

도서 벽지 설치를 위한 100kW급 풍력 발전 시스템 국산화 개발

강서희
(유)한진산업

요 약

석유 및 석탄 에너지의 고갈에 대비해 향후 지속 가능한 대체 에너지원으로 세계 각국은 다양한 에너지원의 개발에 총력을 기울이고 있으며, 그 중의 하나가 풍력 발전 시스템이다. 이러한 풍력 발전 시스템은 현재 단위 시간당의 출력 효율이 높은 MW급 시스템 개발이 주를 이루고 있어 단위 출력당 에너지 생산 비용이 높은 도서 벽지 및 독립 전원 지역용의 풍력 발전 시스템의 개발이 절실하다.

이에 본 과제에서는 향후 도서 벽지 및 독립 전원 지역에 활용 될 수 있는 100kW급 풍력 발전 시스템 개발 과정중 개념 설계 및 기본 설계 과정을 기술 하였다.

keyword : 풍력 발전 시스템, 기본 설계, 개념 설계, 기어박스, 발전기, 로터 블레이드

1. 서 론

현재 국내에서는 석유 및 석탄 에너지의 고갈에 대비해 향후 지속 가능한 에너지 공급 체계를 위한 미래 에너지원으로 대안중의 하나로 신.재생 에너지 분야인 풍력 발전에 대해 “대체에너지 개발·보급 촉진법 제2조”에 따라 중점적인 투자를 해 오고 있다.

이러한 정부 지원하에서 다양한 종류의 풍력 발전 시스템이 개발되고 있으며, 크기로는 수 kW급으로부터 MW급 풍력 발전기까지 다양하다.

그 형태 또한 일반적인 수평축에서부터 2열의 블레이드 구조를 가지는 듀얼 로터 타입까지 한국 지형에 적합한 풍력 발전기 개발에 대한 다양한 시도가 진행되고 있다.

이는 최근 해외 풍력 발전 기술 발전 경향인 대형화, 해상 풍력 지향과도 상응하고 있어 기술적으로 많이 뒤쳐져 있는 국내 풍력 발전 기술 기술력 향상 및 에너지 경쟁력 제고에 상당한 기여를 하고 있는 것이 사실이다.

그러나 이러한 풍력 발전 시스템을 도서 벽지 및 독립 전원 지역에 직접 적용하기에는 다소 어려움이 예상된다.

이는 풍력 발전 시스템이 요구하는 고도의 신뢰성과 외부 대기 환경에 직접 노출되어 운전되는 풍력 발전 시스템의 특성 및 20년 이상의 설계 수명 보장으로 일반적인 풍력 발전 시스템 설계와는 다소 상이한 개념으로 설계되기 때문이다. 이는 해외에서 독립 전원 및 하이브리드 시스템에 적용되고 있는 풍력 발전 시스템을 살펴봐도 설치되는 사이트의 특성이 풍력 발전 시스템에 세심하게 반영되어 있음을 알 수 있다.

이는 극한의 운전 환경조건에 대부분 기인한다.^[1]

풍력 발전 시스템이 조기 도입된 해외 기술 선진국의 경우, 풍력 발전 시스템을 이용한 독립 전원 및 하이브리드 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며,^{[2],[3],[4]} 독립 전원 및 디젤-하이브리드 시스템은 독자적인 시장 및 기술 기반을 형성하고 있다.

이와 같은 풍력 발전 시스템은 디젤 발전에 대한 의존도가 높은 국내 도서 벽지 및 독립 전원 지역의 실정 및 발전 단가를 감안할 때 디젤 발전 대체 혹은 하이브리드 발전에 적합한 100kW급 풍력 발전 시스템의 개발이 국내에서도 절실하다 할 수 있다.

이에 따라 국내 도서 벽지 지역의 설치 제약 조건 극복 및 고도의 신뢰성을 가지는 풍력 발전 시스템(경량화, 설치 편의성, 단순성) 개발이 절실하게 요구된다.

2. 본 론

중,소형 풍력 발전 시스템으로 분류되는 100kW급 풍력 발전 시스템은 대부분이 수평축 풍력 발전 시스템이다.

수평축 풍력 발전 시스템은 구조적 안정성과 점유면적의 최소화, 높은 효율등의 장점을 가지고 있다.

본 연구 과제에서 개발 하게 될 도서 벽지 설치를 위한 100kW급 풍력 발전 시스템 또한 수평축 풍력 발전 시스템이며, 설치되는 사이트의 환경 및 설치 편의성 등을 반영하여 설계 중에 있다.

