

# 해상용 풍력발전기 최적설계 방안

정 맹 화\*

## 1. 개요

해상용 풍력발전기가 설치되는 지역은 일반적으로 육상용에 비해 낮은 난기류 및 높은 바람을 가진 지역이라고 볼 수 있다. 특히 해상용 풍력발전기는 육상용 설치와는 달리 높은 파도, 해류, 지역에 따라서는 빙하 등의 부하를 고려하여 설계해야 한다. 또한 해상용 풍력발전기의 설치지역은 육상용에 비해 온도변화가 적으며, 높은 습도 및 염분을 함유하고 있는 지역으로 볼 수 있다.

따라서, 해상용 (offshore) 풍력발전기 설계 시 주요 관심사항은 구조의 단순성과 강인성에 있다. 즉 새로운 설계기법은 오랜 기간동안 육상용 (onshore) 구조의 신뢰성을 기반으로 구축되며, 전원차단 시 자기유지 가능한 시스템 구성이 필수 요건이며, 현재 기준 덴마크에서 생산되는 풍력발전기는 Danish Approval Scheme 및 GL (Germanischer Lloyd's) 의 형식 승인을 기초로 설계되고 있다.

따라서 본 연구에서는 해상용 풍력발전기의 구성품 및 환경조건에 대한 설계기법을 소개하는데 그 목적이 있다.

## 2. 해상풍력발전기 설계요건

### 2.1 회전자 설계

회전자의 외형 설계는 평균풍속조건에 대해 설계된다. 따라서 육상용에 비해 해상용으로서의 특별한 설계기준은 없다.

#### 2.1.1 날개(blade)

회전자 날개의 날개 종단속도는 허용가능한 소음기

준에 의해 결정된 매개변수들에 의해 좌우된다. 육상용의 경우 거주지 인근을 고려 낮은 소음기준을 고려하지만 해상용인 경우 회전자날개의 종단의 강도를 고려하여 증가된 소음기준으로 설계한다. 단, 고속으로 인한 날개의 부식 등을 고려해야 한다. 또한 운전 중 안전한 헬기 착륙을 위해 날개종단에 항공장애표시를 함으로써 조종사가 쉽게 인식할 수 있도록 설계한다.

#### 2.1.2 허브(hub)

허브 내에서의 어려운 작업여건 및 제한된 공간에 기인하여 하기의 사항을 고려해야 한다.

- 설계간 서비스가 요구되는 부품의 허브 내에 위치 회피
- 허브 내 사고 발생 시 허브로부터의 환자 이송 방법
- 허브 내 유압시스템 교체방법
- 유압관련 부품 교체 간 오일누수 방지책

#### 2.1.3 너셀(nacelle)

너셀은 항공장애등을 고려하여 설계 한다. 또한 너셀 상부에 설치되는 항공 장애등 및 센서류 등은 점검 및 수리가 용이하도록 구현하고, 항공장애등은 항로지시등과 동시에 점등되며, 모니터링 가능토록 구성하여 항공장애등 고장검출 및 수명을 예측하여 향후 유지보수 계획에 반영할 수 있어야 한다.

## 2.2 기계시스템 설계

### 2.2.1 구동축계 설계

기어박스는 풍력발전기에 있어 매우 중요한 기계부품이다. 따라서 기어박스의 제작, 시험 및 시운전에

\* (주) STX엔진 주식회사  
E-mail: mhjung@stxengine.co.kr

대한 철저한 품질보증절차가 요구된다. 육상용 대비 해상용 풍력발전기를 위한 기어박스 선정 시 고려해야 할 점은 하기와 같다.

- 육상용보다 높은 소음레벨을 가진 기어 박스의 적용이 가능하다. 즉, 기어링을 감소시킴으로서 회전수를 증가시킬 수 있는 이점이 있다.
- 기어박스 또는 관련부품 교체 시의 요구 조건은 육상용에 비하여 매우 까다롭다. 특히 기어박스 자체를 설치 하는 것 보다 설치된 위치에서 기어박스 자체를 분해하여 수리 가능토록 설계 한다.
- 서비스 주기를 증가시키는 것이다. 그 예로 Horns Reef Project인 경우 이 조건을 만족시키기 위해 오일시스템에 병렬이중필터를 적용 하였다.

