

### 수직/수평축 통합형 풍력발전 시스템

신 찬\*, 김지연\*, 송승호\*\*, 노도환\*\*, 김동용\*\*, 정성남\*\*\*

\*(주)코윈텍, \*\*전북대학교 전자정보공학부, \*\*\*전북대학교 기계항공공학부

### Dual Rotor Wind Turbine System.

Shinn Chan\*, Ji Ern, Kim\*, Seung-Ho Song\*\*, Rho Do Hwan\*\*, Dong Yong, Kim\*\*, Sung Nam Jung\*\*\*

\*KOWINTEC Inc., \*\*Chonbuk Nat'l. Univ. Div. of El., \*\*\*Chonbuk Nat'l. Univ. Div. of Mechanical Eng.

**Abstract** - A Dual rotor turbines HAWT/VAWT combined wind turbine system that can drastically enhance the power production capability compared to conventional Single Rotor Turbine HAWT system. The combined system that takes advantage of strong point of both horizontal and vertical Axis wind turbine system developed by a venture firm : KOWINTEC of Chonbuk National University.

The HAWT/VAWT hybrid system has been successfully field tested and commercial operation since Feb. 12, 2001 in Hae-chang rest park, Bu-an county near the Sae Man-Kum Sea Dike.

This paper will briefly describe the field test results performance and a special aerodynamic structure with bevel-planetary gear box of Dual Rotor Wind Turbine system.

Key Words : wind power, wind turbine, grid-inter face

### 1. 서 론

전세계적으로 여러 선진국에서는 앞으로 다가올 에너지 위기를 극복하기 위한 자구책을 앞다퉀 내놓고 있는 실정이다. 특히 1970년대 이후부터 국내뿐만 아니라 전세계에서 집중적으로 연구, 개발되어온 풍력에너지는 현재 대두되고 있는 "대체에너지"의 선두주자로 할 수 있다.

실제로 유럽의 경우 1970년대 오일파동 이후 꾸준히 풍력발전 설비를 늘려오고 있으며, 미국의 경우는 90년대 말부터 집중적으로 풍력 에너지 개발에 대하여 투자를 하고 있어 2001년 한해에만 설치되는 양이 약 2,000MW로 지난 2000년 유럽 전역에서 설치한 양의 약 62.5%를 올 한해에 설치할 정도로 관심이 집중되어 있다.

반면 국내에서는 국내의 풍력에 대한 독자적인 기술은 아직도 걸음마 단계라 할 수 있다. 우리나라의 풍력에 대한 연구는 1974년 한국과학원의 이정오, 신찬팀에 의하여 최초로 2kW급 수평축 풍력발전기로부터 시작되었으며 그후 1987년 12월 대체에너지 기술개발 촉진법이 공포된 이후 활발하게 진행되기 시작하였다. 이 법은 에너지 공급 취약성의 극복과 에너지 자원의 다원화를 도모하며 장기적으로 에너지 수급안정을 기하는데 있다. 다음해에 대체에너지 기술개발 기본계획이 수립되었고, 그 중에서 풍력발전 분야에 대해서는 3단계 계획이 수립되어 2001년도 까지 중형급 풍력발전 시스템의 상용화와 MW급 풍력발전 단지의 건설 및 운영을 목표로 하고 있다. 1단계 사업 목표중 풍력자원조사는 전국 64개 기상청 산하기관관측소, 일부지역의 도서 및 내륙 일부 지역에서 관측된 풍속과 풍향자료를 이용한 풍력자원 특

성 분석이 한국 에너지 기술연구소에 의해 이루어져, 어느 정도의 풍력 자원량에 대한 판단을 할 수는 있다. 그러나 지역적 조건에 크게 영향을 받는 풍력자원의 특성 때문에 아직 기초자료가 매우 부족한 형편이다.

중대형급 풍력발전시스템 개발에 있어서의 국내의 경우 70년대부터 수kW급의 낙도 독립전용으로 개발보급, 80년대 초부터 제주도내 14kW 기기 실증시험 및 소형 풍력발전 기기 국산화 요소기술 개발 주력, 90년대 중반 신재생 시범단지 조성으로 중형급 풍력발전 기기의 성능시험 및 국산화 기술 개발 기반이 조성, 90년대 중반 이후 50~300kW 수직형 풍력기계 시험, 97년 이후 600, 660 및 750kW 계통연계형 풍력발전기가 제주도에서 상용운전 단계이며, 97~2002년 중 중, 대형급 (750kW) 풍력발전 기기의 요소시스템에 대한 중점 국산화개발이 연구 진행중(회전자, 기어박스 및 발전기, 계통연계장치)이다.

