

자기동 수직축 풍력 블레이드의 설계

A Study on Design of Self-Starting Vertical Axis Wind Turbine Blade

*정규천¹, #최성대², 김종환¹, 신종섭³

*G. C. Jung¹, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)², J. H. Kim¹, J. S. Shin³

¹ 금오공과대학교 대학원 기계공학과, ² 금오공과대학교 기계공학부, ³ 육일전자산업

Key words : Renewable energy, CFD, Savonius, Darius, VAWT

1. 서론

급속히 발전하는 여러 산업분야들은 혁신적인 기술들의 발달로 인해 인간의 편리성 및 경제성 모두 높아져 가고 있다. 그러나 이와 더불어 에너지의 소모는 점점 극대화 되어 가고 있으며, 산유국의 국제유가 강세로 인한 불안정한 국제정세는 자원확보 경쟁으로 치닫고 있다. 또한 고유가는 물가상승의 원인이 되어 국내 물가정세에도 큰 영향을 미치고 있다. 그뿐만 아니라 온실가스의 주범인 이산화탄소는 환경문제로 대두되고 있다. 이를 줄이기 위한 노력으로써 90년대 초 국제기후변화협약을 통하여 온실가스문제에 대한 정책을 마련하기도 하였다. 최근에는 국제적으로 탄소배출권 거래 제도를 마련하여 이산화탄소를 줄이기 위한 노력을 하고 있다. 이러한 에너지 문제의 대책의 일환으로써 이산화탄소의 발생이 없는 청정하며, 무한정 공급이 가능한 신재생에너지의 개발을 추진하는 것이다.

선진국에서는 이미 신재생에너지의 중장기적 개발계획을 수립하였으며, 정부는 보조, 융자, 세제지원, RPS(Renewable Portfolio Standard), 발전차액 등의 정책적 노력으로 신재생에너지의 보급화를 수행하였다. 특히, 태양광 및 풍력분야는 그 성장세가 가속화 되고 있다. 국내에서는 90년대 후반에 신재생에너지에 대한 기술개발이 진행되었으며 현재는 기술개발 뿐만 아니라 이용보급을 크게 확대하면서 실질적인 계획을 지향하고 있다.

신재생에너지의 개발에 대한 국내활성화 정책은 현재 주요적으로 태양광, 풍력발전 그리고 조력발전과 같은 에너지분야에 많은 투자를 아끼지 않고 있다. 그 중 풍력발전은 현재 국내에서 자체개발을 위한 연구인력 및 핵심기술 등을 확보하는데 중점을 두고 있다. 특히 수직축풍력터빈은 국내에서 개발 및 상용화가 진전되었다. 풍력발전의 추세는 크게 대형화와 소형화의 2가지 방향으로 진행되고 있다. 설비용량 1~5kW급의 소형풍력발전기는 빌딩형 BAWT(Building Augmented Wind Turbine)로 대표되며 이는 도심 또는 건물에 설치 가능하여 공간 활용성을 높일 수 있다. 수직축 풍력발전기는 수평축 풍력발전기의 풍향 변화에 따른 요잉 장치가 필요 없으며 난류 등의 관점에서도 유리하다.

특히 주위 경관과 조화를 이룰 경우 그 가치는 매우 높다고 할 수 있다.

2. 풍력 발전기의 개요

풍력 발전기는 바람의 운동에너지를 전기에너지로 전환하는 장치이다. 따라서 바람이 가지는 운동에너지를 전기에너지로

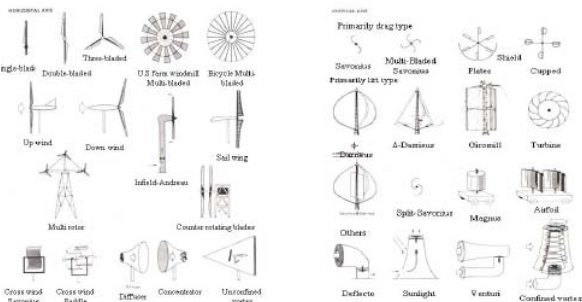


Fig. 1 Types of wind turbine (HAWT & VAWT)

변환 할 수만 있다면 풍력 발전기라고 할 수 있다. Fig. 1에 여러 가지 풍력 발전기의 타입을 보여주고 있다. 하지만 경제성을 따지게 되면 저비용, 고효율의 터빈을 생각하게 되고 현재까지

많은 아이디어가 나오고 있다. 고효율의 대표적인 터빈으로는 수평축의 3-blade type이 있으며 양력을 이용해 높은 효율을 낼수 있다. 하지만 도시에 적용하기엔 잦은 풍향의 변동으로 인해 요잉시스템에 부하가 많이 걸리고 초기구동토크가 높아 우리나라에는 적합하지 않다. 하지만 항력을 이용한 Savonius type은 초기구동토크가 낮고 잦은 풍향의 변동에도 상관없이 발전이 가능하지만 발전효율이 낮은 단점이 있다. 이에 양력을 이용한 수직 Darius type과 항력을 이용한 Savonius type을 혼합하여 도시에 높은 효율을 낼수 있는 새로운 Mixed type을 생각하게 되었다.^{1), 2)} Fig. 2 는 풍력발전기의 일반적인 효율을 보여주고 있다.

