

풍력터빈의 피치루프의 대역폭과 토크 스케줄의 변화가 풍력터빈의 성능 및 부하에 미치는 영향 분석

The effects of pitch loop bandwidth, and torque schedule change on the performance & mechanical load of MW wind turbine

*#조장환¹, 남윤수¹, 나요한¹

*J. H. Cho (deadlaw@kangwon.ac.kr)¹, Y. S. Nam¹, Y. H. La¹

¹강원대학교 기계메카트로닉스 공학과

Key words : wind turbine, pitch loop bandwidth, torque scheduling, performance, repeated load

1. 서론

바람 및 지진 등의 외란에 대하여 풍력 터빈에서 직접 제어할 수 있는 변수들은 회전날개의 피치각과 발전기의 반력토크이다. 본 논문에서 다루어지는 기본적인 제어구조는 MW급 풍력터빈의 출력 제어 방식에 있어서 널리 쓰이는 가변속도 피치제어 (variable speed pitch control) 방식이다.^[1-2] 풍력 터빈이 크기가 증가 됨에 따라, 풍력터빈의 기계적 반복하중의 크기도 증가 된다. 따라서, 기계적인 반복하중을 감소시키기 위한 여러 가지 제어알고리즘이 제안되고 있다. 풍력터빈의 제어 시스템은 블레이드 피치각과 발전기 반력토크를 이용하여 제어함으로써 풍력터빈의 에너지 회수율을 최대로 하고, 구조물의 기계적인 반복하중이 최소화 되도록 설계되어야 한다. Fig.1은 풍력터빈의 제어구조 개략도를 나타낸다. 개략도에서 보듯이 발전기 토크 제어루프와 피치각 제어루프가 존재한다. 피치루프의 대역폭, 토크 스케줄의 변화에 따라 풍력터빈의 성능 및 부하에 미치는 영향에 대하여 분석하는 것이 이번 논문에서 다루어질 논제이다.

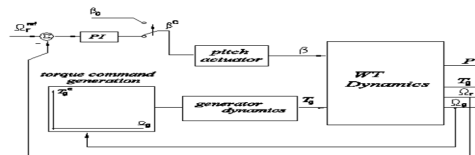


Fig. 1 Control law structure

2. 풍력 터빈 제어

2.1 피치루프의 대역폭

풍력 터빈은 바람의 에너지를 전기에너지로 전환하는 에너지 변환 장치이다. 따라서, 바람의 에너지를 얼마나 회수하는지가 중요하다. Fig.2

는 van der Hoven의 바람 특성 스펙트럼을 나타낸다. 그의 연구결과에 의하면, 바람은 지구상의 어느 곳이나 Fig.2와 유사한 풍속 에너지 스펙트럼을 갖고 있다. 세 번째 피크는 난류 성분의 바람을 뜻한다. 따라서, 풍력 터빈이 바람에너지를 회수하려면, 피치루프의 대역폭은 난류의 최대 주파수 성분보다 빨라야 한다. 난류의 특성은 아래의 von karman turbulence model^[3]로 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{uu}(w) = \frac{4\sigma_u^2 L_u \bar{u}}{(1 + 70.8(wL_u / (2\pi\bar{u}))^2)^{5/6}} \quad (1)$$

여기서, \bar{u} = 풍력 터빈 방향 평균 풍속

σ_u = 풍속의 표준편차

$L_u = 280 \{z / (1000\alpha^{0.18})\}^{0.35}$

z = 고도

α = roughness length

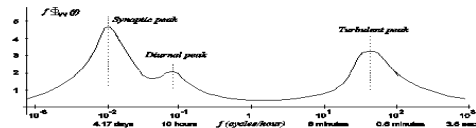


Fig. 2 wind characteristic spectrum of van der Hoven

Fig.3은 평균풍속 3, 12, 17 그리고 25m/s에서 class II-A에 상응하는 난류성분의 PSD이다. 0.001r/s의 PSD을 100%로 생각했을 때 피치루프의 대역폭의 빠르기를 1r/s 정도면 바람의 에너지를 95% 이상 회수할 수 있다. 또한, 대역폭의 빠르기를 증가시키면 따라 바람의 에너지를 더 많이 회수할 수 있다는 것을 알 수 있다.

