

풍력터빈 드라이브트레인의 동특성 해석을 위한 모델링 기법

*임 동수¹⁾, **이 승규²⁾, **조 준행³⁾, **안 경민⁴⁾

Modeling Techniques for The Dynamic Characteristics Analysis of Drivetrain in Wind Turbine

*Dongsoo Lim, **Seungkyu Lee, **Joonhaeng Cho, **Kyongmin Ahn

Key words : Wind turbine(풍력터빈), Drivetrain(구동계통), Reliability(신뢰성), Durability(내구성)

Abstract : Wind turbine industry is booming and spending a lot on research for improving the performance of its present machines and increasing their capacity. Wind turbine requires service life of about 20 years and each components of wind turbine requires high durability, because installation and maintenance costs are more expensive than generated electricity by wind-turbine. So the design of wind turbine must be verified in various condition before production step. For this work, high reliability model for analysis is required. Drivetrain model is modeled by multibody dynamic modeling method. The model constituted with rotor blades, hub, main shaft, gear box, high speed shaft and generator. Natural frequency and torsional stiffness of drivetrain are calculated and analyzed.

subscrip

DT : drivetrain
WT : wind turbine
GL : Germanischer Lloyd

1. 서론

최근 기후온난화, 이상기후현상, 유가급등 등의 문제로 화석연료를 대체할 친환경에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 그리고 1997년 12월 이산화탄소(CO₂)발생량을 제한한 교토의정서에 의해, 지구 온난화의 주요 원인인 온실가스에 대한 배출규제가 구체화 되어, 세계 각국들은 풍력 에너지, 수소/연료전지, 태양열, 해양에너지 등과 같은 신재생에너지 기술개발에 더 많은 심혈을 기울이고 있다. 온실가스 배출량이 많은 우리에게는 범세계적 노력에 적극 대응한다는 의미에

서 신재생에너지원 등 탄소 저배출형 기술개발에 적극 투자하는 것이 정책방안의 하나로 중요하게 인식되어 활발하게 전개되고 있다. 서구의 경우, 독일을 선두로 미국, 스페인, 덴마크 등이 풍력 발전 산업을 주도하면서, 1996년 이후 세계 풍력 시장의 연평균 성장률은 40%에 달하고 있다⁽¹⁾. 선진국에 비하여 국내 풍력 시장은 그 규모면에서 아직 미미한 수준이나, 신재생에너지의 확대 보급에 대한 정부의 의지가 확고하고, 업체, 대학 및 연구기관이 참여하는 공동 연구가 추진되

- 1) (주)효성 중공업연구소
E-mail : dslim@hyosung.com
Tel : (055)268-9864 Fax : (055)268-9926
- 2) (주)효성 중공업연구소
E-mail : vikira@hyosung.com
Tel : (055)268-9938 Fax : (055)268-9926
- 3) (주)효성 풍력사업단
E-mail : onjoon@hyosung.com
Tel : (055)268-9922 Fax : (055)268-9926
- 4) (주)효성 풍력사업단
E-mail : autovan@hyosung.com
Tel : (02)707-6646 Fax : (02)707-6629

고 있다. 2005년 48 MW 규모의 풍력발전 단지가 준공되어 가동 중이며, 750 kW 및 2 MW 급 풍력발전시스템은 개발이 완료되어 실증시험 중이다. 이와 함께 산간 오지나 섬 등에서 독립형으로 사용 가능한 6 kW, 10 kW 급 독립형 소형 풍력발전기에 대한 연구 개발도 진행 중이다⁽²⁾.