가. 개념 설계

풍력 발전 시스템의 개발 단계는 크게 개념 설계, 기본 설계, 상세 설계 단계로 나눌 수 있다.

개념 설계 단계는 개발 될 풍력 발전 시스템의 목표에 따른 전반적인 사항들을

검토하는 단계로 중점적인 검토 사항으로는 운전 환경, 목표 출력, 목표로 하는 년 간 발전량(AEP), 풍향 자원, 개념 설계를 위한 예비 하중 계산 및 검토 등을 통한 사양 정의를 들 수 있다.

1) 허브 높이 선정

본 과제에서 개발 목표하고 있는 풍력 발전 시스템은 스톨형의 수평축 풍력 발전기이다. Wind Shear는 출력 성능에 대한 영향이 높으며, 식(1)과 같은 관계를 가진다.

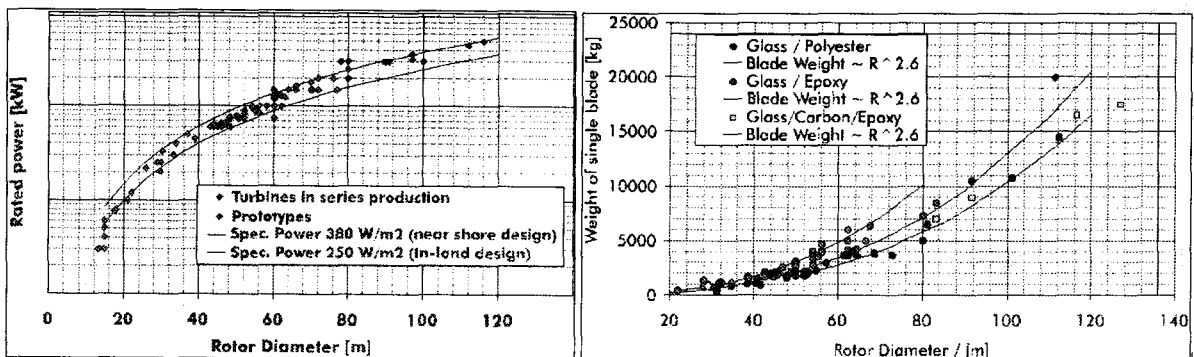
$$U(h) = U(h_r) \left(\frac{\ln(h/z_0)}{\ln(h_r/z_0)} \right) \text{----- 식(1)}$$

허브 높이를 증가시키면 평균풍속이 증가되어 발전량 증대 효과를 기대 할 수 있으며 난류에 기인해 발생하는 블레이드의 피로 하중 또한 경감됨으로 블레이드 운전 수명 특성을 향상 시킬 수 있다.

하지만 실제 풍력 발전 시스템의 허브높이 선정은 설치비용, 유지 보수비용, 허브 높이에 기인하는 설계 하중 변화에 따른 기타 요소부품에 대한 설계 변경 등을 신중히 고려하여 결정해야 한다.

2) 로터 직경 선정

80, 90년대의 풍력 발전 시스템의 로터 블레이드 설계 및 제작 시에는 해안가 근처 설치를 고하여 에너지 밀도 400 W/m²에 기준 하는 것이 일반적이었다. 하지만, 최근의 풍력 발전 시스템은 고 풍속 사이트의 고갈로 인하여 에너지 밀도가 300 W/m²에 미만인 저 풍속 사이트를 목표로 시스템이 설계되고 있다.^[5]



[그림 1 : 로터 블레이드 개발 경향 vs 에너지 밀도, 중량]

위와 같은 개발 추세에 따라 동일 출력의 로터 블레이드의 경우 Swept Area가 약25%~30%, 블레이드 무게가 약 15%~20% 증가 되었다. 특히 블레이드 무게의 증가는 가격 상승을 유발시키는 주요 인자이다. 따라서 풍력 발전 시스템의 출력 성능, 시스템 구성비용, 제작비용을 감안하여 가장 합리적인 AEP(annual energy production)를 선정한다.

3) 정격 회전수

풍력 발전 시스템의 회전수의 결정에 대한 주요 설계 인자는 연간 에너지 생산량 드라이브 트레인의 시스템 구성비용, 블레이드, 요소 부품 제작비용, 소음 방출 특성, 로터 회전수에 대한 Critical Speed등을 들 수 있으며 일반적으로 블레이드 정격 회전수 대비 블레이드의 1차 Flapwise 고유 진동수를 약 5%이상 높게 고려하는 Over Critical Design 방법으로 설계한다.