### 2.2.2 내부 크레인 설계

내부 크레인은 엘리베이터보다 큰 장비를 처리하기 위한 매우 중요한 장치이다. 250kg의 용량을 가진 엘리베이터는 작은 장비 및 소모품의 이송이 가능한 것에 비해 내부 크레인은 약 1500kg의 인양능력을 갖추어야 한다. 현재 설계되는 내부크레인은 주요 구성품의 처리를 위해 맞도록 설계하는 것을 고려하지 않는다. 단지 변압기 및 발전기 교체에 부합토록 설계 된다. 즉 내부크레인으로 기어박스 및 날개를 교체하는 작업은 매우 어려우며, 시간이 많이 소요되기 때문이다. 참고적으로 변압기 1대를 교체하는데 소요되는 시간을 예시하면 다음과 같다.

- 준비 및 분해작업 - 1일(4인기준)
- 변압기 인양작업 - 1일(4인기준)
- 새 변압기 설치 - 1일(4인기준)

### 2.2.3 유압시스템 설계

해상조건하 유압시스템에 요구되는 조건은 고온제어시스템의 설계이다.

그 예로서 피치제어기는 풍속조건에 따라 비레벨브가 작동되며, 그로인한 높은 유속에 기인, 고온발생에 따른 적합한 냉각시스템 설계가 요구된다. 또한 탱크류의 흡기배관에 습도흡수장치를 설치하여 적절한 습도제어를 병행토록 설계한다.

## 2.3 전기시스템 설계

전기시스템에 있어 해상용과 육상용 과의 2가지 주요 차이점은 하기와 같다.

- 첫째, 기상조건
- 둘째, 전력의 사용목적에 따른 고객의 요구사항에 부합되는 설계  
즉, 확장된 원격제어시스템을 구축함으로써 서비스 횟수를 현격하게 단축할 수 있다.

### 2.3.1 발전기 설계시 고려사항

- 발전기는 부식규격 C3에 의거 외부 부식을 방지토록 설계한다.
- 발전기 정지기간동안 절연물체내 습기의 확산방지를 위해 전열기의 설치를 고려하여 설계한다.
- 발전기는 해당 설치지역의 환경, 온도, 습도, 습기, 진동, 서비스간격, 수명등의 특정조건에 부합하도록 설계한다.
- 향후 현장에서 발전기를 교체 가능토록 설계한다.

### 2.3.2 변압기 설계시 고려사항

- 변압기설계시 해당 설치지역의 환경, 온도, 습도, 습기, 진동, 서비스간격, 수명 등의 특정조건에 부합하도록 설계한다.
- 향후 현장에서 발전기를 교체가능토록 설계한다.
- 화재방지를 위한 아크검출기를 설치한다.

### 2.3.3 제어 및 모니터링 시스템

원격 및 현장에서 풍력발전기를 제어할 수 있도록 설계하며, 풍력발전기 내에서 조작시 물리적으로 원격제어가 불가토록 설계에 반영한다. 해상용으로 특별히 고려해야할 점은 서비스용 헬기의 착륙시 원격제어가 불가토록 설계되어야 한다.

제어시스템은 해당설치지역의 특정요구사항에 부합되도록 설계되며, 예상되는 모든 기상조건에 안정한 운전이 될 수 있도록 설계한다. 새로운 소프트웨어 전송시 원격으로 처리 가능토록 설계에 반영한다. 이중화된 원격제어시스템을 구성함으로써 단일시스템 구성으로 인한 제어불능 상태등의 결함을 방지토록 설계한다.

### 2.3.4 지락방지시스템 설계

지락에 의한 피해는 매우 막대하며, 수리시 많은 비용을 발생시킨다.

따라서 지락발생에 따른 피해보상을 받기위해 보험 회사에 제출할 증거 제시용 데이터를 획득하는 시스템을 설계에 반영하는 것이 중요하다. 측정된 최대 전류는 피해정도를 예측할 것이며, 최대전류가 설계치 보다 낮을 경우에는 피해에 따른 보상을 지불 받을 수 없다.

현재까지 통계적으로 지락에 의해 가장 피해를 많이 입는 부분은 날개이며, 지락방지시스템에 의해 약 98% 정도는 지락으로부터 시스템을 보호된다. 단지 200kA이상의 지락발생시 시스템에 피해를 주는 것으로 판단된다.