풍력터빈은 풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 기기로서 풍력이 풍부한 지역에 설치가 된다. 이런 지역의 풍속은 평소에는 10 m/s 내외로 불지만, 태풍이나 돌풍이 불면 풍속은 수십 m/s 까지 올라가 안전상의 문제가 발생한다. 이런 안전상의 문제가 발생했을 때, 문제를 극복하거나 피해를 최소화하기 위하여 극한의 조건에서 풍력터빈의 시뮬레이션을 통해 풍력터빈의 신뢰성(reliability), 내구성(durability) 등을 확보하는 방안⁽³⁾이나 풍력터빈에 모니터링(monitoring) 시스템을 설치하여 안전사고를 사전에 예방하는 연구⁽⁴⁾가 활발하게 이루어지고 있다.

풍력에너지를 전기에너지로 변환하기 위하여 풍력터빈은 증속기(gearbox), 타워(tower), 발전기(generator), 블레이드(blade) 및 각종 제어기(control) 등의 고가의 장비를 갖춘 기기이다. 또한 풍력단지는 수십 기의 풍력터빈을 필요하므로 전력생산량에 비하여 초기 설치비가 높으므로 20년 이상 장기간 전력생산을 해야만 한다.

이런 가혹한 환경조건과 20년이 넘는 장기간 사용을 위하여 풍력터빈의 구성품들은 높은 구조적 건전성과 고신뢰성이 필요하며, 풍력터빈 인종기관에서는 풍력터빈에 대한 구조해석시 강도 해석 뿐만 아니라 피로해석까지 요구한다.

본 연구에서는 양산단계이전에 설계검증을 위한 드라이브트레인의 해석 모델 모델링 방법을 제시하고 비틀림 하중해석과 고유진동수해석을 수행하였다.

2. 드라이브트레인

2.1 드라이브트레인의 구성

본 연구에서 사용한 드라이브트레인 모델은 블레이드(blade), 허브(hub), 메인 샤프트(main shaft), 기어박스(gear box), 발전기(generator)로 이루어져 있으며, 기어박스는 2단 유성기어단(planetary stage)과 1단 평형 헬리컬기어단(parallel helical stage)으로 이루어진 모델이다. Fig. 1에 전체 드라이브트레인 모델을 나타내었

다.

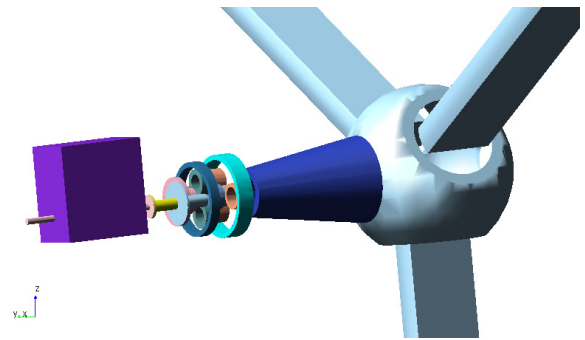


Fig. 1 Model of the complete DT

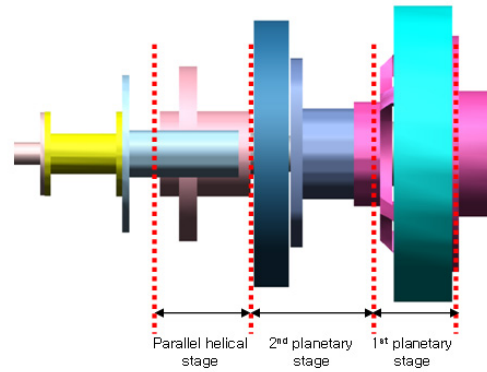


Fig. 2 Model of the gear box

2.2 드라이브트레인의 모델링

본 연구에 사용된 모델은 드라이브트레인의 구성 요소를 강체로 모델링⁽⁵⁾ 하였지만 드라이브트레인의 각 축과 기어사이의 강성(stiffness)을 고려하였으며⁽⁶⁾ fig. 2는 본 모델에서 고려한 강성을 나타내고 있는 풍력터빈(wind turbine: 이하 WT)의 개략도이다.

