

저속 기어형 2MW급 풍력발전기 개념설계

손 영욱¹⁾, 김 영찬, 김 응환, 이 응채, 박 인수, 정 진화, 한 경섭, 전 중환

Conceptual Design of 2MW Wind Turbine Generator with Low-speed Gearbox

Younguk Sohn, Youngchan Kim, Youngwhan Kim, Eungchae Lee, Insoo Park,
Chinwha Chung, Kyungsuep Han, Chungwhan Chun

Key words : KBP-2000M

Abstract : Under the national project for the development of 2 MW wind energy convert system, we are under development of the prototype of 2 MW wind turbine with low speed gearbox. This system adopts low speed gear box with planetary and spur gear and is pitch regulated variable speed type with the synchronous permanent magnet generator. The compromised size of generator in diameter and width are adopted to meet the structural design requirements. In this paper, the concept study for the type, the acrodynamic design for the blade and the details of load calculation will be presented. The detailed characteristics of the system will also be introduced.

1. 서 론

에너지 위기와 환경보호를 위해서 2001년부터 신재생에너지 보급 및 지원 정책을 수행하고 있다. 이러한 정책을 통해서 2003년에 풍력발전기를 평가하는 기준을 마련하였으며, 2004년부터 기어형과 직접구동형의 2가지 형태의 750kW급 풍력발전기를 개발 시작하여 2005년부터 실증검증 중에 있다.

국가적인 정책으로 대형 풍력발전기 개발을 위해 저속기어형 2MW 풍력발전기 개발을 2004년 중반부터 시작하여 2007년 중반까지 해서 완료할 예정이다. 또한 1MW 듀얼블레이드 풍력발전기가 제작중에 있으며, 다른 형태의 2MW가 설계중에 있다. 2006년에는 3MW 해상용 풍력발전기의 기본설계가 완료되어 제작이 될 것이다.

이러한 계획에 의해서 가까운 장래에 750kW 부터 3MW까지 실증연구 또는 발전단지에 육상용 또는 해상용으로 국내에서 개발된 풍력발전기 설치가 될 것이다.

이 논문은 포항풍력에너지연구소와 유니슨 주식회사의 2번째 공동연구과제로써 블레이드 설계

와 하중계산에 관한 저속 기어형 2MW 풍력발전기의 특성에 관한 것이다.

2. KBP-2000M 특성

KBP-2000M 풍력발전기는 저기어비를 가진 저속 기어박스과 가변속도타입을 설계목표로 한다. 이러한 설계 목적을 위해서 2단 기어박스를 채택을 통해 직접구동형보다 작은 발전기를 사용하고도 같은 효율을 낼수가 있으며 무게나 크기에서도 유사한 직접구동형보다도 작고 적게나간다.

설계목적의 하나인 저속기어박스의 사용을 위해서 샤프트를 기어박스 앞쪽에 배치를 하여 연결을 하였으며, 피치 시스템 작동을 위한 케이블은 샤프트의 뒤쪽 홀을 통해서 연결이 된다. 또한 브레이크 시스템은 기어박스 뒤쪽에 배치를 하였으며, 기어박스에 걸리는 토크를 감쇠하기 위해서 토크암을 설치하여 기어박스에 걸리는 토크를 메인플레임에 분산시켰다.

1) PoWER Center
E-mail : younguk@postech.edu
Tel : (054)279-1815 Fax : (054)279-1799

KBP-2000M의 기본적인 특성은 풍속 11.5m/s에서 블레이드의 회전속도가 15.3rpm이 되어 발전기에서 2000kW의 전기를 생산할 수가 있다. 또한 발전을 위한 풍속의 범위는 3~25m/s이며, 이러한 풍속의 범위하에서 블레이드의 팁스피드비는 8로써 정했으며, 효율은 0.482가 나온다. 이 데이터를 바탕으로 블레이드의 길이와 발전기사이에서 회전속도에 따른 문제를 해결을 하면서 설계가 하였고, 최적의 TSR은 평균풍속에서 최대의 에너지를 얻을수 있는 토크제어를 통해서 구할 수가 있으며, 그림1의 토크-속도 그림을 통해서 로터의 최적화된 팁스피드를 제어할 수가 있다. 정격속도보다 높은 곳에는 블레이드의 피치 제어와 토크제어를 통해서 제어한다.

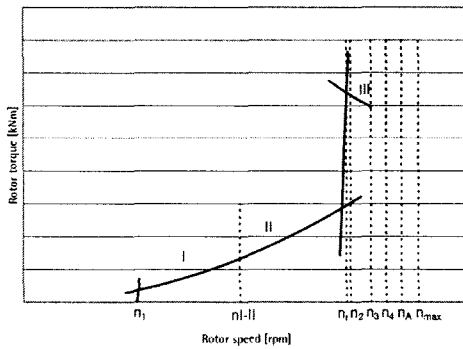


Fig.1 Control zone of controller

피치 시스템은 풍력발전기의 주 브레이크 시스템으로 각각의 블레이드에 독립적인 전기 모터 드라이버가 포함되어 있으며, 여분의 밧데리팩을 포함한다. 추가적인 브레이크 시스템은 기어박스의 축중 고속으로 회전하는 부분에 설치가 된다.

