

1MW급 Dual-rotor 풍력발전 시스템 개발

김성주
서남대학교

Development of 1MW Dual-rotor Wind Turbine System

Sung Ju Kim
Seonam University

ABSTRACT

1MW급 듀얼로터(Dual rotor) 풍력발전 시스템을 충남 서천 군 서면 마량리 서천화력발전소 회사장 부지에 지난 2007년 5월 설치를 완료하였다. 듀얼로터 풍력발전 시스템은 기존의 싱글(Single) 로터 시스템과 달리 바람의 이용율의 극대화를 위해 2개의 로터 시스템으로 구성되어 있으며, 실시간으로 변하는 바람의 방향에 로터의 방향이 향하도록 프리요(Free yaw)를 실현하였다. 본 연구에서는 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템의 특징과 구성에 관한 전반적인 사항에 대해 소개하였다.

1. 서론

21세기 들어 인류가 당면하고 있는 가장 큰 문제 중의 하나는 에너지 자원의 한계성과 지구의 환경오염 문제이다. 세계적으로 에너지자원을 둘러싼 갈등이 점점 더 심화되고 있는 상황에서 에너지자원의 대외 의존도가 약 97%를 차지하고 있는 우리나라는 장차 자원민족주의와 자본주의의 결합으로 인한 위협으로부터 자유롭기 위해서는 에너지원의 안정적인 수급방안이 절대적으로 필요하다. 또한 앞으로 개발도상국들의 급속한 경제발전으로 인하여 화석연료의 수급 불균형이 예상되고 있다. 따라서 에너지원의 다원화와 환경공해의 저감은 인류가 경제성장과 환경, 에너지 안보를 동시에 고려하는 지속가능한 발전(Sustainable Development)을 추구하기 위해 해결해야 할 가장 큰 과제다.

현재 유럽과 미국 등 선진국에서는 풍력, 태양광/열, 연료전지, 복합발전과 같은 대체에너지의 개발과 보급에 일반 기업뿐만 아니라 국가적인 차원에서 많은 노력을 기울이고 있다. 그 중에서도 풍력발전시스템은 발전단가 면에서 가장 우위에 있다. 풍력발전은 회전자를 이용하여 바람 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이를 다시 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 시스템으로 정의된다. 그러므로 풍력발전시스템은 유체공학, 기계제어, 재료공학, 전기제어, 전력공학 등의 복합체라 할 수 있으며 학문간 상호연계 및 통합기술 개발이 필수적이다.

세계 풍력발전산업은 WIND FORCE 12이라는 계획 하에 2020년까지 전세계 전력 공급량의 12%를 풍력발전으로 공급하기 위해 지속적인 연구개발 및 보급에 지속적으로 지원을 하고 있는 추세이다. 그림 1에서는 2012년까지의 예측 세계 전력 소비량 및 풍력발전 공급량 변화추이를 보이고 있다.

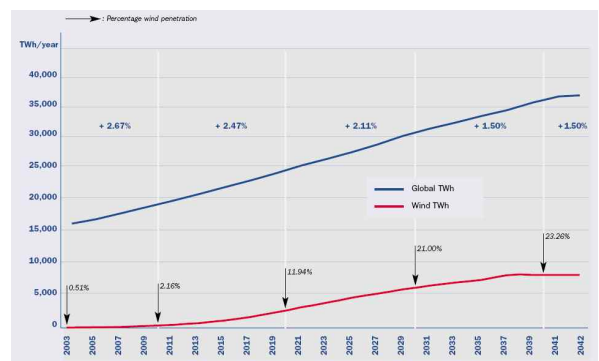


그림 1 세계 전력 소비량 및 풍력발전 공급량 변화추이

국내에서는 1990년대 후반부터 국가적으로 많은 관심이 고조되어 전국에 풍력발전 단지를 조성하고 있으나 국내 기술의 수준 및 경쟁력이 취약하여 풍력발전 단지에 설치된 풍력발전기는 대부분이 외국에서 수입되고 있는 실정이다. 또한 외국에서 수입된 풍력발전기는 국내의 열악한 풍황에 적응하지 못하고 잦은 고장이 발생하여 유지보수 비용의 증가와 더불어 경제성을 악화시키고 있다. 이러한 외국 시스템의 단점을 보완하고 국내 풍황에 적응력을 높인 새로운 개념의 풍력발전 시스템의 개발이 절실한 가운데 듀얼로터 풍력발전 시스템은 새로운 대안 기대된다.

