탄성 다물체 동역학 해석기법을 이용한 풍력터빈 드라이브트레인의 동특성 해석

이승규†·임동수*·박영수**·김진***·최원호****

Simulation Technique of Wind Turbine Dynamic Behavior using Multibody FEM Analysis

Seungkyu Lee, Dongsu Lim, Youngsu Park, Jin Kim, Wonho Choi

Key Words: Wind turbine, Drive train, Durability, Flexible multibody, Finite element model, Emergency-stop

Abstract

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. This paper demonstrates the application of a generic methodology, based on the flexible multibody simulation technique, for the dynamic analysis of a wind turbine and its drive train. The concern of the paper is the computation of dynamic loads of wind turbine in emergency-stop condition. The finite element model is used to analyse the dynamic behaviour of the wind turbine.

1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈 위기와 지구 환경 보호에 대한 관심이 고조되면서 신재생에너지를 이용한 전기에너지 생산에 많은 노력이 경주되고 있다. 신재생에너지 부분에는 수소/연료전지, 태양열, 해양에너지등이 있지만 그 중 대표적인 신재생에너지인 풍력 발전의 경우를 살펴보면 세계적으로 풍력발전 기술은 2004년말에는 47,912MW, 2003년 말에는 40,301MW, 2002년 말에는 32,037MW의 풍력발전 설비의 보급과 연간 82.24TWh/년 및 64.8TWh/년 이상의 전력을 생산하는 청정 에너지 기술로서, 세계적으로도 가장 빠르게 성장하고 있는 발전 기술로서 최근 5년간의 연 평균 산업규모 성장률이 26.3%에 이르는 고도성장 기술이라고 할 수 있다.

2004년말 기준, 세계적으로는 유럽지역이 38,242여대의 풍력설비 댓수 및 용량기준으로

† 이승규, (주)효성중공업 연구소
E-mail : vikira@hyosung.com
TEL : (055)268-9864 FAX : (055)268-9926
* (주)효성중공업 풍력사업단
** (주)효성중공업 연구소
*** (주)효성중공업 연구소
****(주)효성중공업 연구소

66.5% 의 풍력설비를 점유하고 있으며, 독일, 미국, 스페인, 덴마크 등 4개국이 30,469MW의 풍력설비 규모로서 세계 보급량의 75.6%로 대부분을 점유하고 있는 상황이다.

국내에서는 1970년대의 유류파동이후 풍력발전 연구를 시작하였는데, 1975년도에 한국과학원(KAIS)에서 경기도 화성군 엇섬에 설치한 2kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전기의 효시이자, 풍력산업의 시초라 할 수 있다. 그 이후, 1990년대 이전까지 약 20여대의 소형 풍력발전기(1~14kW)가 계통연계형이 아닌 단위전원 공급용으로서 연구개발의 시제품으로 또는 외국으로부터 도입하여 설치되었으며 90년대 중반이후 본격적인 정부의 계획수립 및 지원하에 풍력발전 기술개발이 급속도로 발전하고 있다. 그러나 다수의 연구개발 사업의 진행에도 불구하고 많은 연구사업이 외국의 설계 및 원천기술에 의존하는 형태를 띄고 있어, 독자적인 기술의 확보에는 좀더 많은 시간이 필요할 것으로 예상된다.[1]

풍력터빈은 풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 기기로서 풍력이 풍부한 지역에 설치가 된다. 이런 지역의 풍속은 평소에는 10m/s 내외로 불지만, 태풍이나 돌풍이 불면 풍속은 수십 m/s까지 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 방안이나 풍력터빈에 모니터링(monitoring) 시스템을 설치하여 안전사고를 사전에 예방하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 기구/동역학 및 구조해석 소프트웨어인 ADAMS와 MSC/Nastran을 이용하여 750kW급 풍력발전기 드라이브시스템에 대한 동역학적 해석모델을 모델링하고 긴급정지(emergency stop)상황의 시뮬레이션을 통해 드라이브트레인 및 주축(Main shaft)의 동적거동 및 동특성을 파악하고자 한다. 이를 위해 ADAMS를 사용하여 드라이브트레인의 다물체 동역학 해석모델을 모델링하였으며 MSC/Nastran과 ADAMS/Flex를 이용하여 주축의 탄성체 모델링을 수행하였다.

