

해상용 대형 풍력 발전 시스템의 개념 설계와 기본 설계에 관한 연구

정 지영¹⁾, 신 형기²⁾, 박 광근³⁾, 최 우영⁴⁾, 박 지웅⁵⁾, 김 호건⁶⁾, 이 수갑⁷⁾,
Robert Rawlinson Smith⁸⁾, Peter Jamieson⁹⁾, David Quarton¹⁰⁾

Concept and Preliminary Design of Large Offshore wind turbine system

Jiyoung Jung, Hyunki Shin, Wooyoung Choi, Kwangkun Park, Jiwoong Park, Hogeon Kim,
Soogab Lee, Robert Rawlinson Smith, Peter Jamieson, David Quarton

Key words : Offshore(해상용), Wind turbine(풍력 발전기), Concept design(개념 설계), Preliminary Design(기본 설계), Drive train(드라이브트레인)

Abstract : Recently wind turbines become large, constructed as farms and going out to offshore. Different design approach from onshore is needed for offshore wind turbine. At this paper concept and preliminary design of an offshore wind turbine of 3MW rated power are performed. The concept design started from modelling of the generator and gearbox. With these modelling the optimum specifications was acquired. Integrated type of drive train is designed with all parts are mounted on the tower top as the offshore maintenance strategy. At the preliminary stage control system, power production algorithm and safety system are designed. Load calculation is also performed. The 3MW offshore wind turbine concept/preliminary design and the process of design are obtained as results.

1. 서 론

근래 친환경적인 대체 에너지로 풍력 발전은 세계적으로 주목을 받고 있다. 최근의 풍력발전의 추세로 대형화, 단지화, 해상화를 들 수 있다. 대형화 된 해상용 풍력 단지의 경우 육상 풍력 단지와는 다른 환경에 놓이게 되며, 풍력 발전기의 개발의 단계에서부터 단지의 조성 및 운용에 이르기까지 육상과는 다른 접근이 필요하다. 해상용의 경우 타워나 지지구조물은 해상의 조건에 전적으로 의존하므로 단지 부지가 확정되지 않은 경우, 타워 상부 구조의 설계에 중점을 두고 설계가 이루어진다. 본 논문에서는 풍력 발전기의 드라이브 트레인의 개념 설계의 접근 방법을 제시하며, 이에 따라 대형 해상용 풍력 발전기의 개념 설계 결과를 제시한다. 또한 기본 설계의 일부를 수행한다. 이로 부터 개념 및 기본 설계의 과정과 해상용 풍력 발전기의 개념 및 기본 설계에 대한 정보를 제공하고자 한다.

2. 개념 설계

2.1 설계 요구조건 도출

가장 기본적으로 3MW 용량을 설정하였다. 또

한 가변속 운전, 피치 제어를 기본으로 한다. 해상용은 육상용과 유지보수전략이 상이하다. 육상용은 상시 유지보수가 가능한 반면, 해상용은 날씨 등의 영향을 많이 받게 된다. 따라서 해상용은 신뢰성을 매우 높이고 유지보수의 횟수를 줄이는 전략을 기본으로 한다. 또한, 타워 상부에 대부분의 구조를 장착해야 함으로, 무게를 줄이는 것이 매우 중요한 제약 조건 중 하나이다.

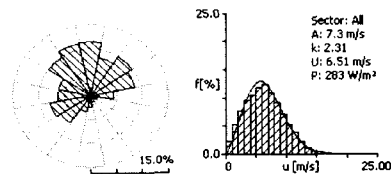


그림 1. 거제도 평균 풍황(99.9~04.12.)

풍황은 거제도 부지의 풍속데이터를 참고 하여 클래스 Ia를 선택을 하였다.

- 1)~7) : 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : nicejy1@snu.ac.kr
Tel : (02)880-7384 Fax : (02)875-4360
2) : 현재 한국에너지기술연구원
8)~10) Garrad Hassan and Partners Ltd

2.1.2 블레이드

개념설계에서 블레이드의 데이터는 일반형 블레이드를 설계하여 사용을 하거나, 상용 블레이드의 데이터를 이용할 수 있다. 본 연구에서는 블레이드는 주후 개발의 신뢰성을 확보하기 위하여 상용 블레이드를 선택함으로써 설계를 하였다. LM glass fiber사의 LM43.8 블레이드를 최종적으로 결정하였다.(그림2)



그림 2. LM43.8 블레이드 형상

2.1.3 발전기 설계

모든 풍력 발전기의 드라이브 트레인에는 발전기를 포함하고 있는 반면 기어장치는 선택의 문제이며, 이러한 선택은 전기시스템의 디자인에는 큰 영향을 주지 않는다. 따라서 본 연구에서는 최적의 발전기를 도출 설계하고 그에 따라 증속기의 유무, 기어비 등을 결정하는 방식으로 진행을 하였다.

