

수직형 풍력발전시스템의 특수 블레이드 설계에 관한 연구

윤정필, 박세준, 강병복, 최장균, 차인수
 동신대학교 전기전자공학과

Study about Design of Particular Blade for Perpendicular Wind Generation System

Jeong-Phil Yoon, Se-Jun Park, Byung-Bog Kang, Jang-Kyun Choi, In-Su Cha
 Dept. of Electrical Eng. Dongshin Univ.

Abstract - 풍력발전은 태양광발전과 더불어 대체에너지의 큰 축을 이루고 있는 대체에너지 시스템이다. 풍력발전은 축의 방향에 따라 수직축과 수평축 풍력발전으로 나뉘는데, 국내외 보급되고 있는 대부분의 시스템은 수평축 발전시스템이다. 이 시스템들은 3개의 날개를 가지는 블레이드를 사용하고 있다. 대용량으로 갈수록 블레이드의 크기는 커지고 시스템에서 발생하는 소음문제, 시스템 운용에서 오는 안정성 등 많은 문제들을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하고자 수직형 풍력발전시스템을 제안하였으며, 이를 위해 발전시스템의 주요 구성품인 수직형 특수 블레이드를 제안하였다.

1. 서론

1970년대 오일쇼크 이후 세계 각국에서는 화석에너지의 고갈과 환경오염 문제 등으로 인하여 화석에너지를 사용하지 않는 효율적인 대체 에너지 개발에 많은 투자를 하고 있다. 초기 실험실 수준의 에너지들이 현재는 유럽, 일본, 미국 등을 포함한 전 세계의 선진국에서 상용화 되어 각 분야별로 보급되고 있다.

대체에너지에는 태양광, 풍력, 바이오 매스, 조력발전 등 다양한 분야가 있다. 태양광 발전과 풍력 발전은 각각의 많은 장점으로 인하여 대체에너지 연구 분야 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다 말할 수 있다. 그 중에서 풍력발전은 풍황조건이 우수한 서유럽을 중심으로 개발 기술 및 보급이 주도되어 왔으며 실용화율도 높다.[1]

효율적인 풍력발전을 위하여 여러 가지 형태의 발전시스템이 시도되어 왔고, 최근에는 일정출력을 낼 수 있는 성능과 효율성이 우수한 수평축 풍력발전시스템이 주로 사용되고 있고, 대형화 함으로써 대두되는 경량화 문제를 해결하기 위하여 복합재를 이용한 회전날개를 개발하여 사용하고 있다.

현재 우리나라에서는 수평축 풍력발전시스템이 주종을 이루며 보급되고 있다. 하지만 밀도가 얇은 풍황조건으로 인하여 실질적인 시스템 운영 부분에서는 멈춰 있는 경우가 대부분이며 경제성 또한 낮다할 수 있다. 때문에 얇은 풍황 조건을 극복하고 효율적인 시스템 운영이 가능한 새로운 발전 시스템의 제안이 요구되고 있다.

본 논문에서는 기존 수평축 풍력 발전시스템을 대체할 시스템으로서 특수 설계된 블레이드를 적용한 풍력발전 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 기존의 수백 kW 시스템과 달리 500W급 소형 발전 시스템으로 블레이드의 안정성과 얇은 풍황조건에서도 작동이 가능하도록 설계하였다.

2. 풍력발전시스템 이론

풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율 η_m , 발전기의 효율 η_g 를 포함하게 된다.

따라서 바람으로부터 얻을 수 있는 풍력발전시스템의 전기적인 에너지, P_e 는 다음과 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (5)$$

그러나, 실제 풍력발전시스템의 운전시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속 V_c 이상의 풍속에서만 시스템이 출력되고 정격풍속 V_r 에서의 정격출력 P_r 까지 V^3 에 비례하여 출력이 나타나며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지된다. 또, 중단풍속 V_f 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 바람은 순간적으로 특성이 변하므로 바람으로부터 얻을 수 있는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. Weibull 분포를 이용하여 바람으로부터 얻을 수 있는 평균 에너지양 $\overline{P_w}$ 는 다음과 같다.

$$\overline{P_w} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} V^3 P(V) dV \quad (6)$$

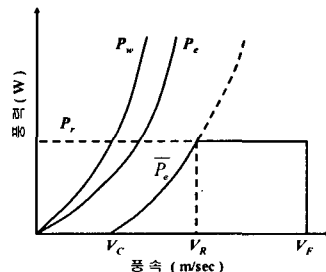


그림 1. 풍력발전기의 출력 특성
 Fig. 1. Output characteristic of wind power generator

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 (5)에 의해서 풍력발전시스템의 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음 (7)과 같다.

$$\overline{P}_e = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (7)$$

그러나, (7)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 풍력발전시스템의 실제 평균 출력에너지 \overline{P}_e 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P}_e &= \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_R} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ &+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_c}^{V_F} P(V) dV \\ &+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{V_F} P(V) dV \quad (8) \end{aligned}$$

