

3MW급 해상 풍력발전시스템 개발현황

주 완돈¹⁾, 박 정훈²⁾, 최 준혁³⁾, 임 채욱⁴⁾, 박 종포⁵⁾

Development Status of 3MW Class Offshore Wind Turbine

Wandon Joo, Jeunghun Park, Junhyug Choi, Chaewook Lim, Jong-po Park

Key words : Offshore Wind Turbine(해상풍력발전시스템), System Integration(시스템조합), Variable Speed Pitch Control(가변 피치 제어), Permanent Magnet Generator(영구자석 발전기)

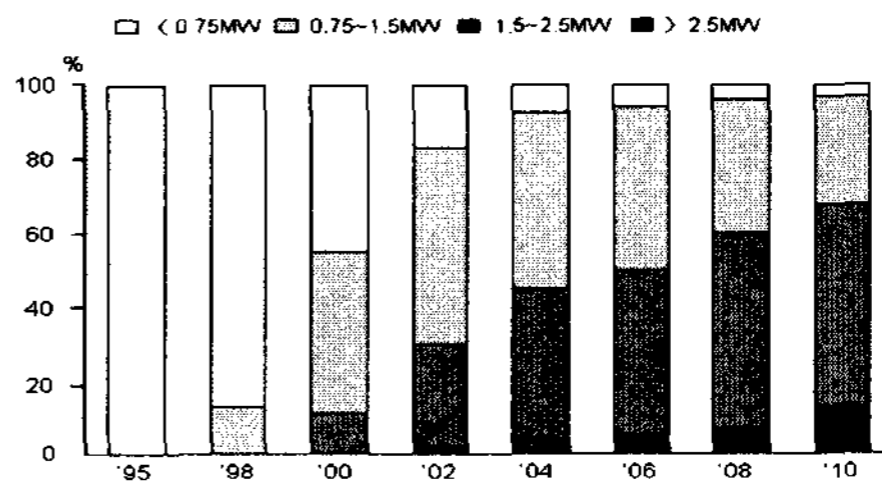
Abstract : This paper presents the general results of the conceptual design of a 3MW class offshore wind turbine named WinDS 3000 under development. In WinDS 3000, an integrated drive train design, three stage gearbox and permanent magnet generator (PMG) with fully rated converters have been introduced. A pitch regulated variable speed power control with individual pitch control has been adopted to regulate rotor torque while generator reaction torque can be adjusted almost instantaneously by the associated power electronics. Through the introduction of WinDS 3000, it is expected that helpful to understanding of the development status of 3MW offshore wind turbine.

1. 서론

최근 풍력발전시스템의 세계적인 동향은 저 비용, 고 신뢰성이 key factor로 강조되고 있는 상황이다. 그 중 저비용 측면에서 풍력발전시스템이 급속도로 대형화, 해상화되는 추세이다. Fig. 1 과 Fig.2 에 나타난 바와 같이 2000년 이전에는 750kW 미만이 주류였으나, 그 이후로는 MW급의 풍력발전시스템이 시장의 주류를 이루고 있다. 운반이나 유지관리 문제 등으로 인해 2005년 전 세계 풍력발전시스템의 설치 평균 용량은 1.3MW정도 밖에 되지 않았지만 점차 Multi-MW급 풍력발전시스템이 일반화되어 최근 대부분의 선진 제작사들은 주력 기종을 2MW급 이상으로 조정하였다. 이에 따라 신규로 개발되고 있는 풍력발전시스템의 경우 제작사별로 3~5MW급 풍력발전시스템이 시제품 제작 또는 실증 운전되고 있으며, 앞으로 육상용은 2~2.5MW급, 해상용은 3~5MW급의 대형풍력발전시스템이 시장을 주도할 것으로 분석되고 있다. 이처럼 풍력발전시스템 대형화되는 이유는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1)시각적 충격의 완화(Reduction in visual impacts): 적은 수의 대형 터빈이 많은 수의 소형 터빈보다 시각적으로 좋음. 대형 터빈은 또한 회전 속도도 느리므로 시각적으로 덜 부담스러움.

2)대형 풍력발전시스템의 경우 풍력단지의 단위 면적에서 발전하는 전력량이 훨씬 많아 초기 설치비용이 높음에도 불구하고 COE가 저감됨.