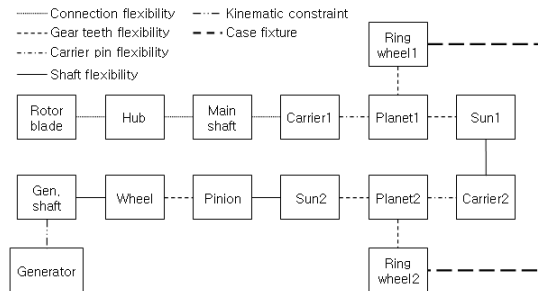


Fig. 2 Composition of the multibody model of the WT

위의 개략도에 Gear box 와 Generator 의 지지부는 나타내지 않았으며, 기구학적 구속(kinematic constraint)은 회전조인트를 의미한다.

본 모델에서는 외부환경조건 즉, 발전기 축(generator shaft)에 작용하는 토크, 풍황(wind condition) 그리고 drivetrain(이하 DT)의 구성요소 중 하나인 각 축의 베어링, 메인 샤프트와 캐리어를 연결하는 커플링 등의 요소는 생략하였다. (질량과 자유도는 고려함)

Fig. 3과 4에 유성기어모델링과 기어간, 축간의 강성을 모델링한 평형 헬리컬기어의 구성도를 나타내었다.

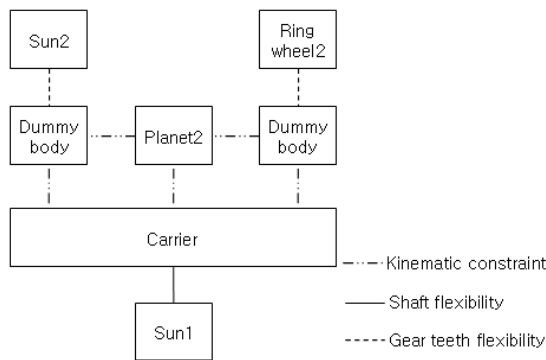


Fig. 3 Model of the second planetary gear

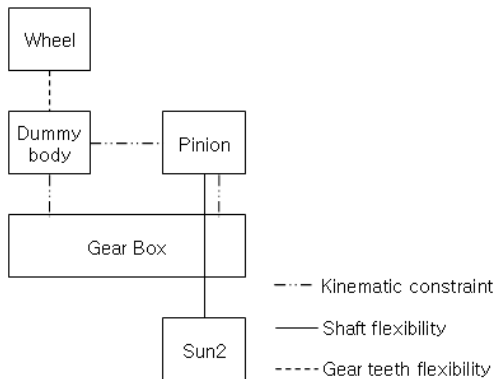


Fig. 4 Model of the parallel transmission

Fig. 3는 유성기어 구성요소간의 기어치강성의 모델링 방법을 나타내고 있으며 Fig. 4은 sun gear 와 pinion gear 사이의 축강성과 pinion gear 와 wheel gear 사이 기어치강성의 모델링 방법을 나타내고 있다. 기어치강성, 축강성 그리고 과구속 문제를 해결하기 위해 가상(dummy)의 구성요소가 사용되었다.

2.3 드라이브트레인의 해석

2.3.1 비틀림 강성

본 연구에서 사용된 모델링 방법을 검증하기 위하여 각 구성요소별 모델링 검증 해석을 수행하였다. 기어의 치강성과 축강성은 기어와 기어, 축과 축사이의 반력 토크(reaction torque)로 나타난다⁽⁷⁾. 그 크기는 식 (1)과 같다.

$$T = k \times \Delta\theta \quad (1)$$

각 구성요소간의 입력된 회전변위에 대한 반력 토크는 Fig. 5와 같다.

각각의 강성과 회전변위는 임의로 주어졌고, 각 구성요소의 강성은 Fig. 5의 그래프의 기울기이다.