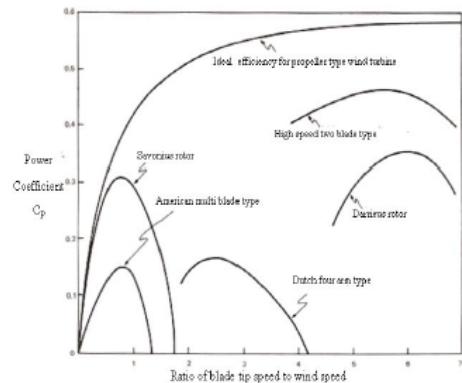


Fig. 2 Typical performance of wind machines

풍력발전시스템으로 얻을수 있는 에너지 P_e 는 식(1)과 같으며 여기서 η_m 는 전달 장치의 효율, η_g 는 발전기의 효율, η_b 는 블레이드의 효율 그리고 A 는 블레이드가 회전하면서 지나가는 수평면적이 된다. 바람의 밀도는 80m 이하에서는 통상적으로 $\rho=1.225\text{kg/m}^3$ 의 값을 가진다.

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

3. 블레이드의 공력학적 특성

2차원 익형(2-Dimensional Cascade)에 대한 공력학적 특성은 날개 중심으로부터 임의의 반경이 만드는 원주상의 날개의 단면을 평면상에 배열하게 되며 Fig. 3 과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, θ 는 피치각, α 는 받음각, ϕ 는 유입각이며, 단위 익폭(unit span)을 가진 익형에서 발생된 양력 및 항력은 식(2),(3)에 나타낸다. 날개의 선단속도비는 무차원으로 정의되며 식(4)과 같이 나타내며, 출력계수는 밀도, 정격속도 그리고 출력값을 이용하여 식(5)에 나타내고 있다. 실제로 수직축 풍력터빈은 양력 및 항력을 이용하지만 본 연구에서는 항력을 제외한 양력만을 이용했다.

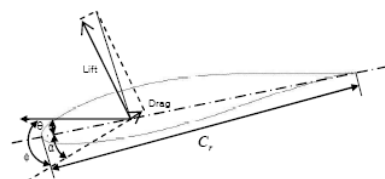


Fig. 3 Force distribution of 2-dimensional cascade

$$L = \frac{1}{2} C_{L\rho} W C b \quad \text{----- (2)}$$

$$D = \frac{1}{2} C_{D\rho} W C b \quad \text{----- (3)}$$

$$\lambda = \frac{R\omega}{V} \quad \text{----- (4)}$$

$$C_p = \frac{1}{2} \rho V_r^3 P H_r D_r \quad \text{----- (5)}$$

여기서 C_p 는 앞서 말한 블레이드의 효율 η_b 와 같다.

4. 수치해석방법

4.1 풍력터빈 모델 및 계산격자

수직축 풍력터빈의 블레이드 수는 총 4개이며, 3개의 수직 Darius Type과 1개의 Helix Savonius Type이 있다. 날개를 지지하는 지지대 및 타워는 생략하고 해석을 수행하였다. 일반 수평축 풍력터빈에 비해 크기는 소형이며, 하나의 익형을 사용하기 때문에 복잡한 구조를 갖는 수평축 풍력터빈에 비해 어려운 블레이드 설계 관점에서 탈피할 수 있다. 본 논문의 복합형 수직축 풍력발전 블레이드는 NACA 시리즈의 4415의형을 이용하였다.³⁾ 블레이드의 유동해석을 위한 격자계는 다음 Fig. 4와 같이 Tetrahedra 격자를 구성하고 있으며, 노드수는 총 179665, 요소수는 976038 이다.

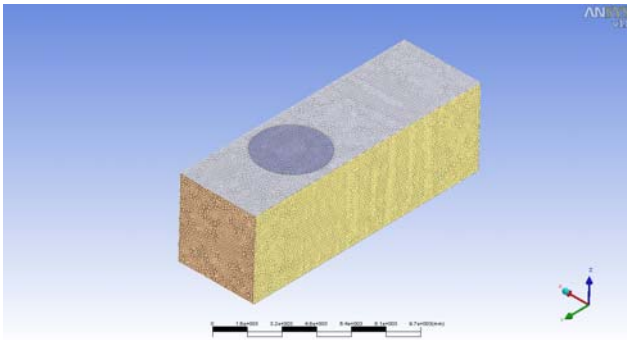


Fig. 4 Mesh generated of analysis region

4.2 경계조건

본 연구의 목적은 수직 Darius 블레이드의 피치각변화와 풍속 변화에 따른 출력의 변화를 알아보고 가장 효율적인 피치각을 산출하여 실제 풍력발전기에 적용을 하는 것이다.