Source: Emerging Energy Research, BTM 및 Lahmeyer Consulting 자료 분석 적용

Fig. 1 풍력발전시스템 용량별 세계시장점유 추이

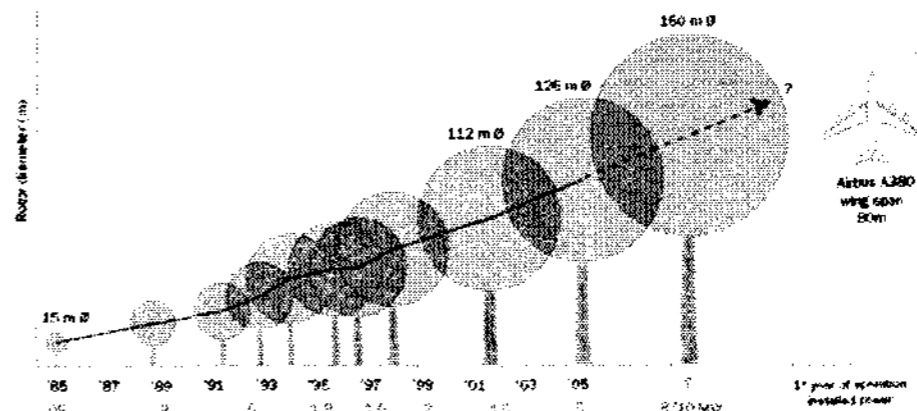


Fig. 2 풍력발전시스템의 대형화 추이

풍력발전시스템의 대형화와 함께, 풍황 좋은 육상단지의 고갈, 각국의 신재생에너지 공급확대 정책은 세계적으로 해상풍력발전 단지 개발을 가속화 시키고 있는 상황이다. 특히, 해상풍력의 경우 기초 공사, 육상으로의 계통 연계에 많은 비용이 소요되므로 가능한 대용량의 풍력발전시스템을 설치하는 것이 비용 면에서 유리하다고 할 수 있다.

이러한 대형 해상풍력단지 개발이라는 세계적인 추세에 발맞추어 국내에서도, 해상풍력단지 개발 및 대형풍력발전시스템 개발에 관한 연구가 본격적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 두산중공업에서 개발 중인 WinDS 3000을 소개하고자 하며, 이를 통해 국산 3MW급 대형 해상 풍력 발전 시스템 개발 현황의 이해를 증진시키고자 한다.

2. 개발일정

WinDS 3000의 개발기간은 총 3년으로 구성되어 있으며 세부 연구 목표는 Table 1에 나타내었다. 현재 1차년도 개발일정을 소화하고 있는 상황이며 3장에서는 주요 구성품의 1차년도 개발현황을 소개하고자 한다.

Table 1 연차별 연구 목표

구분	세부연구목표
1차 년도	시스템 개념 설계 기술 확보
	시스템 기본 설계 기술 확보
	블레이드, 증속기, 발전기, 제어시스템 등 기본 설계기술 확보
2차 년도	블레이드, 증속기, 발전기, 제어시스템, 요소부품, 안전장치 등 상세 설계기술 확보
	제작 기술 확보
	시스템 통합 상세설계 기술 확보
3차 년도	시스템 통합 성능 시험
	구성품 성능 평가 시험
	구성품 설계 인증 취득
최종 평가	3MW급 풍력발전시스템 성능 평가
	시스템 설계 인증 취득

3. 주요 구성품 개발 상황

본 장에서는 WinDS 3000의 일반적인 Spec결정 내용을 소개하고, 주요 구성품의 1차년도 연구개발 내용을 다루고자 한다. Table 2에 WinDS 3000의 주요 스펙에 관한 내용을 정리하였다.

3.1 블레이드

WinDS 3000을 위해, upwind type의 3 블레이드 로터를 채택 하였다. 이때, 블레이드 길이는 44 m, 정격회전속도는 15.7 rpm이며, 재질은 epoxy glass fiber로 선정하였다. Fig. 3에 블레이드의 형상과, tip speed ratio (TRS)에 따른 power coefficient를 나타내었다. TSR 7.4에서

최대 출력계수 0.492를 갖는 것을 보여주고 있다. Fig. 4에 바람속도에 따른 출력곡선을 나타내었고, 약 12.5 m/s에서 3MW의 정격출력을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

Table 2 General Specification of WinDS 3000

Parameter	Value
Hub height	80 m
Tower height	77 m
Tower top diameter	3.5 m
Tower bottom diameter	4.5 m
Rotor diameter	91.3 m
Rated power	3 MW
Cut-in wind speed	4 m/s
Rated wind speed	13 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Type class	Ia
Life cycle	20 years
Certification	GL