특히 1단계 사업기간 중 한국과학기술원이 소형 (20kW) 수평축 풍력발전기를 국산화하려는 연구개발을 시도하였고, 2단계 사업 중에는 복합재료 분야의 전문 기관인 한국 화이버(주)가 한국형 중형급 풍력발전시스템 개발에 착수하여 다리우스형(Darrieus) 수직축 300kW 풍력발전시스템을 개발하였으나, 이미 상업화된 제품을 모방하는 수준이다. 이러한 연구개발의 목표는 여러 분야 중 어떤 특정분야를 획기적으로 개선시켜 가격경쟁력과 사후관리 및 에너지 생산 증대 등의 일정한 특징이 있어야 한다. 풍력발전 시스템은 대형화가 되어 허브높이가 높아지고 출력이 증가하면 발전단가가 떨어 지므로, 현재 기술력이 확보되어 전 세계적으로 상용화 보급되고 있는 600kW급 이상의 풍력발전기가 국산화 개발 사업이 대상 되어야하며, 이를 달성하기 위해 산·학·연 및 국제 공동연구를 체계적으로 추진하여 단기간 내에 풍력발전기 국산화 기술개발을 완성시켜 관련기술을 충분히 축적하여 대형 풍력발전기 개발 및 보급기반 확립에 힘써야 할 것이다.

### 2. 수직/수평축 통합형 풍력발전 시스템

#### 2.1 시스템 개요

수직/수평축 풍력발전 시스템은 수평축 발전기의 장점과 수직축 발전기의 장점을 채택한 새로운 형태의 발전 시스템이다. 기존의 수평축 발전기는 우리나라와 같이 바람의 방향과 풍속의 변화가 극심한 풍황(風況)강도가 자주 바뀌는 곳에 적용하기에는 상부 낫셀(Nacelle)의 무게가 무거워 풍향에 빠르게 적응할 수 없다는 치명적 단점을 가지고 있다. 또한 전동모터등을 이용한 요(Yaw)시스템은 바람의 방향과 블레이드의 받음각을 일치시키지 못할 경우 기계적 혹은 전기적 손상을 입을 수도 있다. 그리고 발전기 상부로부터 연결되어 내려오는 각종 제어전선등은 발전기가 회전하였을 경우 같이 전선이 꼬이게 되어, 일정한 장력(Tension)이 작용할 경우

이를 다시 풀어주는 작업이 필요하게 된다. 이러한 디와인딩(de-winding)작업은 발전기의 용량이 커질수록 그 자중에 의해 오랜 시간을 요하게 되며, 이때 불어온 바람은 앞에서 언급한 바와 같이 발전기에 각종 손상을 입힐 수 있다. 반면 현재 세계적으로 점점 사라지고 있는 수직축 풍력발전기는 바람의 방향에 관계없이 발전이 가능하고, 발전기를 포함한 각종 제어판 등이 지상에 설치되어 있어 유지 및 보수가 용이하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 초기셀프스타팅(Self-starting)이 불가능하며, 효율이 낮다는 단점 때문에 각광을 받지 못하고 있다.

이러한 수평축과 수직축의 단점을 보완하여 본사에서는 지난 2001년 2월 19일 전북 부안군 하서면 백련리 해창섬터에 30kW급 수직/수평축 통합형 풍력발전 시스템을 설치하였다. 주블레이드의 직경은 11m이고, 보조블레이드의 직경은 5.5m로써 각각의 회전수는 보조블레이드가 주블레이드에 2배가 되도록 설계하였다. 또한 수직축으로부터 전달되는 회전력은 베벨기어(Bevel Gear)를 통하여 90° 변환을 거쳐 이를 증속하기 위한 유성기어(Planetary gear)로 전달되어 발전기(Generator)의 입력으로 전달된다. 그리고 모든 계측설비 및 제어설비는 컨테이너박스(Container box)를 별도로 마련하여 지상에 설치하였다.

## 2.2. 시스템의 구조적 특징과 장점

수직/수평축 풍력발전 시스템의 구조적 특성은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫 번째, 기존의 수직축 발전기와 수평축 발전기의 장점만을 통합하였다. 즉, 수평축 발전기와 같이 수평축에 블레이드를 설치함으로써 발전효율을 높였고, 수직축 발전기와 같이 발전기를 시스템 중간 부분에 설치함으로써 시스템의 무게를 가볍게 하였다. 둘째, 앞에서 언급한 바와 같이 듀얼(Dual) 블레이드 형태를 채택하였다. 세 번째, (그림 1)과 같이 베벨기어 및 유성기를 특수한 형태로 이용하여, 같은 기어의 치수의 기어에서 기존의 약 2배의 기어 Ratio를 얻어낼 수 있다. 네 번째로는 기존의 원통형 발전기와 래치스(lattice) 형태의 타워를 통합한 형태의 타워를 채택함으로써 다운윈드 형태의 주날개에 발생할 수 있는 타워쉐도우(Tower shadow) 현상을 최소화하였다.