4) 발전기 정격 회전수

정격 풍속, 정격 회전수 대비 발전기 정격 회전수의 결정은 풍력 발전 시스템에 보편적으로 채용되고 있는 비동기식 발전기의 극수 및 기어박스의 증속비를 결정짓는 중요한 인자로 시스템 구성비용과도 직결된다.

본 과제에서는 저 풍속 영역에서의 출력 성능을 보상하기 위하여 저 풍속과 고 풍속 영역으로 분리된 발전기를 채택하였으며 저 풍속에서 고 풍속으로 전환되는 기준 풍속은 향후 상세 설계 과정을 거쳐 결정 후 제어기의 시스템 파라미터로 반영 예정이다.

5) Cut-in, Cut-out 풍속

Cut-in 풍속에 따른 시스템 초기 운전은 전체 시스템에 극한 하중을 발생시키는 주요 운전 모드로 풍력 발전 시스템이 드라이브 트레인부의 손실을 고려하여 출력이 발생하기 시작할 때의 풍속을 기준으로 하여 설계 된다.

즉 Cut-in 풍속은 zero 출력 보다 어느 정도 높게 선정된다. 개념 설계 시 선정된 Cut-in 풍속은 3.5m/sec이다.

Cut-out 풍속은 고 풍속 운전 시 블레이드에 발생하는 고 하중으로부터 풍력 발전 시스템의 안정성이 확보할 수 있는 최대 풍속으로 현재 개발되고 있는 풍력 발전시스템이 적용하고 있는 25m/sec를 채택하였다.

6) Tilt Angle

초기 설계시 Aeroelastic 코드에 의해 계산 되는 블레이드 Tip deflection에 따라 타워와 블레이드의 간극이 결정된다.

Danish 풍력 발전 시스템 설계 기준에는 설계시 적용되는 극한 하중에 안전계수 1.3을 적용하여 타워와 블레이드 Tip 간격을 결정하도록 하고 있으며, 운전중 타워와 블레이드 Tip 간격을 증가시키기 위해 로터 회전면을 Tilt 시켜주는 Tilt Angle 구조를 채택하는 것이 일반적이다.^[6]

7) 시스템 사양 정의

개념 설계 시 정의된 풍력 발전 시스템 사양은 표1 과 같다.

<표 1 : 100kW급 풍력 발전 시스템 사양 정의>

허브 높이	30m
로터 직경	20m
정격 회전수	approx. 55rpm
발전기 정격 회전수	approx. 1210/1815 rpm
시동 풍속	3.5m/s
정격 풍속	12m/s
Cut-Off 풍속	25m/s
정격 출력	100kW
정격 전압	400V/60Hz
온도 조건	-20℃~ 40℃
클래스	II-a
틸트 앵글	5°

나. 기본 설계

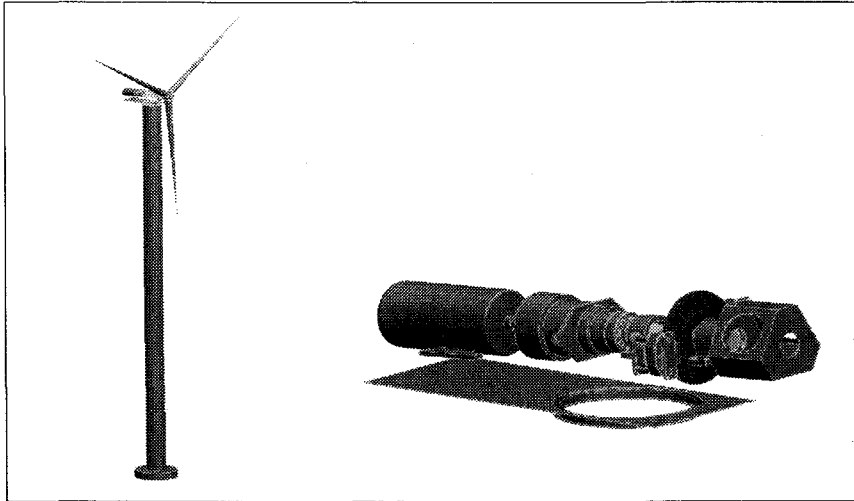
현재 개발 중인 100kW급 풍력 발전 시스템은 전형적인 Danish 드라이브 트레인 구조이다. 이와 같은 Danish형의 드라이브 트레인은 시스템의 단순성 및 기타 장비의 추가적 설치가 불필요하기 때문에 시스템의 안정성 및 신뢰도를 높일 수 있다.