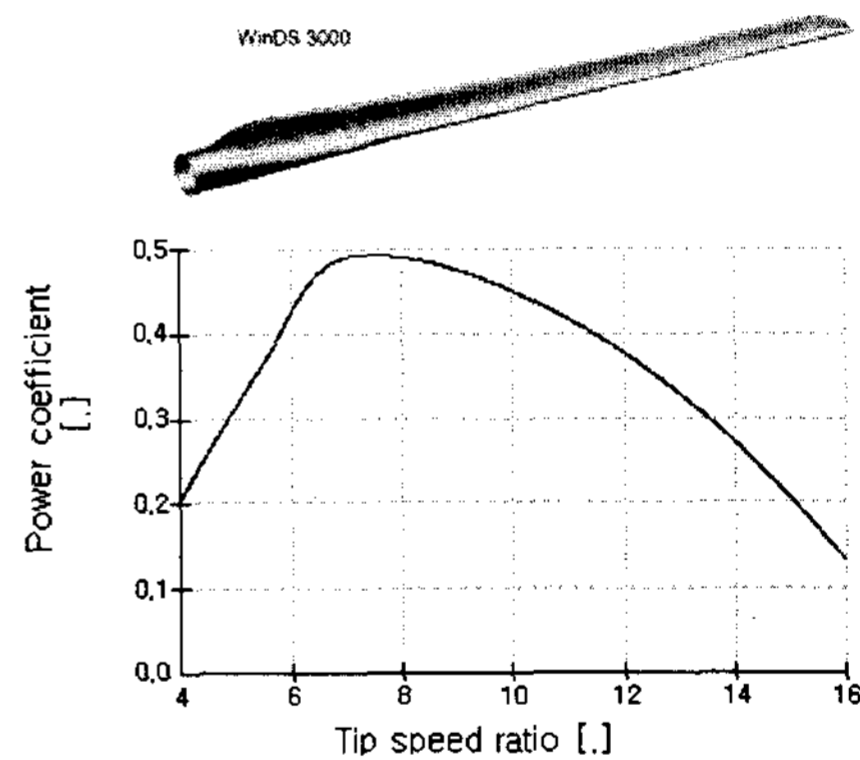


Fig. 3 Blade Shape & Power Coefficient

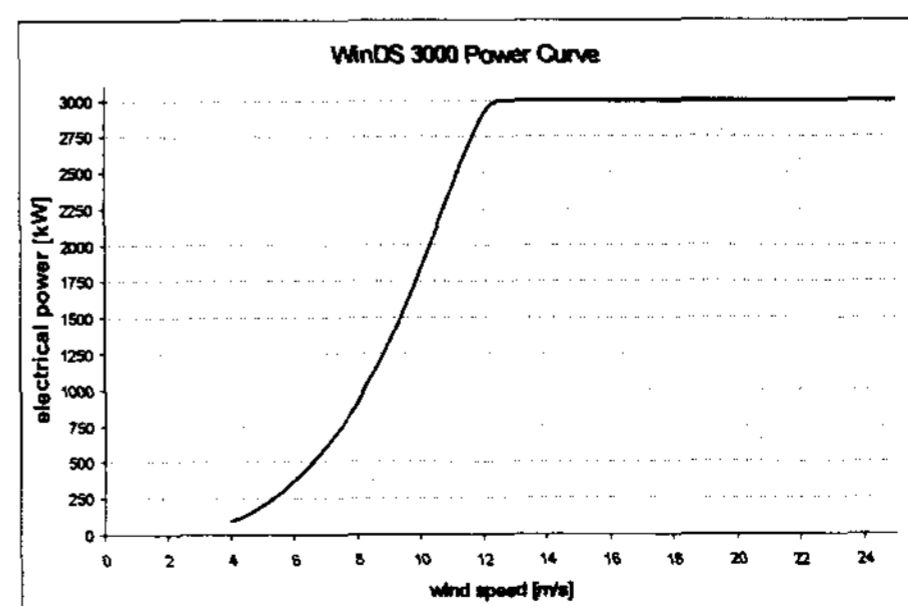


Fig. 4 Power curve of WinDS 3000

3.2 증속기

Fig.5는 메인 프레임에 설치될 증속기를 보여 준다. WinDS 3000를 위해 개발 중인 증속기는 2단의 유성기어와 1단의 평행 기어로 구성되어 있다. 증속기 설계 시 균일한 하중분포 유지와 충격성 하중에 의한 증속기 손상 방지를 위해 다음과 같은 설계 개념을 적용하였다.

