\omega_1 s + \omega_1^2}{s^2 + 2\xi_2\omega_2 s + \omega_2^2} \quad (3)$$

$\xi_{1,2} = \text{damping}, \omega_{1,2} = \text{frequency}$

식(2),(3)와 같은 밴드 패스 필터와 노치 필터의 파라미터(parameter) 값을 결정하기 위해서는 많은 시행 착오를 통한 튜닝 작업이 필요하다.

4. 주파수 응답 및 시뮬레이션

바람 풍속 25m/s일때 드라이브 트레인 댐퍼(D.T.D)를 적용하기 전,후의 토크 루프 주파수 응답을 그려보면 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 유의 하여 볼 것은 작은 원으로 표시된 부근이다. 작은 원으로 표시된 부분은 12.53r/s를 표시한 것으로, 튜닝된 드라이브 트레인 댐퍼에 의해서 토크 루프의 주파수 응답의 크기가 작아지고 위상 또한 변하는 것을 확인 할 수 있다.

시뮬레이션은 GH Bladed를 이용 하여, Class-II A 급 2MW 풍력 발전기를 대상으로 하였다. 평균 풍속 20m/s, 난류 16.5%의 바람 조건에서 600초간 시뮬레이션 하였다.

Fig. 4는 300~310초 구간 사이에 기어 박스 토크의 하중을 나타낸 것으로 드라이브 트레인 댐퍼를 적용 했을 때 기어 박스 토크 하중의 표준 편차가 70% 정도 감소한 것을 확인 할 수 있다.

Table.1은 600초간 시뮬레이션 한 결과를 분석하여 얻은 damage equivalent load 이다.

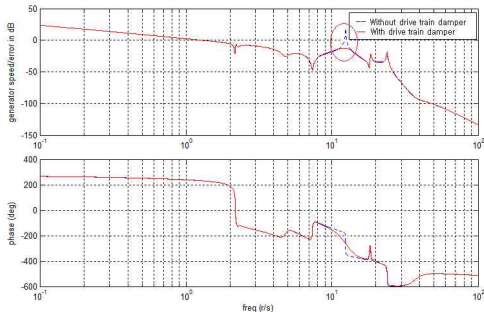


Fig. 3 Torque loop bode diagram applied for drive train damper(D.T.D)

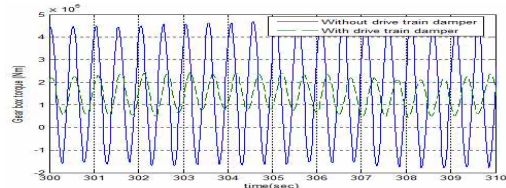


Fig. 4 Simulation result of gearbox torque

Table 1의 Damage Equivalent Load(DEL) 결과를 분석 하면 드라이브 트레인 댐퍼를 적용 했을 경우, 미 적용시보다 하중이 4%에서 57%까지 감소 한 것을 확인 할 수 있다. 특히 타워의 Mx 방향과 블레이드의 Mx 방향의 하중이 많이 감소 한 것을 확인 할 수 있는데 이는 타워의 Mx와 블레이드의 Mx 방향이 드라이브 트레인과 연관성이 높기 때문이다.

Table1 Comparison of damage equivalent loads

		Blade Mx	Blade My	Tower Mx	Tower My
Without D.T.D ^(A)	DEL (Nm)	3.9E6	2.7E6	1.9E7	1.1E7
With D.T.D ^(B)	DEL (Nm)	2.8E6	2.5E6	8.4E6	1.0E7
(B-A)/A*100 (%)		-27%	-9%	-57%	-4%

5. 결론

본 논문에서는 드라이브 트레인의 피로 하중을 줄이기 위해 드라이브 트레인 댐퍼를 사용하여 시스템을 구성하고 원리에 대하여 설명하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 드라이브 트레인 댐퍼를 적용할 경우 드라이브트레인의 피로 하중 뿐만 아니라 타워의 하중도 감소함을 확인하였다.

후기

이 논문 또는 저서는 2010년 정부(지식경제부)의 재원으로 한국 에너지 기술 평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (풍력 발전 시스템용 제어 기술 및 기기개발-20103010020040)

참고문헌

1. Mathiopoulos, A., and Watson, S., "Development of an automatically tuned drive train damper for variable speed wind turbines," IEEE Trans. EWEC 2008
2. Bianchi, F, D., Battista, H, De., and Mantz, R, J., "Wind Turbine Control System," 1st ed. Springer, 2007. pp115~125
3. R. J. Mantz, "Wind Turbine Control," 1st ed. GS-intervision, 2009. pp113~115