타워위의 나셀은 4개의 볼베어링에 의해서 지지된다. 나셀내에는 4개의 전기적인 모터에 의해서 풍향에 따라서 움직이는 요우가 포함되어 있으며, 일반적인 상황에서는 10개의 캘리퍼스에 의해서 고정되어 있다.

3. 블레이드 디자인

KBP-2000M의 블레이드는 연평균풍속 8.5m/s에 맞추어 설계되었다.

아래 표1은 KBP-2000M의 블레이드의 설계변수를 나타낸다.

Table 1 Design parameter for KBP-2000M WTGS

Rated Power	2MW
Rated wind speed	11.5m/s
Range of wind speed	3~25m/s
Power control	Blade Pitch
Tip speed ratio	8
Nominal rotor speed	25m/s
Range rotor speed	6~18rpm
Rotor diameter	88.0m
Hub height	80.0m

Table 2 Selected airfoil profile of KBP-2000M rotor blade

Cylinder
AE02-40
AE02-35
AE02-30
AE02-25
NACA 63-421
NACA 63-618
NACA 63-618

블레이드에 사용된 에어포일은 2가지로 첫 번째는 NACA63시리즈로 중형급 풍력발전기에서 좋은 성능을 나타내기 때문에 선택을 하였고 NACA63을 대부분의 공력을 받는 블레이드의 68%~100% 지점에 분배를 하였다. 두 번째로 AE02시리즈 프로파일을 구조적인 힘을 받는 부분인 68%까지 사용한다. 블레이드의 두께는 두껍지만 큰 받음각을 가지고 있어 좋은 성능을 나타낸다. 표2는 KBP-2000M에 사용된 프로파일을 나타내며, 그림2와 3은 AE02와 NACA63 시리즈 에어포일의 2D와 3D 프로파일 모양을 나타낸다.

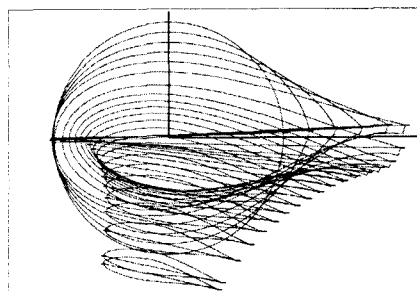


Fig.2 Airfoil shape of blade

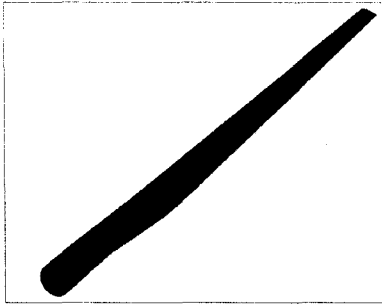


Fig.3 Distribution of airfoil section

그림4는 각각의 상대적인 시위길이, 두께, 비틀림을 나타낸 것이며 이 데이터를 이용하여 최소한의 공력손실을 바탕으로 기계적인 강도, 재료의 부피 등을 고려한 전체적인 형상을 이론을 바탕으로 계산하여 설계하였다.

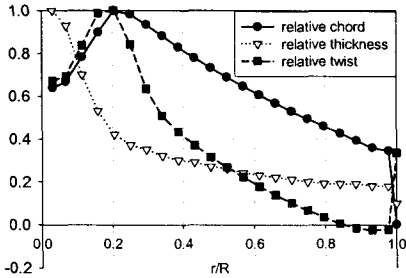


Fig.4 Relative chord, thickness, twist distribution

그림 5에는 여러 가지 피치 각도에 따른 Cp-TSR 그래프를 나타낸 것으로 Cp값이 피치각이 0일 때 TSR이 8로써 최고값을 나타내며 이러한 값들을 이용하여 블레이드의 공력설계에 이용하였다.

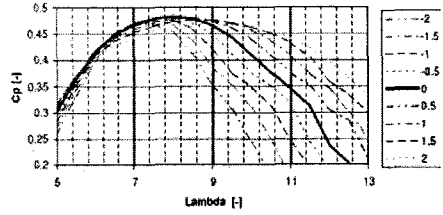


Fig.5 Cp-TSR characteristics of blade

4. 하중계산

KBP-2000M의 하중계산은 GL규정¹⁾과 IEC 61400-1²⁾의 절차에 따라 계산하였다. 하중계산을 위한 바람조건은 TC2A를 기본 조건으로 하였으며, Aerodyn사의 aeroFLEX 프로그램을 이용하여 계산을 수행하였다. 풍력발전기 설계에 있어서 하중값을 필요로 하는 부분은 아래와 같다.