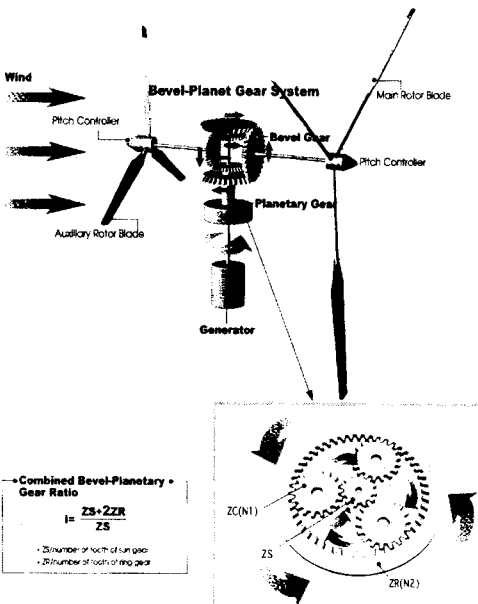


그림 1. 특수 베벨-유성기어 시스템

시스템의 특징을 간단하게 3가지로 정리하여 보면 다음과 같다.

### 1) Structural Advantages of the System

- 수직축 시스템과 수평축 시스템의 장점만 통합 구성
  - 보조 로터 블레이드 및 주 로터 블레이드로 구성, 공기역학적 효율 향상
  - 발전기 및 제어장치가 풍향에 관계없이 고정설치
    - o 출력선 및 제어선의 Non-Twisting
    - o 철탑상부의 무게감소로 Yaw Control 용이
  - 베벨-유성기어 특수 고기어비의 증속장치
    - o 일반유성기어의 증속비 :  $1 + \frac{ZR}{ZS}$
    - o 베벨-유성 복합 기어 증속비 :  $1 + \frac{2ZR}{ZS}$
- \* ZS : 태양차의 치수, ZR : 내치차의 치수

### 2) Operating & Functional Interaction

- 공기역학적으로 바람방향에 자유자재로 회전
- 같은 직경의 기존 System에 비해 30~40% 효율 향상 (750kW급 이상)
  - o 로터블레이드 시스템 : 30% 향상
  - o 증속기어 시스템 : 10% 향상
- 다단 발전 시스템
  - o 입력 에너지에 상응한 다단발전기의 접속/분리로 발전기 효율향상(약 6%향상)
    - 1단계 저속풍속(3.5 ~ 7.5m/s),
    - 2단계 고속풍속(7.6 ~ 12.5m/s)
  - o 입력풍속에 따른 Variable Speed Pitch Control 방식으로 출력효율 향상

### 3) Aerodynamic Interaction

- 주로터와 보조로터 블레이드의 상호보완(상호간섭 최소화)
- 보조 로터에 의한 주로터의 사각지대 보상
- 주로터의 허브축 30%를 연결봉으로 대체함으로써 Blade제작의 용이성과 경제성 확보

## 2.4. 공기역학적 특징

이 시스템은 (그림 1)과 같이 기존의 수평축 발전기와 같이 블레이드(Blade)를 수평축에 설치하였으나, 바람을 앞에서 받는 업윈드(Up-wind) 형태의 보조날개(Auxiliary Blad)와, 철탑 뒤편에서 바람을 받는 다운윈드(Down-wind)형태의 주날개(Main blade)를 설치함에 있어 철탑이 바람을 막는 shadow 현상을 최소화하기 위하여 특수한 구조의 lattice 철탑으로 바람에너지 이용 효율의 극대화를 꾀하였다. 즉, (그림 2)에서 보는 바와 같이 날개의 30%를 오프셋(off-set)하여도 얻을 수 있는 파워는 약 5.4%가 감소한다는 점에 착안하여, 실제 주날개의 30%를 연결봉(Extension bar)으로 연결하여 주날개의 무게 및 효율(Cp)을 높였다. 또한 업윈드 형태의 보조날개는 주날개의 사각지대(Dead zone)를 보상(Compensation)하여 주날개 파워의 약 25%를 증가시켰다.