즉, 시동풍속 V_c 에서 정격풍속 V_R 까지는 V^3 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속 V 와 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격 풍속 V_R 에서 종단풍속 V_F 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력 에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m \eta_g V_R^3$ 의 값은 풍속 V 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

3. 풍력발전시스템

풍력발전시스템은 그림2와 같이 크게 발전부와 제어부로 나뉜다. 회전계는 날개(블레이드)와 허브로 구성되고, 종속장치는 발전기를 구동하는 역할을 하며, 제어부는 회전계, 풍속계, 부하 등에서 오는 신호를 분석하여 발전기 및 각종 안전장치를 제어하는 역할을 하게 된다.

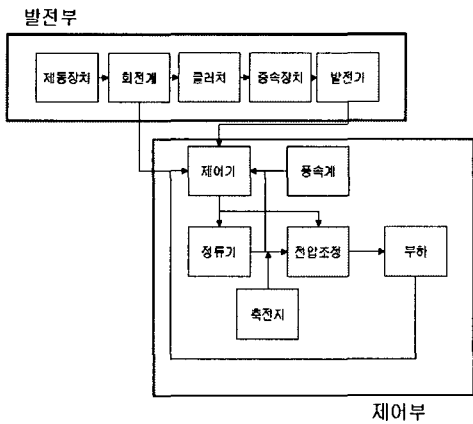


그림 2 풍력발전시스템의 구조
Fig. 2 Structure of the Wind Generation System

풍력발전기는 회전축에 따라 수평형(수평축)발전기와 수직형(수직축)발전기로 나뉠 수 있으며, 국내에서는 대부분 수평형 발전기가 보급되고 있다.

수평형 발전의 경우 블레이드가 3개의 날개로 구성되어 있는 것이 대부분이며 용량에 따라 1M~수M의 크기에 이르고 발생하는 소음 또한 무시 못할 수준이며, 국내의 열악한 풍황조건으로 인하여 가동이 중지되는 경우가 많다. 게다가 발전기 고장 등 사고로 인하여 블레이드가 이탈 될 경우 대형사고로 연결될 수 있는 위험을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 소음저감 효과와 열악한 풍황에

서도 효율적인 운전이 가능한 풍력발전시스템을 제안하고자 하였다.

4. 블레이드 설계

4.1 블레이드

풍력발전용 블레이드의 구조 설계 요구조건은 제한 강도 요구조건(Limit strength requirement), 강성도 요구조건(Stiffness requirement), 피로수명 요구조건(Fatigue life requirement)의 크게 세가지를 들 수 있다.[2] 첫째로 제한 강도 요구 조건을 만족하기 위해서는 최대하중 및 돌풍과 같은 특수한 상황에 대해서 견딜수 있는 안정성을 가져야 하며, 둘째로 운전중 공진을 피하기 위한 고유 진동수확보, 건물과의 충돌을 피하기 위한 변위 제한, 비틀림각 제한 등이 있으며, 셋째로 피로 수명에 대한 요구조건을 만족하기 위해 예상되는 반복하중에 견딜 수 있어야 한다.

본 논문에서는 발전기 제작을 위한 블레이드 설계를 수행함에 있어 우선적으로 안정성에 주력하여 블레이드 부와 베어링부를 설계하였다.

4.2 기본 구조 설계

본 논문에서는 풍력발전기의 전체 설계에 앞서 주요 부품인 블레이드부와 연결부인 베어링부를 설계하였다. 설계를 위하여 기계 설계 전문 Tool인 CATIA를 사용하였다. 각 부분별 설계를 통하여 블레이드 및 발전기의 설계를 완성하였다.

그림 3은 CATIA로 설계된 블레이드의 베어링 부이다.

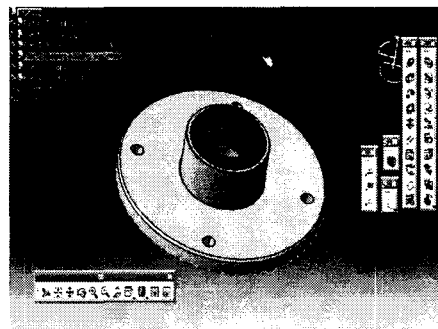


그림 3 베어링부 설계
Fig. 3 Desing of the bearing part.

그림 4는 본 논문에서 제안한 수직축 풍력발전기의 블레이드부로서, 직경 1m의 원통형으로, 30개의 날개를 일정한 간격으로 배치하였다. 이를 통해 발전의 원활함을 확보하였다.