## 2.4 주변시스템 설계

### 2.4.1 냉각 및 통풍시스템 설계

풍력발전기의 전부하 운전중에는 고온발생에 따른 냉각시스템을 구축하고 저온상태에서의 시동시, 시동전 유압 오일을 위한 예열시스템을 반영하여 설계한다. 현재 설계에는 파워팩을 구비한 개선된 기상 제어시스템을 구축함으로써 장시간 정지시, 발전기, 배전반, 모터류 등에 발생하는 위험성을 현저히 줄일 수 있다.

### 2.4.2 제습기 설계

기어박스 및 유압시스템내에 오염 방지를 위해 흡기파이프에는 시리카겔 제습기 및 그와 유사한 제습대책을 설계에 반영해야 한다.

## 2.5 타워 설계

일반적으로 타워는 설치위치의 풍속하중을 고려하여 설계한다. 즉 타워 구조물의 고유주파수는 날개주파수 및 높은 에너지를 함유한 파도 등의 주파수에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

항해의 안전성을 확보하기위해 해상용 풍력발전기는 타워의 낮은 부분에 칼라포시 및 표시등 그리고 레이다 반사기를 설치한다.

### 2.5.1 타워 자재사양 및 시험

타워자재는 공인기관 (DNV외)의 요구조건에 부합해야하며, 자재는 EN 10204-3.1C를 만족하는 증명서를 공급토록 설계해야 한다.

### 2.5.2 대기 부식 및 마모 설계방안

해상 환경은 매우 부식성이 강하다고 특징지을 수 있다. 따라서 효율적인 부식방지시스템의 설계는 매우 중요하다. 하기의 조건을 만족해야 한다.

- 타워외부 : ISO 12944-2 및 Corrosion lass C5-M
- 타워내부 : Corrosion Class C3 & C4

## 2.6 기초 설계

### 2.6.1 기초 설계 사양

기초에 대한 요구사양 결정시 충분히 고려해야할 사항은 해저지형의 지질학적인 조건, 파도 등의 환경적인 조건, 타워를 통한 풍력발전기로부터의 전달된 하중 등이다. 특히 설치기간동안 구조에 영향을 미치는 어떤 가능한 충격 등을 포함하여 설계하는 것은 매우 중요하다. 그 예로, 충격해머에 의한 모노파일의 설치시 풍력발전기 운전기간 동안의 피로하중을 발생시키는 원인을 제공한다.

### 2.6.2 기초 자재 사양 및 시험

타워자재는 공인기관 (DNV외)의 요구조건에 부합해야하며, 자재는 EN 10204-3.1C를 만족하는 증명서를 공급토록 설계해야 한다.

### 2.6.3 대기 부식 및 마모 설계방안

해상 구조물의 부식을 방지하기위한 대책은 구조물 수명동안 자재마모를 보상하기위한 보강재의 추가 및 음극방식시스템을 설치하여 끊임없이 방식전류가 양극을 통해 외부로 방출시킴으로써 부식을 방지토록 설계에 반영한다. 부식방지시스템은 ISO 12944에 준하여 설계에 반영하며, 풍력발전기 구성품들에 대한 부

식방지시스템은 하기의 부식등급에 부합되도록 설계 된다.

- Corrosion Class C4 : 허브 및 회전자 내구성 품 및 타워내 구성품
- Corrosion Class C3 : 너셀내 구성품
- Corrosion Class C4 H : 변압기 판넬내 구성품
- Corrosion Class C5 M : 기초의 외부 접합 부품 및 타워하단 부분

### 2.6.4 기초 형태

최근에 있어 해상용 풍력발전기를 위한 다양한 형태의 기초가 제시되고 있다. 가장 공통적으로 제안되는 기초형태는 다음과 같다(Fig. 1 참조).

- (a) 중력 기초
- (b) 모노파일 기초
- (c) 삼각(Tripod) 기초

기초 형태의 선정은 설치위치 및 풍력발전기에 대한 특정조건을 근거로 선정한다. 설치위치의 특정조건이란 지질학적 특성 및 파도하중, 조류, 빙하와 같은 기상학적 매개변수를 포함한다. 또한 풍력발전기에 대한 특정조건이란 바람하중 및 타워, 너셀 등의 구조물에 의한 하중 등을 들 수 있다.

최종 설계를 획득하기위한 반복적인 절차를 거쳐 기초에 대한 풍력발전기 하중의 영향을 분석할 수 있다.