2. 드라이브트레인 모델

2.1 드라이브트레인의 강체 모델

본 연구에 사용된 드라이브트레인 모델은 블레이드(blade), 허브(Hub), 주축(Main shaft), 증속기(Gear box), 발전기(Generator)로 이루어져 있으며 증속기는 1단 유성기어단(planetary stage)과 2단 평형 헬리컬기어단(parallel helical stage)으로 이루어진 모델이다. Fig. 1에 전체 드라이브트레인 모델을 나타내었다. 드라이브트레인의 구성 요소(주축 제외)를 강체로 모델링 하였지만 각 축과 기어사이의 강성(stiffness)은 고려되었으며 Fig. 2는 본 모델에서 고려된 강성을 나타내고 있다.

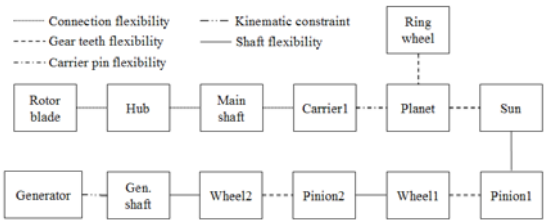

Fig. 2 Composition of the multibody model of the Drive train

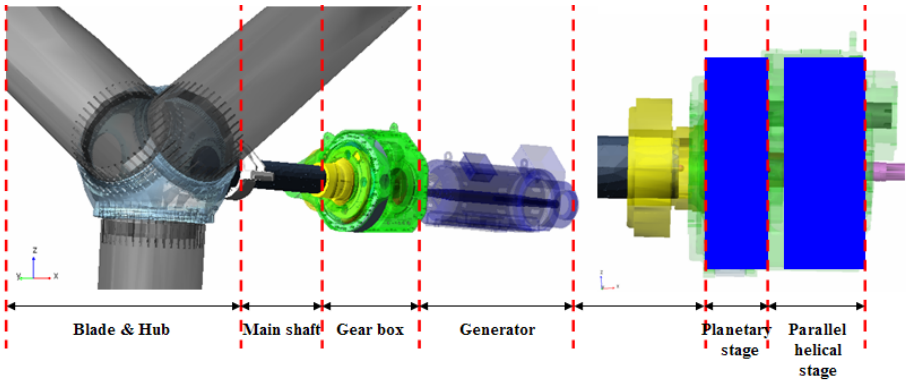

Fig.1 Model of the complete Drive train

위의 개략도에 증속기와 발전기의 지지부는 나타내지 않았으며 기구적 구속(kunematic constraint)은 회전조인트를 의미한다.[2,3]

본 모델에서는 외부환경조건 즉, 발전기 축에 작용하는 토크, 풍황(wind condition) 그리고 드라이브트레인의 구성요소 중 하나인 각 축의 베어링과 커플링 등의 요소는 생략하였다.(질량과 자유도는 고려함)