(그림 3)은 싱글로터 블레이드 형태와 듀얼로터 블레이드 형태에서 얻을 수 있는 파워곡선의 변화추이를 나타낸 것이다. 로터의 RPM이 28일 경우 파워는 약 24% 정도 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 750kW급 풍력발전기의 경우 로터의 RPM이 28정도 나타나나.

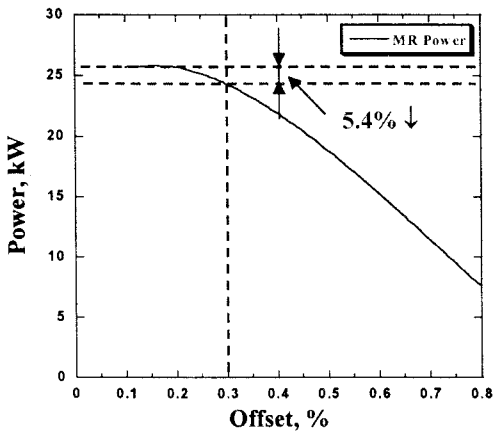


그림 2. 로터의 오프셋에 의한 파워 변화 추이

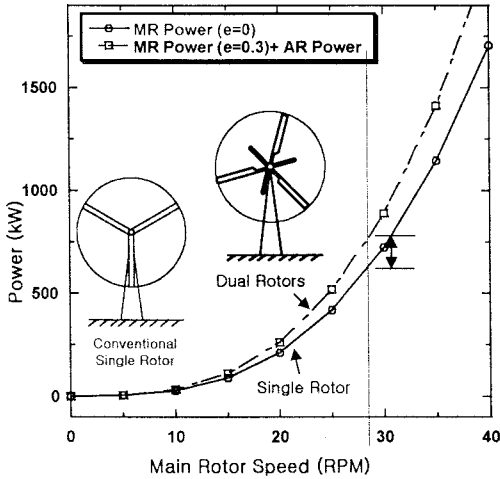


그림 3. 싱글로터와 듀얼 로터블레이드의 파워 비교

### 3. 시스템 비교 (750kW)

#### 1) 시스템 비교 (750kW 기준)

표1. 외국시스템과 한국형 시스템의 특성비교

	외국시스템(기준)	한국형시스템(Kowintec 개발품)	비 고
Rotor Blade	Single Rotor Blade	Dual Rotor Blade(쌍날개)	동일급에 비해 Main Blade 길이가 1/3정도 짧음
발전기 및 Control 장치	모든 시설 Nacelle속에 수용	Rotor Blade 및 Gear System(Nacelle 없음)	출력 및 제어선의 Non-Twisting
핵심기술	시스템기술	수평축 단일터빈 시스템	국내/국제특허 : 우수발명품 선정
	기어시스템	유성 또는 일반 기어시스템 - 3단 증속기어	베벨-유성 특수 기어 시스템 - 1단~2단 통합 증속기어 (획기적인 기어 효율 (30%이상 향상))

	외국시스템(기준)	한국형시스템(Kowintec 개발품)	비 고
핵심기술	시스템기술	수평축 단일터빈 시스템	수평/수직축 통합 시스템 국내/국제특허 : 우수발명품 선정
	기어시스템	유성 또는 일반 기어시스템 - 3단 증속기어	베벨-유성 특수 기어 시스템 - 1단~2단 통합 증속기어 획기적인 기어 효율 (30%이상 향상)
	발전시스템	단일다극 발전 시스템	복합 다단발전 시스템 -변속제어에 의한 최적 발전 다단발전기 발명특허
	Yaw Control시스템 (바람방향회전)	강제 제어 시스템 -360° 회전시 : 6~8분 소요 - 한국 풍황의 적응력 취약	자동 바람방향 추적 장치 - 360° Real Time 자유회전 - 한국 풍황의 적응력 최적 바람맞이가 최적 -한반도 바람의 질 : C급
시스템 효율	100%	130~140%	기준 외국시스템 동일급 기준
경제성(1kW당 가격)	고가 (1800~2000\$)	저렴 (1500~1800\$)	300~600kW급 국제거래 가격기준
Main Rotor Dead Zone	사각지대 보상방법 없음	보조날개에 의한 사각지대 보상가능	Main Rotor Turbine의 저속영역 보상
운용방식	- 평균풍속 6m/sec에서 발전용량 12%	- 평균 풍 속 4.5m/sec부터 다단발전 운용 · 1단계 : 4.5 ~ 7.5m/s(26%) · 2단계 : 7.6 ~ 12.5m/s(100%)	풍속에 따른 발전 기효율 극대화
	- 정격풍속 : 13.5~17m/sec(100%) 일정속 또는 가변속 발전운용	- 가변풍속에 의한 다단발전 및 가변속 제어에 의한 최적운용	
유지보수	어려움 (모든 장치 첩탑상부 Nacelle속에 설치)	용이 (주요장치는 첩탑 중간부 또는 지상설치)	한국형은 Rotor Blade와 Gear Box만 첩탑상부에 설치
국산화율	첩탑 및 주변기기(제동연계 시설 등) 일부	Blade 및 증속기 계의 국산화 가능	증속기 및 Blade는 특허에 의한 외국제작