1) 발전기 형태

DFIG가 현재 가장 널리 사용되고 있으나 최근에는 DFIG의 경우에도 그리드와의 연계문제로 정격(Fully rated)의 전력 변환기를 장착하는 것이 추세이다. 또한, 분명히 DFIG는 잘 설계된 PMG보다 효율적이지 못하며, 부분하중이(part load)에서 작동하는 경우가 많은 풍력 발전기의 경우에 특히 PMG가 우수한 것으로 나타났다. 권선형(wound rotor) 동기식 발전기와의 비교에서도 전체 영역에서 PMG가 우세한 것으로 나타났다. 최종적으로 발전기의 형태는 PMG로 선택하였다.

2) 발전기 재원 모델링

발전기 입력속도를 변수로 하여 발전기의 재원을 결정하는 모델링을 개발하였다.(그림3)

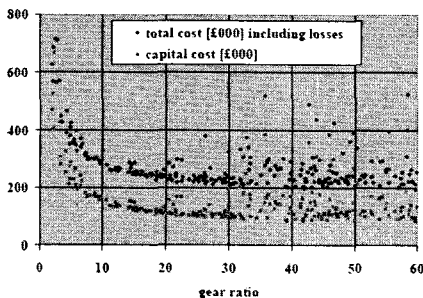


그림 3. PMG 모델링에 따른 비용 추산

기어비에 따른 PMG의 질량과의 관계를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보면 기어비 20근처에서 전체질량에 대한 Active mass의 비가 최대가 되는

것을 볼 수 있다. 이 비율은 기어비 40근처에서 여전히 높으며, 질량이 20의 경우보다 저감된 것을 볼 수 있다.

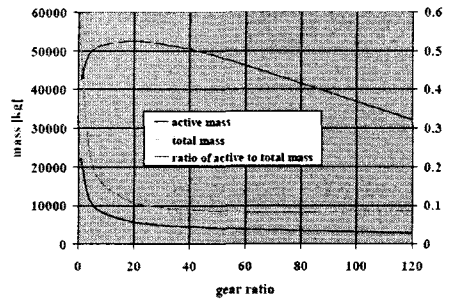


그림 4. 기어비에 따른 PMG 무게

2.1.4 증속기 설계

증속기의 설계에서도 증속기의 단수, 기어비, 증속기의 형태에 따른 비용모델을 개발하였다.(그림5) 증속기의 부품들에 대한 모델링을 포함하고 있으며, 단수에 따른 효율성, 에너지 가격 등의 손실을 비용으로 환산하는 모델링을 포함하고 있다.

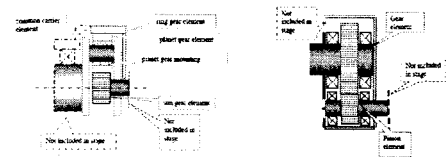


그림 5. 증속기 요소 모델링

순수 증속기 가격의 모델링에 형태와 단수에 따른 효율성과 에너지가격에 따른 손실을 보정한 결과가 그림 6에 나타나 있다. 30이상의 기어비 영역에서 2단 유성-유성 기어가 최저 비용을 나타내고 있는 것을 볼 수 있으며, 발전기를 고려한 최적 기어비 도출에 사용되었다.

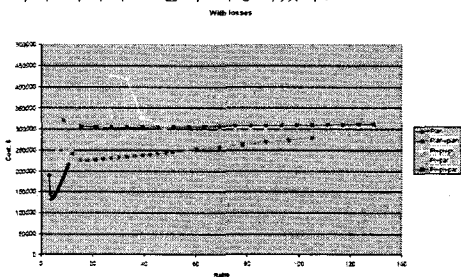


그림 6. 증속기 비용(손실 포함)

발전기와 2단유성-유성 기어의 손실을 고려한 총비용의 결과가 그림 7에 나타나 있다. 본 그림에서 기어비 42근처에서 최저의 비용을 나타내고 있으며, 유성-유성기어의 2단 기어비42를 개념설계로 선택하였다.