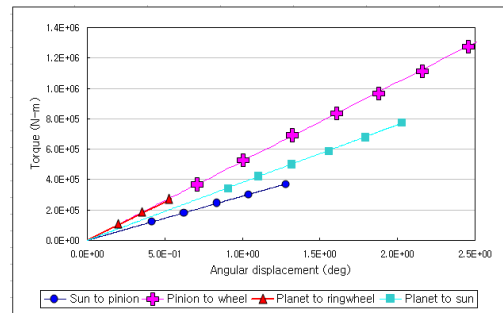


Fig. 5 Torsional stiffness

Table 1에 모델링 검증 해석에 사용된 강성값, 회전변위 그리고 반력 토크를 나타내었다.

Table 1의 k와 θ 는 임의로 입력한 강성과 회전변위 값이며 F는 회전변위에 대한 반력 토크이다. 임의로 입력한 강성과 기울기의 비교를 통해 각 구성요소간의 강성이 정확하게 모델링 된 것을 확인할 수 있으며 모델링 방법이 검증되었다.

Table 1 Torsional stiffness of components

	k [Nm/deg]	θ [deg]	F [Nm]	slope
Sun to pinion	2.9e5	1.30	3.77e5	2.9e5
Pinion to wheel	5.2e5	9.42	4.89e6	5.2e6
Planet to ringwheel	5.0e5	0.54	2.70e5	5.0e5
Planet to sun	3.8e5	2.05	7.78e5	3.8e5
Equivalent stiff. of DT	3.546e+6 [Nm/deg]			

DT의 등가강성(equivalent stiffness)은 planet to sun의 강성을 기준으로 실제값의 비(ratio)로 나타내었다.

2.3.2 비틀림 고유진동수

DT의 비틀림 진동해석을 수행하였으며 그 결과는 Table 2에 나타내었다. DT의 비틀림 고유진동수는 1차 진동수를 기준으로 하여 비로 나타내었다. 2차까지의 비틀림 고유진동수는 20 Hz 이하의 영역에서 나타났으며 1차 모드는 기어박스, 2차 모드는 발전기의 비틀림 모드이다.

Table 2 Natural frequencies of torsional mode

Mode	Frequency ratio
1st DT torsion	1
2nd DT torsion	11.32

위의 주파수 영역에 대한 DT의 비틀림 공진을 회피하기 위하여 설계 시 위의 주파수 영역대역을 피하거나, 운행 중 급속하게 통과하는 공진제어가 요구된다.

3. 결론

WT의 연결부 강성(connection stiffness), 기어 치강성, 축강성을 고려한 다물체 강체 모델을 모델링 하였으며 비틀림 하중해석과 비틀림 진동해석을 수행하였다. 임의의 강성값과 회전변위를 입력으로 하여 모델링 방법을 검증하였다. 또한 주요구성기기별 비틀림 고유진동수 및 고유진동 모드를 공진제어 등의 시스템안정화에 적용하기 위해 산출하였다.

References

- [1] European Wind Energy Association and Green Peace, 2005, "Wind Force 12"
- [2] Kim, S. H., Yoo, N. S., Nam, Y. S., Lee, J. W., 2005, "소형독립형 풍력발전기의 진동 모이터링 및 분석," 한국신재생에너지 학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 64-67, 2005.
- [3] A. Heege, J. Betran, Y. Radovicic, 2007, "Fatigue Load Computation of Wind Turbine Gearboxes by Coupled Finite Element, Multi-body System and Aerodynamic Analysis," WIND ENERGY 2007, pp. 395-413, 2007.
- [4] H. Seifert, "Preventive Load Monitoring and Condition Monitoring-How to Reach the Scheduled Service Life without Financial Damage," DEWI Magazin Nr.23, August 2003.
- [5] ADAMS/View/Vibration user guide.
- [6] J. Peeters, D. Vandepitte, P. Sas, S. Lammens, 2002, "Comparison of analysis techniques for the dynamic behaviour of an integrated drivetrain in a wind turbine," ISMA2002, Vol III, pp. 1397-1405, 2002.
- [7] A. Heege, "Computation of Dynamic Loads in Wind Turbine Power Trains," DEWI Magazin Nr. 23, August 2003.