- 1) Compound differential gear train
- 2) Multi-planet
- 3) Flexible pin
- 4) Torque reaction suspension

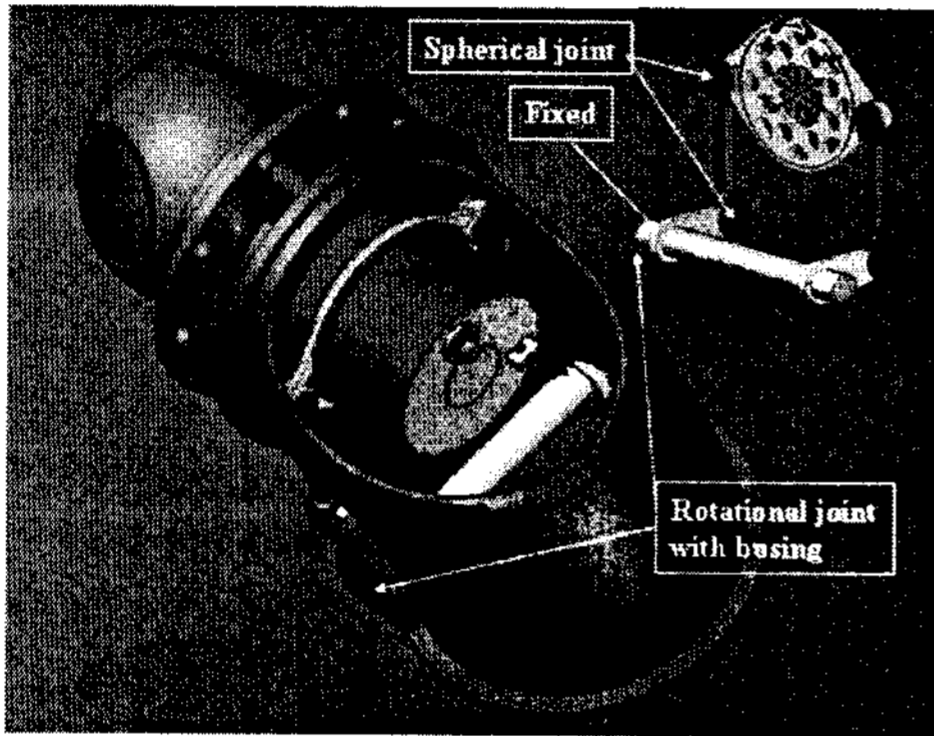


Fig. 5 Gearbox with torque reaction suspension

미분기어는 1단과 2단 기어의 하중 분포를 통해 증속기 크기를 줄이고 유연핀(flexible pin)을 갖는 다수의 플레닛(multi-planets) 적용을 통해 접촉하는 치의 치폭 방향 하중분포와 planet들 간의 하중 분포를 균일하게 하였다. 돌풍과 같은 충격하중 발생 시 하중을 비틀림 보가 완충하도록 설계하여 증속기와 메인프레임 손상을 방지하였다.

3.3 발전기

발전기는 Radial flow type의 permanent magnet을 이용한다. Table 3는 발전기의 preliminary specification이다. Table 3에서 보듯이 피 정격전압이 높으면 인버터 switching 소자의 가격이 비싸지게 되므로 이를 고려하여 전압을 저전압으로 선정하였다. 또한, 영구 자석형 발전기에 있어 문제시 되는 것이 cogging torque이다. 이 값이 크게 되면 운전 시 gearbox에 무리를 줄 수 있으므로 설계 시 cogging torque를 줄이기 위한 방법이 고려되어야 하며 본 개발에서는 stator의 slot에 skew를 줄 계획이다. 냉각방법은 기본적으로 Water jacket을 이용할 예정이며, 보조 냉각방법으로 내부 공기의 냉각도 병행할 예정이다. Table 3의 사양들을 설계의 시작점으로 하여 최적의 설계가 되도록 Fig. 6과 같은 전자기장 해석과 열해석등을 반복 수행할 예정이다.