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

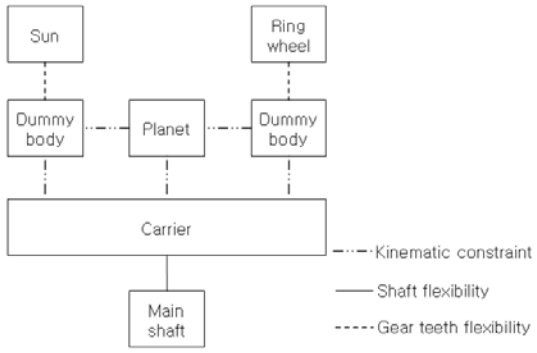

Fig. 3 Model of the planetary gear

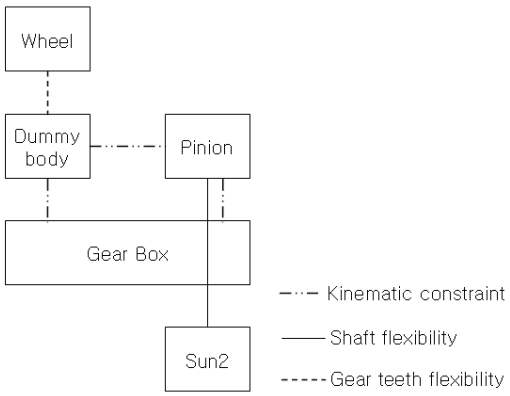

Fig. 4 Model of the parallel transmission

Fig. 3은 유성기어단 구성요소간의 기어치강성의 모델링 방법을 나타내고 있으며 Fig. 4는 선기어(Sun gear)와 피니언 기어(pinion gear)사이의 축강성과 피니언 기어와 휠 기어(Wheel gear)사이어 기어치강성의 모델링 방법을 나타내고 있다. 기어치강성, 축강성 과구속 문제를 해결하기 위해 가상(dummy)의 구성요소가 사용되었다.

2.2 주축의 유한요소 모델

드라이브트레인의 정확한 동적해석 및 응력해석을 위해서는 모든 단품을 탄성체로 가정하여 모델링해야 하나 이 경우 자유도의 수가 지나치게 증가하여 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 시스템에서 동적거동에 큰 영향을 미치는 주축을 탄성체로 모델링 하였다.

MSC/Patran을 이용하여 구성한 주축의 유한요소모델링은 Fig. 5와 같으며 총 31,250개의 절점과 20,601개의 요소로 구성되어 있다. 주축의 연결부위는 다점구속조건(MPC)을 이용하여 ADAMS내에서 조인트 구속을 모델링 할 수 있게 하였다.

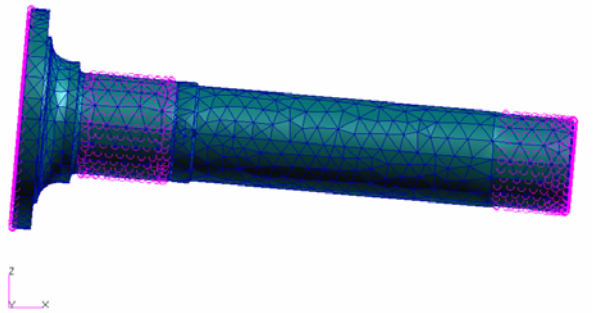

Fig. 5 Finite element model of the main shaft

주축의 제작에 주로 사용되는 재료로는 Steel로 Table. 1은 규격 KS D 4101-90, SC410으로 만들어 Steel의 물성치이다.

Table 1 Material Properties of STEEL

Elastic modulus, E [GPa]	210
Poisson's ratio, ν	0.29
Density, ρ [kg/m3]	7850

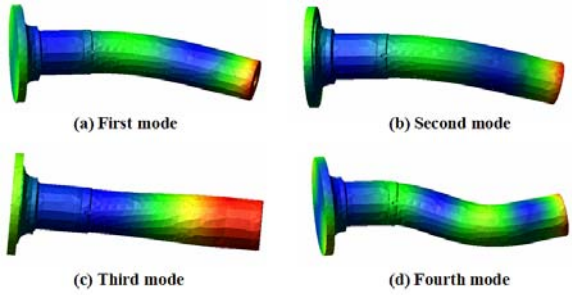

Fig. 6 Vibration mode shapes of the main shaft

Fig. 6은 주축의 강체모드를 제외한 처음 4개의 탄성모드를 나타낸 것이다.

MSC/Patran을 이용한 유한요소모델링시 ADAMS와 결합을 고려하여 다음과 같은 사항에 미리 유의해야한다.

ADAMS를 이용한 강체모델과 MSC/Patran을 이용한 유한요소모델의 결합을 위해서는 ADAMS상의 조인트 위치에 절점(node)이 존재해야 한다. 따라서 유한요소모델링이 끝난 후 ADAMS의 조인트 위치에 유한요소모델에 절점이 있는지 검토한 후 유한요소해석을 수행해야 한다. 만약 ADAMS 조인트 위치에 절점이 존재하지 않으면 절점의 위치를 이동하거나 MPC(Multi Point Constraint)조건을 이용하여 절점을 생성하여야 한다.[4]

3. 시뮬레이션

3.1 긴급정지 조건

풍력발전기의 경우 시스템의 특성상 해안가, 산간오지에 설치되는 경우가 대부분이며 이 같은 지역에서는 순간 돌풍, 역풍등의 긴급한 상황이 빈번하게 발생한다. 이럴 경우 풍력발전기의 안전을 위해서 수 초내에 풍력발전기의 운전을 정지시키게 되는데 이를 긴급정지(Emergency stop)이라고 한다.