블레이드에 Air Tip Brake를 채용하지 않았기 때문에 운전 정지 시에는 메인 샤프트(저 속단)에 브레이크 디스크를 Shrink Fitting구조로 설치하였다. 2개의 메인 브레이크는 그림 2와 같이 설치되어 운전 정지 시 브레이킹 모멘트를 발생 시킨다.

비상 정지 브레이크는 기어박스 고 속단에 1개를 설치 예정이다.

이 같은 구조의 장점은 블레이드에 Air Tip Brake를 채용하지 않기 때문에 블레이드 회전 시 발생하는 관성력과 Air Tip Brake 작동시 발생하는 극한 하중을 감소시켜 시스템의 안정성을 높일 수 있다는 것이다.

나셀부의 크기는 대략 폭 1300mm 길이 3500mm이다.



[그림 2 : 100kW급 풍력 발전 시스템 드라이브 트레인 부 기본 설계]

1) 기어 박스

Danish형의 풍력 발전 시스템은 일반적으로 높은 증속비를 가지도록 설계 및 제작 된다. 이는 물리적인 문제점으로 인하여 로터 블레이드의 회전속도를 무한히 증가시킬 수 없기 때문이다. 따라서 일반적으로 1단의 유성기어와 2단의 헬리컬 기어를 채용하여 원하는 증속비와 토크를 가지는 기어박스를 설계하게 된다.

기어박스는 운전 중 풍속 변화에 따른 토크 변동에 대한 저항을 가져야 하고 브레이킹에 의한 충격량이 주어졌을 경우에도 시스템 안정성의 영향이 작아야 한다.

기어 박스의 설치 부위 타입의 진동 댐퍼를 사용 예정이다.

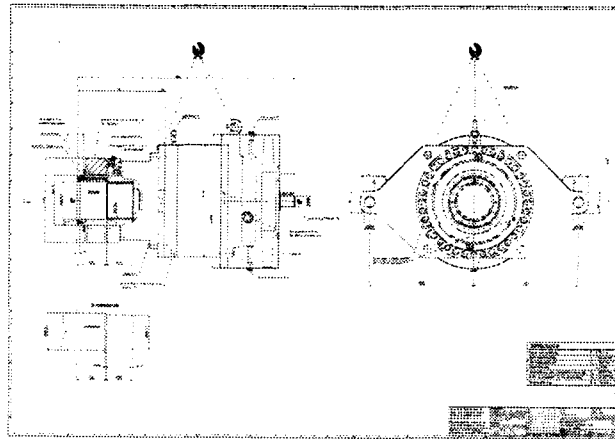
현재 선정된 기어박스는 Bosch Rexroth사에서 100kW급 풍력 발전 시스템용으로 개발된 기어박스이다. 설치 예정지로 고려되고 있는 사이트의 특성 및 유지 보수를 고려하여 별도의 윤활 시스템 없이도 일반적인 기어박스 효율 범위인 95%~98%가 달성 가능한 기어박스를 선정하고 시스템을 가능한 한 단순화시켜 시스템의 신뢰성을 향상시킬 계획이다.

기어박스의 성능은 기어단수와 윤활 타입에 따라 상당한 차이를 낼 수 있으며, 기어 윤활유에 대한 테스트 요구 사항은 다음과 같다.

<표 2 : 기어박스 윤활유의 인증 규격>

항목	규격	승인 기준
Viscosity(mm ² /s)	ISO 3104	+/- 10%
Viscosity indices	ISO 2909	Min. 90
Oxidation stability	ASTM D 2893	121°C에서의 산화 테스트 샘플의 점도 증가량은 6%이내일것
Corrosion properties,iron	ISO 7120	24시간후 녹발생 없을 것 (synthetic sea water)
Corrosion properties,copper	ISO 2160	#1b strip after 3 hours at 100°C
Foaming properties	ASTM 892	Sequence 1 : max. 75/10 10:00 Sequence 2 : max. 75/10 10:00 Sequence 3 : max. 75/10 10:00
Load carrying property	DIN 51354	Load stage min. 12
Micropitting resistance test	FVA. No. 54	stage 10
Filterability	ISO/DIS 13357-1,2	규격에 따름

기어박스의 외형도는 다음 그림과 같으며 가로 및 세로의 길이는 1050x1000mm이다.