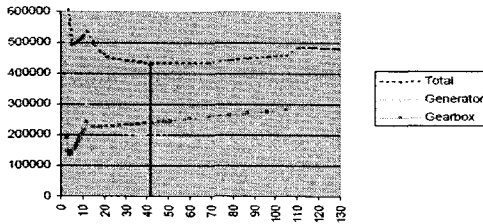


그림 7. 발전기, 증속기 총비용

2.1.5 요, 피치 시스템

요, 피치 시스템에 대한 분석과 설계가 수행되었다. 가격 및 성능에 대한 비교를 통하여, 개념을 설계 후 레이아웃까지 결정을 하였다. 이러한 과정을 통하여 피치 시스템은 기어서버모터와 피니언의 조합의 전기식을 선택하였다. 요 시스템은 롤링 엘리먼트(Rolling element) 베어링과 지능형 드라이브 컨트롤을 선택하였다. 아래의 그림에 요 드라이브 시스템의 레이아웃과 성능에 관한 그림이 나타나 있다.

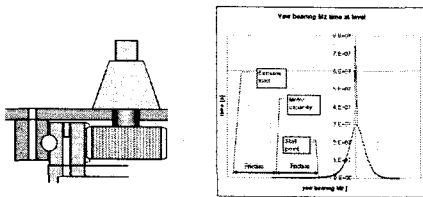


그림 8. 요 시스템 레이아웃 및 성능분석

2.1.6 드라이브 트레인 레이아웃

통합형(Integrated) 드라이브 트레인이 선택되었다. 해상용 시스템의 경우 발전기 분리등의 비용보다 선박의 운용이나 배치에 따른 비용에 큰 영향을 받는다. 또한, 분리의 용이성 보다 타워 상부의 무게가 더 중요한 요인으로 작용하기 때문이다. 그리고 기어박스가 있는 경우 통합형이 적합한 것으로 나타났다.

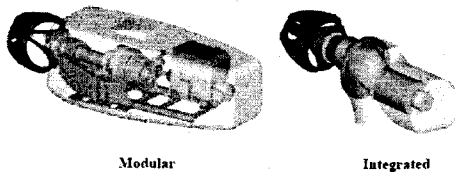


그림 9 Modular and Integrated type

발전기, 증속기, 전력변환기, 허브, 피치, 요 시스템 등의 개념들이 설계 들을 종합하여 드라이브 트레인의 레이아웃을 설계하였다. 허브, 베어링, 장치 지지부 등에 대한 분석을 통하여 최적의 레이아웃을 결정하였으며, 하중 이동경로, 유지보수 용이성, 작업공간 확보등의 제약 조건들이 고려되었다.

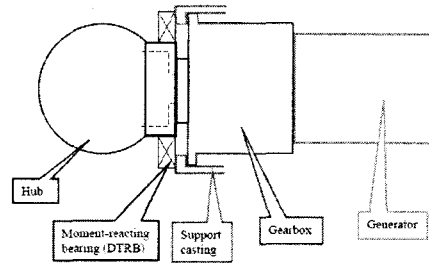


그림 10. 허브-발전기 레이아웃 개념도

이러한 결과로 많은 옵션 중 그림 10 과 같은 레이아웃이 설계 되었다. 나셀은 휘어진 원통형의 주물에 기초를 하고 있다. 해상용 풍력 발전기의 경우 접근성과 유지보수, 지 전압 전선 비용절감을 위하여, 나셀에 전기시스템을 통합하는 것이 필요하다. 이를 위하여 주 구조물 뒤쪽으로 확장 구조를 설계하였다. 본 옵션의 경우 무게의 감소, 부품수의 감소, 상대적으로 쉬운 조립, 좋은 하중경로 등의 장점을 얻을 수 있다. 해상용 제약조건을 고려하여 주요 전기장치들이 나셀에 장착되었으며 그림 11 에서 볼 수가 있다.

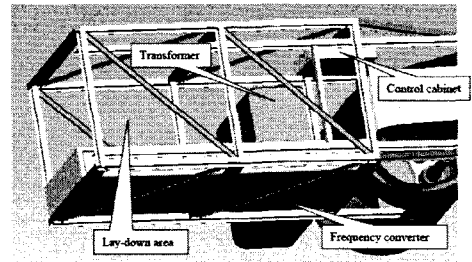


그림 11. 나셀 확장부 배치

냉각 시스템, 소형 장착 크레인, 외부 클래딩 등이 포함되어 최종적으로 설계된 드라이브 트레인의 개념도가 그림 12 에 나타나 있다.

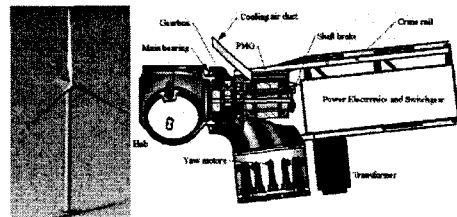


그림 12. 풍력 발전기 개념 설계 결과

3. 기본 설계

기본 설계의 일환으로 제어시스템 개발, 전력 생산 알고리즘 개발, 피로수명과 하중 계산 수행, 안전시스템의 설계가 이루어 졌다.