#### 2) 풍력발전기 주요제조사 시스템별 특성비교 (750kW급 기준)

표2. 전세계 유명 제작사별 발전기 특성 비교

구 분	덴마크 Vestas	독일 Jacobs	일본 Mitsubishi	한국형 Kowintec
Number of Blade	3-Blade Single Rotor	3-Blade Single Rotor	3-Blade Single Rotor	3-Blade Single Rotor (주날개3, 보조날개 3)
Turbine System	Horizontal Axis	Horizontal Axis	Horizontal Axis	HAWT/VAWT Hybrid Axis
회전 개시풍속	4 m/sec	3.2 m/sec	3.0 m/sec	3.5 m/sec
발전 개시풍속	6 m/sec	5.5 m/sec	6 m/sec	4.5 m/sec
정격 출력풍속	16 m/sec	17 m/sec	13.5 m/sec	12.5 m/sec
발전 한계풍속	25 m/sec	20 m/sec	25 m/sec	29 m/sec
브레이크 방식	Feathered Air Brake 방식	Disc 유압 Brake 방식	Disc 유압 Brake 방식	Blade Pitch 90° Stall 방식
Pitch Control 방식(날개각도 제어)	제한 가변속 제어방식(Opti speed)	Stall 제어방식	Pitch Control 방식	Pitch Control 방식
Yaw Control	Wind Direction-Vane에 의한 Motor 회전방식	Wind Direction-Vane에 의한 Motor 회전방식	Wind Direction-Vane에 의한 Motor 회전방식	Free Yaw 방식 (Real Time 자유 방향 회전방식)

#### 4. 결 론

현재 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 많은 나라들은 앞으로 다가올 에너지 위기에 대처하기 위한 능동적 노력이 진행되고 있다. 이러한 상황에서 이번 (주)코원텍에서 설치한 30kW급 수직/수평축 통합형 풍력발전 시스템은 기존의 풍력발전 시스템의 단점을 보완하고, 장점만을 택하여 설계, 제작함으로써 효율을 극대화시켰다.

#### 5.부 록

아래의 표 3.과 표 4.는 실제 전라북도 부안군 해장읍 터에 설치된 풍력 데이터와 발전기 가동 실적을 나타낸 것이다. 표 3에서 보면, 3월에 나타난 27.6 m/s의 풍속에서는 풍력발전기의 로터 블레이드가 피치각을 0를 유지하며 정지함을 확인하였다. 표 4.에서는 2중 발전량이 현저히 적게 나타난 이유는 2월 12일 발전을 개시하였기 때문에 12일 분량의 발전이 덜되었기 때문이며, 5월 부터는 실제 모니터링 시스템과 제어 시스템을 모두 자동으로 설정하여 무인가동을 실시한 결과이다.

표3. 부안 풍력발전소 월별 풍속현황

월 별	총가동 시간 (hr)	최고 풍속 (m/s)	평균 풍속 (m/s)	풍속별점유율(%)			비 고
				3~6 (m/s)	6~8.5 (m/s)	9이상 (m/s)	
2월	246.4	13.8	4.6	41%	10%	1%	
3월	543	27.6	5.8	31%	35%	7%	
4월	395	18.8	4.2	35%	14%	2%	
5월	598	20.3	5.9	39%	32%	6%	

표4. 부안 풍력발전소 월별 발전량 현황

월 별	풍속별 발전량(kWh)				비 고
	4~6 (m/s)	6.1~8.5 (m/s)	8.5이상 (m/s)	합 계	
2월	423.3	227.7	147.6	798.6	2001. 2. 12. 운전개시
3월	1,195	1,288.5	593.0	2,976.5	
4월	899.8	602.4	200.6	1,720.8	
5월	1,20.5	2,971.5	744.2	4,926.2	
총계				10,404.1	

#### 5. 감사의 글

본 연구는 (00-지역-03)한국전력공사지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.