[그림 3 : 100kW급 기어 박스 외형도]

그 개략적인 사양을 살펴보면 다음과 같다.

<표 3 : 기어박스 사양>

타입	유성기어, 2단 헬리컬 기어
드라이브 트레인 개념	한개의 메인 베어링(검토중)
정격 출력	100kW
정격 토크	약 17.36kNm
최대 출력	약 43 kNm
입력단 회전수	55rpm
출력단 회전수	1815 rpm(60Hz)
증속비	I = 33

2) 발전기

본 과제에서 채택하고 있는 발전기는 풍력 발전 시스템에서 널리 채용되고 있는 비동기식 유도 발전기이다.

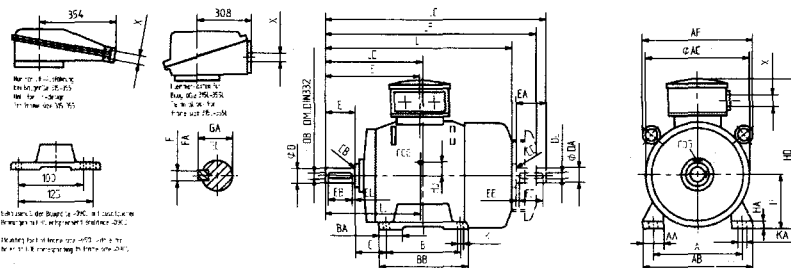
비동기식 유도 발전기는 동기식 유도 발전기에 비해 토크 피크가 작아, 기어박스의 마모를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

발전기의 정격 전압은 현재 도서 지역에 설치되어 있는 디젤 발전기의 정격 전압을 고려하여 400V로 선정하고 유지 보수 편의성 및 공간 확보를 위하여 터미널 박스를 발전기 위쪽으로 위치시켰다.

또한 발전기의 질량 관성 모멘트가 2.4 kgm²이다.

일반적으로 Two-Speed 운전은 발전기 비용 증가, 부가적인 스위칭 기어, 극수 변환시에 발전기 속도에 대한 제어, 극수 변환시 발전기가 연결되지 않는 시간만큼의 에너지 손실이 발생하고 에너지측면에서도 2%~3%정도의 효율 상승이 발생한다는 것이 일반적이지만, 본 과제에서 개발하고자 하는 스텔형 풍력 발전 시스템의소음 특성을 고려하여 극수 변환 발전기를 선정하였다.

다음 그림은 선정된 발전기의 외형도를 나타낸다.



[그림 4 : 100kW급 발전기 외형도]

<표 4 : 발전기 사양>

타입	비동기식 발전기				
정격 출력	20/100kW				
정격 전압	400V				
주파수	60Hz				
회전수	약 1210/1818 rpm				
폴수	6/4				
마운팅 설계	IM B3				
방폭 타입	IP 54				
Duty 타입	S1				
절연등급	Class F/utilization according to Class F				
정격 전류	188 A				
정격 토크	530 Nm				
질량 관성 모멘트	약 2.4kgm ²				
효율	P/Pn	0.25	0.50	0.75	1.00
	%	90.2	94.1	94.9	95.0
출력 Factor	P/Pn	0.25	0.50	0.75	1.00
	Cos phi	0.51	0.75	0.82	0.83
Mk/Mn	2.2				

최초 개념 설계 및 기본 설계 과정을 거쳐 향후 1차 하중 계산 및 하중 조합에 대한 검토가 완료되면 상세 설계 과정을 거쳐 풍력 발전 시스템 설계가 완료될 예정이다.

참 고 문 헌

1. <http://www.northernpower.com/tech-lab/wind-power.html>
2. E.Muljadi, H.E. Mckenna,"Power Quality Issues in a Hybrid Power System", IEEE-IAS 2001 Conference Chicago, Illinois, September 30, 2001 - October 4,2001
3. L.H.Tay,W.W.L.Keerthipala,L.J.Borle,"Performance analysis of a wind/ diesel/ battery hybrid power system",
4. S.Drouilhet,M.Shirazi,"Wales, Alaska High-Prestration Wind-Diesel Hybrid Power System", NREL/TP-500-31755,May 2002
5. Euros,"Trends In Rotor Blade Design", Windtech International September, 2005
6. 2002 Det Norske Veritas and Riso National Laboratory ,"Guidelines for Design of Wind Turbines", second edition, pp. 104~116.