3.1 제어 시스템 설계

풍력 발전기 시스템의 제어 시스템이 설계 되었다. 제어의 입출력의 변수 및 각 상황에 따른 제어 시스템의 요구조건을 도출하여, 제어 전략 및 시스템을 설계 하였다. 그림13 에 전체 제어 시스템의 레이아웃이 도시되었다.

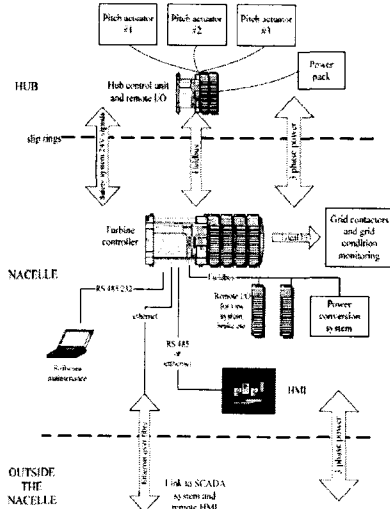


그림 13. 제어시스템 layout

3.2 전력 생산 알고리즘

Steady 와 Dynamic의 경우에 대한 출력 제어 알고리즘이 설계 되었다. 그림14에 정상(Steady) 상태의 출력, 로터 속도, 피치 각도에 대한 관계가 나타나 있다. 토크 스피드 제어에는 선형 제어가 적용된 PI제어기가 사용되었으며, 피치 제어에는 variable integral time constant와 derivative gain에 의해 게인 스케줄되는 PID제어기가 사용되었다.

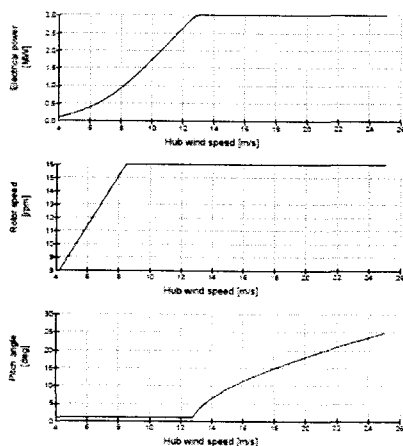


그림 14. 출력, 로터속도, 피치와의 관계

3.3 하중 계산

개발된 제어 시스템을 적용한 풍력 발전기에 대하여, GL(Germanischer Lloyd)의 DLC(Design Load Case)에 따라서 하중계산이 수행되었다. 또한 피로 하중에 대한 계산을 수행하였다. 아래의 그림에는 GL규정의 방향 정의와 DLC의 예시 및 결과의 예시가 도시되어 있다.

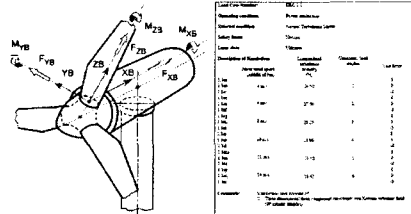


그림 15. GL coordinate와 DLC 예시

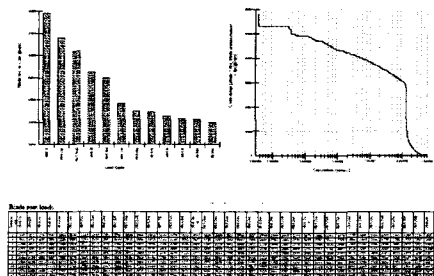


그림 16. 하중계산/ 피로하중 계산 결과 일부

4. 결 론

본 연구에서는 3MW급 해상용 풍력 발전 시스템의 개념 및 기본 설계를 수행하였다. 발전기와 증속기의 모델링을 수행하였다. 모델링을 통한 설계 결과로 PMG 2단 유성-유성 기어비 42단 정격 전력변환기가 설계 되었다. 허브, 피치, 요 시스템등의 설계를 종합하여 해상용에 적합한 구조조물이 지지하는 통합형(Integrated) 드라이브 트레인을 설계 하였다. 기본 설계의 일환으로 제어시스템, 안전시스템, 하중 계산등이 수행되었다. 본 연구를 통하여 3MW 급 해상용 풍력 발전기의 개념 및 기본 설계 결과 와 설계 프로세스를 도출 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원, “3MW급 대형 해상용 풍력 발전 시스템 개념 및 기본 설계” 과제 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] P Jamieson, R S Hains, P Gardner, G van der Toorn, R I Rawlinson Smith, D C Quarton, 2005, "Concept design for a 3.0MW offshore wind turbine", Project final report.