2. 듀얼로터 풍력발전 시스템

2.1 듀얼로터 풍력발전 시스템의 특징

듀얼로터 풍력발전 시스템은 그림 2에서 보이는 바와 같이 기존의 싱글로터(Single rotor)풍력발전 시스템과 달리 2개의 로터 블레이드(Rotor blade)로 구성되어 있다. 업윈드(Up wind) 형태의 보조 로터 블레이드는 다운윈드(Down wind) 형태의 주 로터 블레이드 길이의 1/2로 구성되어 있으며, 상호 역회전 하면서 발생하는 기계적 동력은 베벨-유성 기어 시스템에 입력되어 단일 수직축으로 통합 증속되어 출력된다. 보조 로터 블레이드에 비해 상대적으로 높은 추력(Thrust)을 발생시키는 주 로터 블레이드에 의해 듀얼로터 풍력발전 시스템은 실시간으로 변화하는 풍황에 따라 프리 요잉(Free yawing)을 함으로써 측풍(Shear wind)등에 의해 발생하는 극한 하중과 피로하중의 영향을 감소시켜줄 수 있는 특징이 있다.

표 1에서는 기존의 싱글로터 풍력발전 시스템과 듀얼 로터

시스템을 기술별로 비교분석하였다.

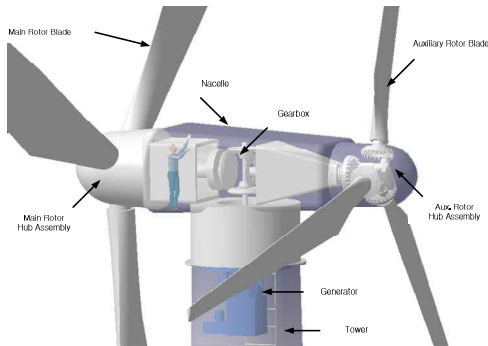


그림 2 듀얼로터 풍력발전 시스템 구성도

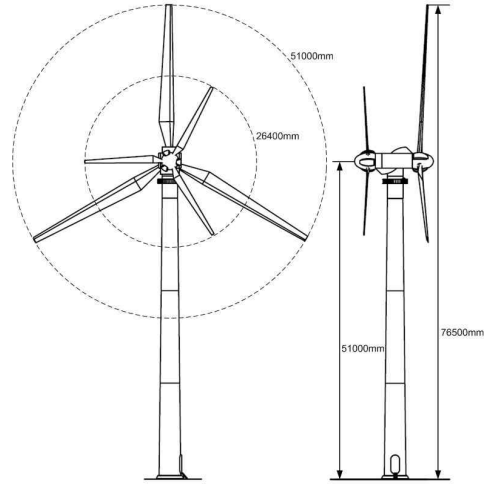


그림 3 듀얼로터 풍력발전 시스템 외형도

표 1 싱글로터 시스템과 듀얼로터 시스템의 주요 특징 비교

구분	싱글로터 시스템	듀얼로터 시스템	비고	
핵심 기술	시스템 기술	수평축 단일 터빈	수평/수직축 통합 터빈	국내/국의 특허 기술
	기어 시스템	유성 또는 스퍼 기어시스템	Bevel-Planetary 통합 기어 시스템	1단으로 2단 기어비의 90% $i = 1 + \frac{2ZR}{ZS}$
사각지대 보상	사각지대 보상 방법 없음	보조 로터블레이드에 의한 주 로터블레이드의 사각지대 보상가능	주 Rotor turbine Hub의 지속영역 공기역학적 Dead Zone에 발생을 보상	
낮셀 중량 및 요제어	모든 장치가 낮셀에 설치 중량 과중으로 신속한 요제어 곤란	중량 대폭 감소 및 요제어 용이	한국형은 Rotor 블레이드와 증속 기어만 철탑상부에 설치	
출력선 및 제어선의 꼬임	요제어에 따른 꼬임으로 De-winding필요	발전기 및 제어 시스템 철탑하부에 고정 설치	풍향변동에 상관없음	