2.2 토크 스케줄 변화

이전 연구에서 max-Cp곡선을 따라 반력토크 값이 제어될수록 풍력터빈의 성능은 높아지고, 정격토크

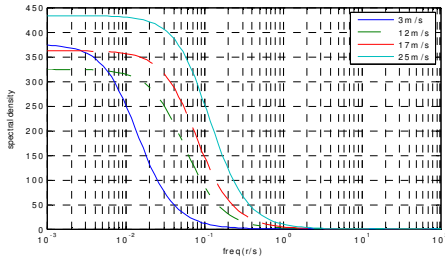


Fig. 3 PSD of turbulence(class II -A)

값으로 가는 기속이 가파를수록 풍력터빈의 타워 방향의 DEL(damage equivalent load)값이 커진다는 결론을 얻었다. 이전연구에서 성능과 하중 측면에서 좋았던 경우를 간주려서 Fig.4와 같이 4가지 경우에 대한 변화에 대하여 분석 하였다.case1의 경우 max-Cp 라인은 15rpm 까지이고 case2의 경우는 case1 과 동일하지만 정격 이상의 영역에서 토크 스케줄의 변화가 로직에 따라 다른 궤적을 따라 제어되는 경우이다. case3의 경우 max-Cp 라인이 15.5rpm 까지이고 정격 이상의 영역에서 power curve 라인을 따르도록 제어되는 경우이고 case4는 정격rpm 까지 max-Cp 라인을 따라 제어 되도록 설계하였다.

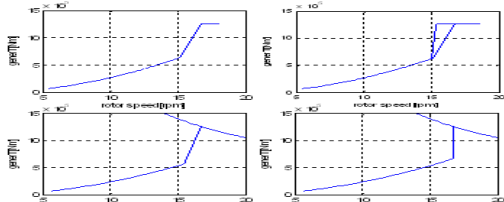


Fig. 4 generator torque vs rotor speed curve

3. 시뮬레이션

IEC61400-1 에 따라, class II-A 에 해당하는 평균 풍속 12m/s, 난류성분 19.47%와 17m/s, 난류성분 17.27%로 GH-Bladed에서 600s 동안 시뮬레이션 하였다. 성능 면에서는 로터스피드와 파워의 평균 값과 표준편차를 비교 분석하였고, 하중측면에서는 블레이드와 타워 운동 방향의 X,Y 방향의 모멘트 성분의 DEL 로 평가하였다. 피치루프의 대역폭은 1, 1.5, 1.8, 2 그리고 2.5 r/s 로 변화 하였고, 발전기 반력토크 명령은 2.2절에서 설명한 4가지 case 로 변화 하였다. Fig.5는 평균풍속 12m/s에서 풍력터빈의 성능을 차트로 정리하였다. 위에서부터 차례대로 로터의 평균값, 표준편차, 그리고 파워의 평균값과 표준편차 이다. 대역폭을 증가 시킬수록 로터와 파워의 표준편차가 감소하고, 더 많은 파워를 생산하는 것을 확인 할 수 있다. 또 한 case4의 경우 발전기 반력토크를 정격에서 vertical 로 제어

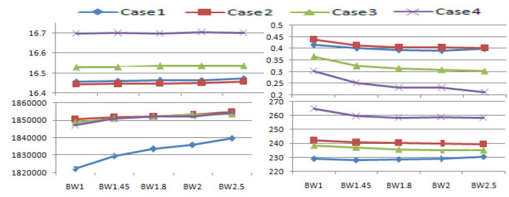


Fig. 5 Performance data of wind turbine at 12m/s

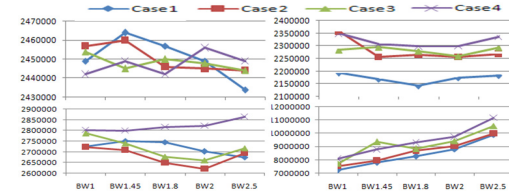


Fig. 6 DEL of wind turbine at 17m/s

함으로써, 로터의 표준편차가 작지만, 급격한 토크의 변화로 인하여 파워의 표준편차가 상대적으로 큰 것을 확인 할 수 있다. 또한 Fig.6은 평균풍속 17m/s에서 풍력터빈의 하중을 차트로 정리하였다. 피치루프의 대역폭을 증가 시킬수록 타워방향의 DEL 값이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 따라서, 너무 빠른 피치 응답은 타워의 진동을 유발 할수 있음을 확인 할 수 있다. 또한 case2 의 경우 풍속이 정격이상에서 이하로 떨어질 때, 다른 궤적을 따라서서히 감소함으로써 타워의 x방향의 DEL 값이 상대적으로 적어지는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

피치루프의 대역폭을 빠르게 가져감에 따라 바람의 운동에너지를 효율적으로 회수 할 수는 있지만 타워의 좌우와 앞뒤방향 성분의 DEL이 증가된다. 또한 발전기 반력토크의 값을 바람이 정격이상에서 이하로 감소될 때 적절히 제어함에 따라 타워의 좌우방향의 DEL 값을 감소 시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No2009T100100621)

참고문헌

1. Fernando D. Bianchi, Hernan De Battista, Ricrdo J.Mantz, 2007, "Wind Turbine Control System", Springer.
2. 남윤수, "풍력터빈의 제어," GS 인터비전,2009.
3. D.E. Kirk, "Optimal control theory: Introduction," 2004.