3.2 운전 조건

본 연구에서 사용된 운전조건은 허브의 회전속도가 5초까지 완만하게 180 Deg/sec 까지 증가하는 조건이며 Fig. 7은 이 때 각 기어의 회전 속도를 나타낸 것이다.

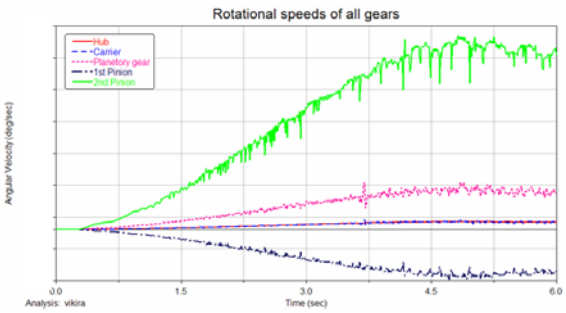

Fig. 7 Rotational speeds of all gears

3.3 주축의 동특성

긴급정지 상황에서의 주축의 동특성을 파악하기 위해 긴급정지시의 제동력은 6초부터 8.6초까지 브레이크 디스크에 반력토크를 모델링 하여 구현하였다. Fig. 8은 긴급정지 상황에서의 주축의 토크 변화를 나타낸 것이다.

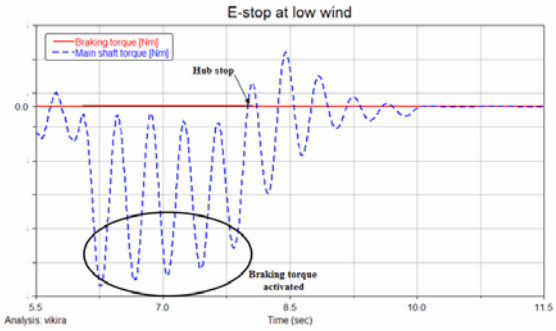

Fig. 8 Finite element model of the main shaft

허브의 회전운동 정지후 주축의 반력 토크가 일정하게 진동하는 것을 알 수가 있다. 이는 허브가 완전히 정지하여도 블레이드등의 회전운동에 대한 관성력과 주축의 탄성효과로 인하여 발생하는 것으로 사료 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 750kW급 풍력발전기의 드라이브 트레인을 탄성 다물체동역학 모델링기법을 이용하여 모델링하고 브레이크 디스크에 반력 토크를 입력하여 긴급정지상황을 구현 하였다.

긴급정지 상황 후 주축의 반력토크가 일정하게 진동하는 것을 알 수 있었으며, 이는 블레이드등의 회전운동에 대한 관성력과 주축의 탄성효과로 인하여 발생하는 것으로 사료된다.

추후 주축의 반력토크의 진동을 이용하여 드라이브 트레인 전체의 1차 회전고유진동수를 산출할 수 있을 것으로 사료된다.[5]

참고문헌

(1) 김건훈, 2006, “풍력기술의 특성 및 국내외 현황,” 전기전자 학회지, 제 11권 1호. pp. 13-18.

(2) 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," ISMA 2002, Vol Ⅲ, pp. 1397-1405.

(3) J. Peeters, D. Vandepitte, P. Sas, 2006, "Structural analysis of wind turbine and its drive train using the flexible multibody simulation technique," ISMA 2006, pp. 3665-3680.

(4) 김형근, 서민석, 1997, “탄성 다물체 해석기법을 이용한 크롤러형 건설장비의 주행 및 선회 동특성 해석,” 한국자동차공학회논문집, Vol 5, No. 1, pp. 101-109.

(5) A. Heege, Y. Radovcic, J. Betran, 2007, "Fatique Load Computation of Wind Turbine Gearboxes by Coupled Finite Element, Multibody System and Aerodynamic Analysis," WIND ENERGY, pp. 395-413.