2.2 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템

2.2.1 시스템의 외형 및 구성

1MW급 Dual-rotor 풍력발전 시스템은 기존의 싱글로터 풍력발전 시스템과 달리 2개의 로터허브 시스템과 수직축 발전기로 구성되어 있다. 보조 로터는 바람 방향의 전면에 그리고 주 로터는 타워 뒷면에 위치하고 있다. 보조 로터는 직경이 26.4m이며 3엽 블레이드로 구성되어 있고 주 로터는 직경이 51m이고 3엽 블레이드로 구성되어 있다. 그림 3에서는 위에서 언급한 특징을 가지는 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템의 외형을 보이고 있다.

2.2.2 시스템 주요 제원

1MW급 Dual-rotor 풍력발전 시스템은 기존의 싱글로터 풍력발전 시스템과 달리 2개의 로터허브 시스템과 수직축 발전기로 구성되어 있다. 보조 로터는 바람 방향의 전면에 그리고 주 로터는 타워 뒷면에 위치하고 있다. 보조 로터는 직경이 26.4m이며 3엽 블레이드로 구성되어 있고 주 로터는 직경이 51m이고 3엽 블레이드로 구성되어 있다. 표 2에서는 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템의 주요 제원을 정리하였다.

표 2 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템의 주요 제원

Basic Design Data(Wind speed)	
Cut-in / Cut-out	3.5 m/s / 25m/s
Rated	Main rotor blade: 12.4 m/s
	Aux. rotor blade: 12.4 m/s
Survival	60 m/s
Main Rotor	
Diameter	(Blade:24.5m, Hub:2m) 51m
Sweep Area	2,042m ²
Speed Range	28rpm
Sense of Rotation	Clockwise
Auxiliary Rotor	
Diameter	(Blade:12.2m, Hub:2m) 26.4m
Sweep Area	547.4m ²
No. of Blades	3
Speed Range	57.9rpm
Sense of Rotation	Count-Clockwise
Pitch Control	
Power Limitation	λ Pitch Control
Pitch Drives	Electric DC Servo Motor
Tower	
Type	Tubular Tower
Hub Height	50.692m
Gear Box	
Type	Bevel-Planetary 2stages
Gear Ratio	51.4 : 1
Break System	Stall & High speed shaft Disk break
Generator / Inverter	
Generator Type	Doubly Fed Induction Generator
Nominal Power	1MW
Inverter	Grid connection IGBT-U-inverter
Protection Class	IP54
Speed Range	1440±400rpm
Voltage	3 phase 600V 4wire
Frequency	60Hz

2.2.3 구성 요소별 특징

가. 보조로터 블레이드

보조로터 블레이드는 IEC61400-1에서 규정하고 있는 wind

class III 환경에 적합하고 정격 250kW급 출력을 낼 수 있도록 설계하였다. 사용한 에어포일은 DU-300,350,400과 DU-91-W2-250, DU-98-W2-210, 그리고 NACA-64-618을 사용하였다.

나. 주로터 블레이드

주로터 블레이드는 보조로터의 후류에 의해 증가되는 풍속을 고려하여 wind class II 환경에 적합하도록 설계하였다. 정격회전수는 28rpm이며 블레이드의 회전속도와 피치(Pitch)각에 따른 출력성능을 그림 4에 도시하였다. 실제 블레이드의 공력에 의한 출력은 약 900kW에 이르지만 동력의 전달과정에서 발생하는 효율감소분 약 16%를 고려하면 실제 전기적으로는 정격 회전수에서 750kW가 출력된다.