Table 3 Generator Preliminary Specification

Parameter	Value
Rated kVA	3500 kVA
Nominal Voltage	690 Vrms
Rated Current	2930 Ampere
Power Factor	0.9
Rated Speed	1459 rpm
Operating Range	745 ~ 1898 rpm
Number of Pole	8
Radius of Rotor	310 mm
Inner radius of Stator	313 mm
Outer radius of Stator	413 mm
Length of Stator	1164 mm
Number of Slot	48
Efficiency	Higher than 98.1 %
Cooling	Water Jacket + Air Cooling

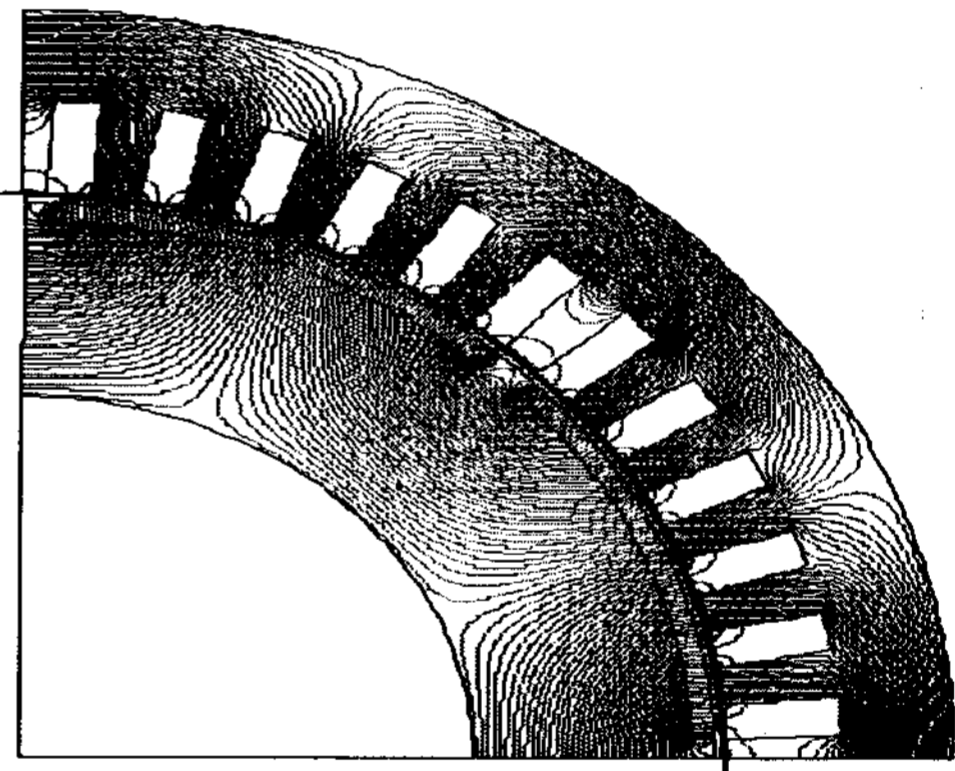


Fig. 6 Flux 2D를 이용한 전자기장 해석 (1/4 해석)

3.4 제어

WinDS 3000의 제어시스템은 Fig. 7과 같이 variable-speed variable-pitch의 특징을 가진다. 제어시스템은 발전기의 토크를 조절하는 토크 제어부와 블레이드 피치각을 조절하는 피치 제어부로 구성된다. 토크 제어부는 주 토크 제어부와 토크 댐퍼부로 구성되어 있다. 주 토크 제어부에서는 정격 이하에서 최대의 파워를 발생하기 위하여 발전기의 토크를 제어하는 역할을 한다. 토크 댐퍼부에서는 타워의 진동 모드(side-side 방향) 및 로터(rotor)와 동력전달장치(drive train)의 회전 모드가 출력과 및 기어박스 등에 미치는 영향을 줄이기 위하여 이들 모드에 감쇠효과를 주도록 제어를 한다. 피치 제어부는 주 피치 제어부, 타워 제어부와 IPC(individual pitch control)부로 구성되어 있다. 주 피치 제어부는 정격에서 작동하는 것으로, 발전기의 출력이 정격

파워가 되도록 피치각을 조절하는 역할을 한다. 타워 제어부에서는 타워의 진동 모드(fore-aft 방향)의 과도한 진동을 줄이기 위하여 세 블레이드의 피치각을 함께 제어하고, IPC부에서는 블레이드 및 허브(hub)에 작용하는 모멘트 하중을 줄이기 위하여 블레이드 세 개의 피치각을 독립적으로 제어한다.