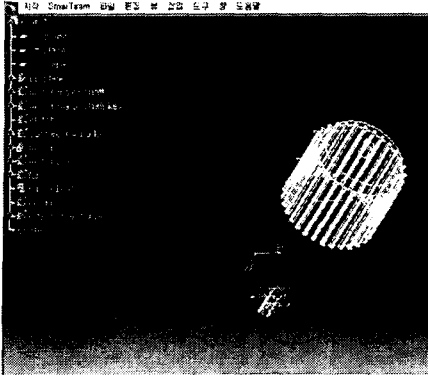


그림 4 블레이드의 설계
Fig. 4 Design of the Blade

그림 5는 블레이드부와 베어링부의 결합도이며 이를 렌더링 한 것이다.

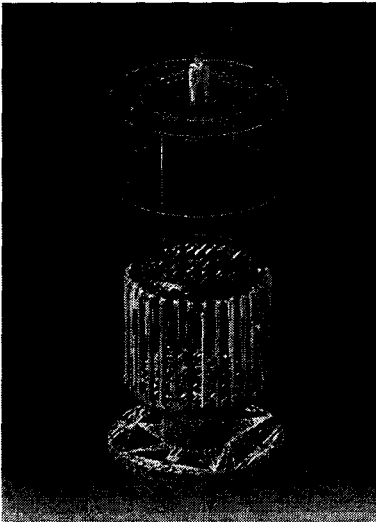


그림 5 블레이드 렌더링
Fig. 5 Render of the Blade

블레이드의 해석을 위하여 부분별 조건 부여가 가능하게 그림 6과 같이 meshing 하였다.

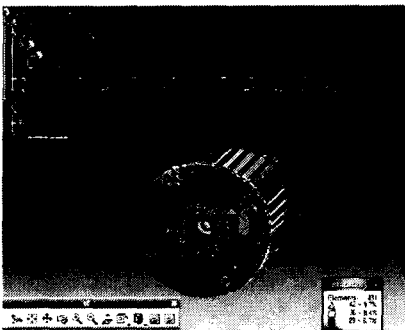


그림 6 블레이드의 매싱
Fig. 6 Meshing the Blade

시뮬레이션 결과 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7에 적용된 파라미터는 설치시 블레이드와 베어링부에 받게 되는 압력과 같은 하중을 가함으로써 얻어지는 응력의 분포를 나타낸 것으로 재질은 steel로 적용하여 수행하였다.

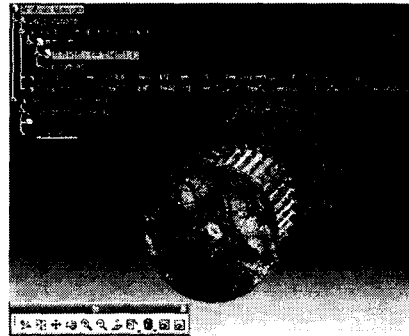


그림 7 블레이드의 시뮬레이션
Fig. 7 Simulation of the Blade

시뮬레이션을 통해 얻어진 응력분포 데이터는 안정성과 내구성을 수반하는 풍력발전 시스템의 제작에 그대로 반영할 수 있다.

5. 결론

풍력 발전시스템은 태양광 발전과 더불어 국내 대체에너지 보급의 큰 축이 되고 있다.

수평형 발전 시스템이 보급의 주가 되고 있는 현실에서 그 시스템의 안전성과 소음에 대한 대책이 없는 상황에서 본 논문에서는 수평형 발전 시스템의 필요성 제기와 특수 블레이드 설계를 제안하였다.

연구 초기단계로서 전체적인 시스템의 설계 및 제작이 아닌 시스템의 주요 부분인 블레이드와 베어링부에 대한 설계를 수행하였으며, 이를 통해 발전시스템에 가해지는 기본 스트레싱인 응력분포에 관하여 시뮬레이션 하였으며 이를 통해 블레이드와 베어링에 가해지는 데이터를 확인할 수 있었다.

이는 시스템 실제 제작시의 데이터로 활용될 것이며, 기존 발전시스템과의 명확한 차이점을 밝히기에는 모자란 부분이 있으나, 현재 진행되는 연구를 통하여 이후 논문에서 명확한 분석결과를 보일 수 있으리라 여겨진다.

[참고 문헌]

- [1] 김기범의, "750kW급 수평축 풍력발전용 복합재 회전날개의 구조시험을 통한 설계 개선에 관한 연구", 한국항공우주학회, 1999년도 추계학술발표논문
- [2] 공창덕의, "축정하중 스펙트럼을 이용한 수평축 풍력발전 시스템용 복합재 회전날개의 피로수명 설계에 관한 연구", 한국항공우주학회, 1998년도 추계 학술발표 논문
- [3] J. Park, N. Rebelo and S. Kobayashi, "A new Approach to preform Design in Metal Forming with the Finite Element Method", Int. J. Mach, Tool Des. and res. Vol. 23, No.1, pp 71 79(1983)

감사의 글

본 논문은 전력산업연구개발 사업 R-2003-B-423 지원하에 연구하였습니다.