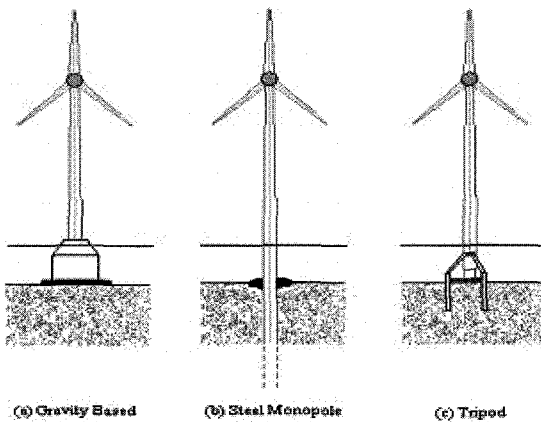


Fig. 1 기초 형태

### 2.6.5 J-Tube 설계

J-tube 설계시 충분히 고려되어야 할 사항은 설치위치의 환경적인 조건 및 해저토질의 조건에 준하여 설계되어야 한다. 따라서 J-tube의 설계 및 타 해저케이 블보호대책은 설치위치로부터 파생되는 하중들에 의해 구축될 수 있다. 즉 강력한 조류 지역에서의 해저케이 블 보호를 위해서는 충분히 조류의 유속을 반영한 요구사양을 제시해야 한다(Fig. 2. 참조).

### 2.6.6 플랫폼 설계

해상용 풍력발전기의 외부 플랫폼 설계시 주요 관점은 다음과 같다(Fig. 3 참조).

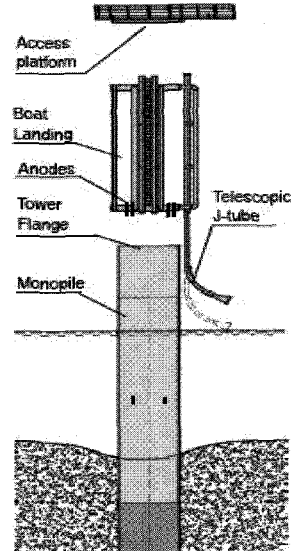


Fig. 2 모노파일 & J-Tube

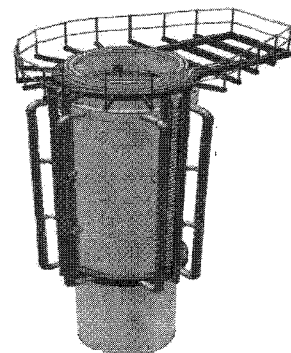


Fig. 3 Platform of offshore

### 2.6.7 아이스콘 설계

얼음이 어는 지역에서는 부빙(浮氷)에 의한 위험성을 가지고 있다. 결빙은 해당지역의 기후조건 즉, 동절기의 온도 및 염분농도 등에 따라 결빙된다. 해상용 기초에 대한 얼음부하는 부빙의 크기 및 조류 및 풍속조건에 의거 심각한 문제를 야기시킬 수 있으므로 해상용 기초에 대한 아이스콘은 풍력발전단지의 특정 조건을 충분히 고려하여 설계해야 한다.

- 기초설계
- 부식방지설계
- 확장된 제어 및 모니터링시스템 설계
- 강인하고 신뢰성있는 품질설계
- 인원의 안전성을 고려한 설계
- 항해 및 항공장애등을 고려한 설계
- 기계 및 전기적 시스템 설계

### 참고문헌

### 3. 결론

지금까지 해상용 풍력발전기를 설계함에 있어 최적의 설계를 구현하기위한 구성부분별 주요 관점을 논의하였다. 육상용 풍력발전기에 비하여 해상용의 경우 해당 설치위치의 환경조건에 의해서 설계를 최적화해야 한다는 결론을 지을 수 있었다.

결론적으로 해상용 풍력발전기의 최적 설계시 주요 관점을 요약하면 하기와 같다.

- (1) H. C. Sorensen, J.Hansen, P. Volund, "Experience from the Establishment of Middel grunden 40 MW Offshore Wind Farm", EWEC Conference pp. 541~544.
- (2) Niels M. Jensen, "The Horns Rev Project Installation and Transportation", Offshore Wind Energy Special Topic Conference.
- (3) T. Burton and D. Sharpe, 2001, "Wind Energy Handbook", J.Wiley.