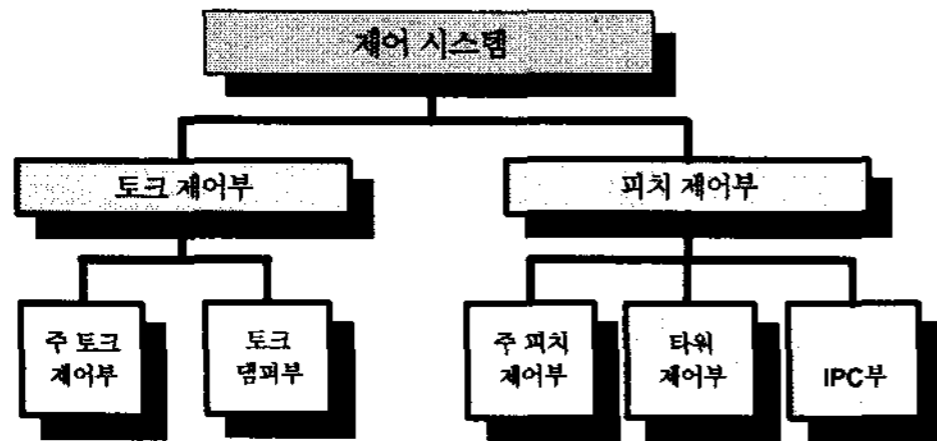


Fig. 7 Control System

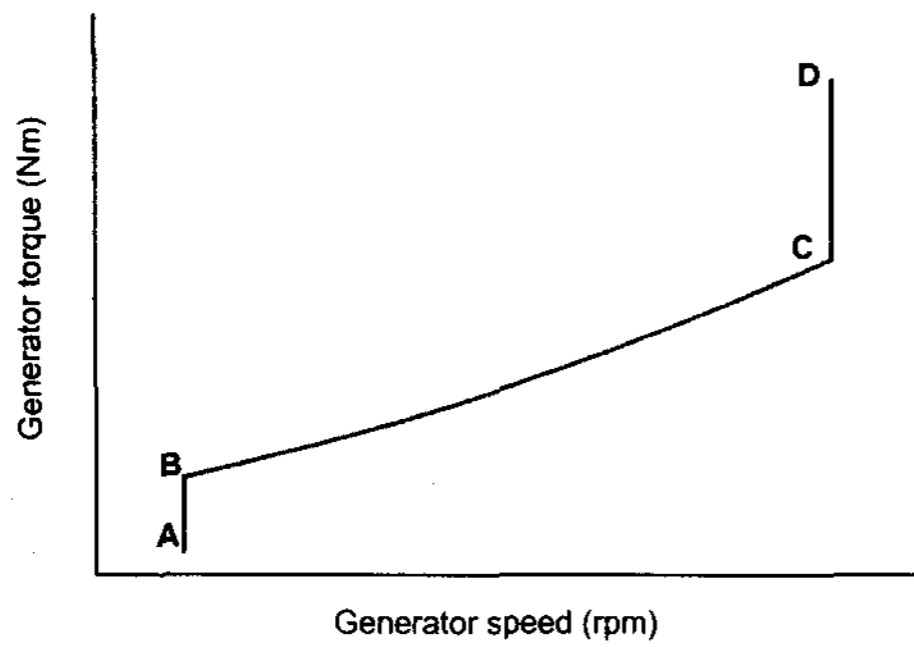


Fig. 8 Variable-Speed Variable-Pitch Control

Fig. 8은 variable-speed variable-pitch의 제어 방법을 보여주고 있다. B-C구간의 발전기의 회전속력과 토크의 관계는 블레이드 설계에 따른 공력 특성을 최대한 이용하여 발전기의 파워가 발생하도록 설정되었다. 주 토크 제어부는 정격 이하의 풍속에서 발전기가 A-B 및 B-C를 특성을 보이도록 설계되었다. 또한 정격 근처 및 정격 이상에서는 발전기의 회전속력 및 토크의 특성이 C-D를 따라 파워가 생성되도록 주 토크 제어부와 주 피치 제어부가 설계되었다.

4. 결론

본 논문을 통해서 두산중공업에서 개발중인 3MW급 풍력발전시스템인 WinDS 3000의 주요 구성품의 개발상황을 간략하게 소개하였으며, 개발일정대로 순조롭게 진행되고 있다는 것을 강조하고자 한다. WinDS 3000이 성공적으로 개발될 경우, 국내 육상 풍력시장에서 선진사 제품이 독점하는 것과 달리 이제 시작단계인 국내 해상풍력시장은 국산 개발품이 선점할 수 있을 것으로 예상된다. 물론 이를 위해서는 정부의 적극적인 보급지원정책이 필요하다고 판단되어진다.