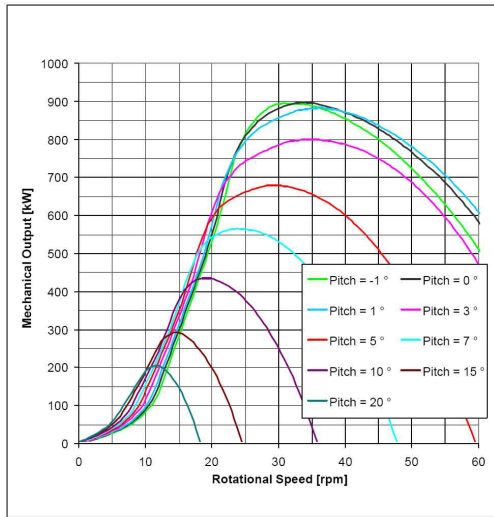


그림 4 피치각에 따른 주로터 블레이드 출력성능

다. 발전기 및 전력변환 장치

1MW급 이하의 중대형 풍력 발전 시스템에는 지금까지 가격이 저렴한 농형 유도기가 널리 사용되어 왔지만 정속운전 권선형 유도발전기를 이용한 고정자와 회전자 두 곳에서 여자가 가능하도록 한 발전기로서 회전자 여자의 방향에 따라 동기 속도 이상에서 뿐 만 아니라 동기 속도 이하에서도 발전이 가능하므로 가변속 발전기에 적합하다. DFIG의 구현은 고정자 권선을 계통에 직접 연결하고 회전자 권선은 양방향 전력 조류가 가능한 인버터를 거쳐 계통에 연결한다. DFIG에 인가되는 축 토크는 공극을 거쳐 회전자 출력과 합산 혹은 가감되어 고정자로 전달되고 회전자 출력은 회전자 여자에 따라 결정된다.

그림 5에서는 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템에 적용된 DFIG 시스템의 개념도를 도시하였다.

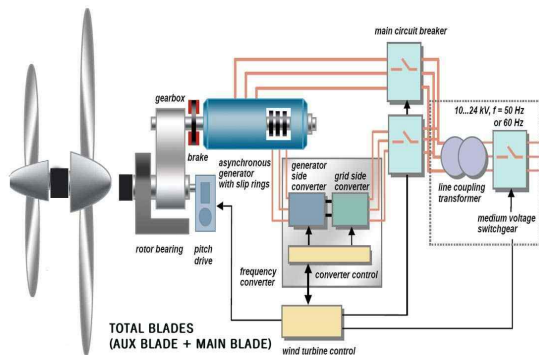


그림 5 DFIG 시스템 구성도

라. 기어 시스템

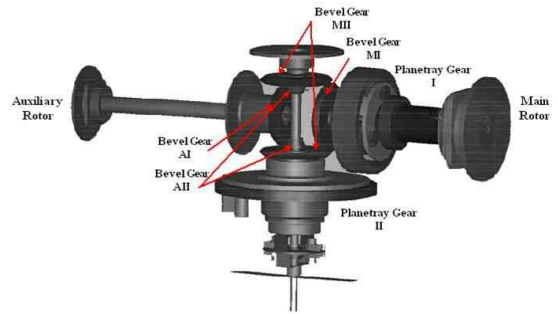


그림 5 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템 기어 구성도

보조와 주로터로부터 입력되는 동력은 그림 5에서 도시하는 기어 시스템을 거쳐 증속되어 발전기로 출력된다. 주로터로부터 발전기 입력단까지의 총 기어비는 51.4:1이며 이를 2개의 유성기어와 1개의 베벨기어를 통해 구현하였다.

3. 결 론



그림 6 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템

본 논문에서는 지난 2007년 5월 설치를 완료한 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템의 특징과 그 구성요소에 관하여 간략하게 소개하였다. 현재 무부하 시험가동을 마치고 계통연계 후 정상 시험 운전을 준비하고 있으며, 이후 인증을 위한 DATA 수집과 듀얼로터 풍력발전 시스템의 시뮬레이션 모델 구현 등 후속 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] GWEA, "Wind Force12", www.ewea.org, 2005, June.
 [2] (주)코원텍, 1MW급 듀얼로터 풍력발전 시스템 개발 3차년도 연구 보고서, 2006, August