- 블레이드 루트부분 B1, B2, B3
- 각각의 블레이드 부분별
- 허브와 샤프트의 회전 시스템 연결부위 R1
- 허브와 샤프트 고정 시스템의 연결부위 N
- 타워의 각각의 부분별

하중계산은 극하중, 피로하중과 편향도 3부분으로 정의를 할 수가 있으며, 극 하중은 바람이나 제어에 의해서 발생하는 동적하중과 정적하중에 의해서 발생을 하고, 피로하중은 발전기의 운전조건 즉 일반적인 운전상태, 시동상태, 정지상태, 비상정지 등의 발생빈도를 바탕으로 수명주기를 생각하여 계산을 한다. 이러한 극하중과 피로하중은 시스템의 최대하중보다 낮은 값이 나와야 한다. 편향도는 블레이드나 타워의 윗부분의 허브나 요우시스템과 결합되는 부분에서 계산을 수행한다. 기본적인 하중 경우는 규정에 의해서 구할 수가 있으며, 바람이나 운전, 환경 등의 조건에 의해서 더 많은 하중 경우가 발생을 한다. KBP-2000M에서는 300개 이상의 하중 경우를 계산하였다.

Table 3 Extreme loads on blade bearing

Load case	Blade No.	F _x -B [kN]	F _y -B [kN]	F _z -B [kN]	M _x -B [kNm]	M _y -B [kNm]	M _z -B [kNm]
DLC1.6b1-4	3	928	11	92	-19	-487	-100
DLC6.1-3-4	3	-109	368	-48	-29	1037	7292
DLC1.2h1	3	334	113	271	-33	-6554	1717
DLC1.3b1-3	1	224	85	-219	172	5773	1200
DLC1.2h1	3	334	113	271	-33	-6554	1717
DLC1.2h1	3	321	112	271	-33	-6554	1717

Table 4 Fatigue loads on blade bearing

F _x -B [kN]	F _y -B [kN]	F _z -B [kN]	M _x -B [kNm]	M _z -B [kNm]
316.1±85.7	-0.15±86.1	123.2±37.5	-3015±910.5	60.73±1264

No. of load cycle n=1.0×10⁸

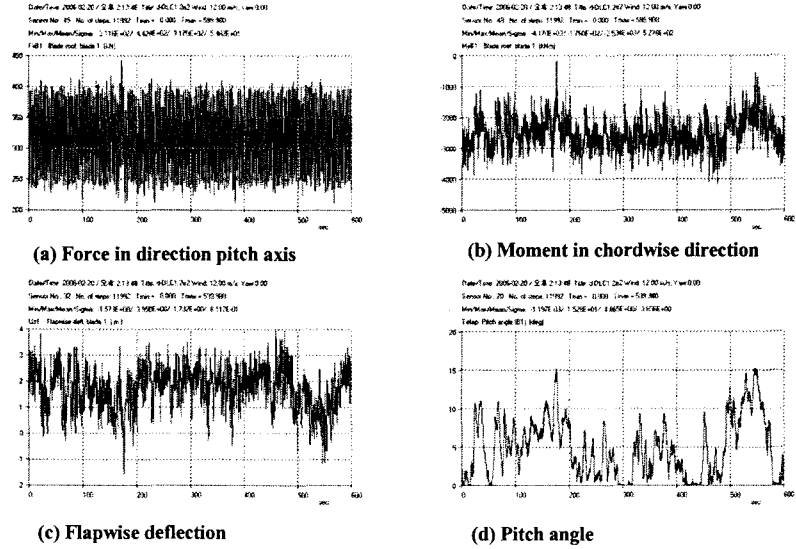


Fig.6 Section force at the root of rotor blade in the normal wind condition [DLC1.2e2]

그림6은 일반적인 전력생산 조건하의 DLC1.2E2의 하중경우에서 구한 블레이드 루트 부분의 여러 가지 하중과 상태를 나타낸 것이다. 표 3과 4는 블레이드 베어링부분에 걸리는 극하중과 피로하중을 나타낸 것으로 극 하중의 경우는 안전계수를 포함하여 계산을 수행하였으며, 피로하중의 경우는 여러 가지 운전환경조건하의 손상을 가정한 하중 스펙트럼을 포함하였다.

5. 결론

KBP-2000M은 현재까지 설계중에 있으며, 기본적인 설계변수에 대한 계산은 완료가 되어 지금 세주적인 도면작업과 하중계산중에 있다. 2006년 8월까지 기술적인 설계는 끝날 예정이며, 그후 1년동안 프로토타입 KBP-2000M을 제작할 것이다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 2MW 풍력발전기 개발과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Guideline for the Certification of Wind Turbine, Edition 2003, Germanischer Lloyd, 2004
- [2] IEC 61400-1 Wind Turbine Generator System - part 1 : Safety Requirement, 2nd Edition, IEC, 1999