Fig. 5는 복합형 수직축 풍력발전터빈의 유동장을 나타내고 있으며, 바람의 방향은 normal 한 방향으로 흐르도록 하였다. 풍력 블레이드의 회전방향은 반시계 방향이다.

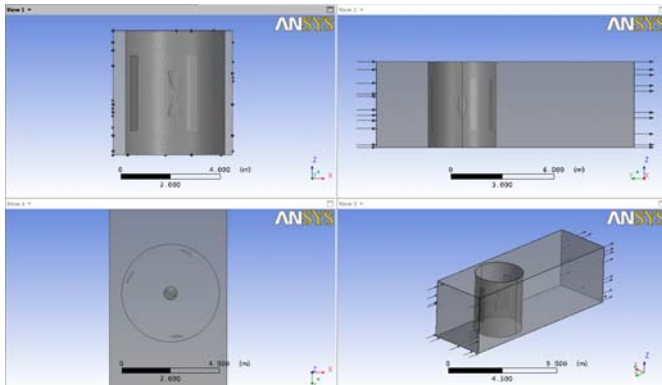


Fig. 5 Ansys views of fluid region

4.3 해석결과

해석조건은 피치각이 0°~15°로 3°간격으로 변하고 풍속이 0m/s~15m/s로 3m/s간격으로 변할 때 발생하는 토크량을 산출하였다. 설계 TSR $\lambda = \frac{R\omega}{V} = \frac{1.5m \cdot 20rpm}{10m/s} = 3$ 으로 하였다.

해석결과는 Fig. 6의 그래프와 같다.

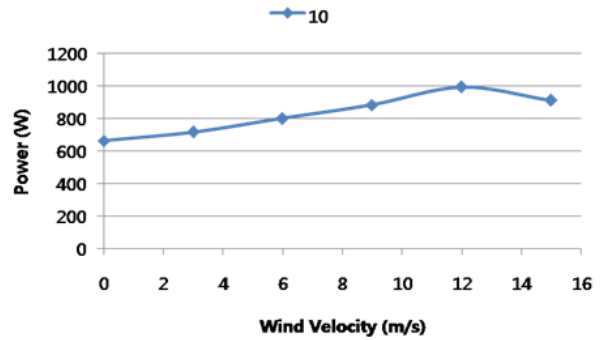


Fig. 6 Results of power at wind velocity 10m/s(fix)

Fig. 7은 해석영역의 압력, Velocity 및 vector 분포 사진이다.

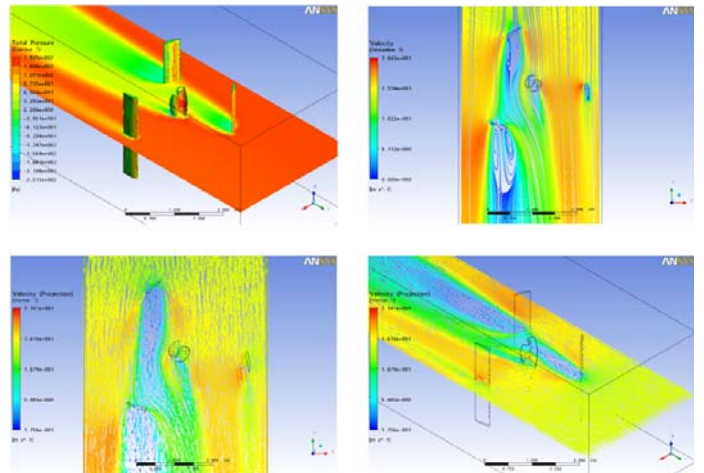


Fig. 7 Analysis results of total pressure, velocity, vector

5. 결론

(1) 피치각이 0°~15°로 3°씩 증가할 때 출력량은 증가하였으며 12° 이후에서 다시 감소하는 모습을 보였다. 이는 날개의 윗면을 흐르는 공기가 박리(separation) 현상을 일으켰기 때문이라고 판단된다.

(2) 해석결과 혼합형 수직축 풍력 발전기의 Cp는 약 0.18가량으로 계산되었고 정격풍속 Vr=10m/s에서 992.25W 가량의 출력을 발생시켰다.

후기

본 연구는 경상북도, 중소기업청에서 지원하는 17차 (2009년도) 금오공과대학교 산학 공동기술개발과제로 수행된 논문입니다. 관계자 여러분께 감사의 말씀 드립니다.

참고문헌

1. 이장호, 두리엔, “다리우스형 풍력블레이드의 설계 방법”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 1465~1469, 2009
2. 김정환, 김태식, 이연원, 김영덕, “CFD에 의한 수평축 풍력터빈의 공력해석에 관한 연구”, 한국공공학회지, 제9권, 제1호, 103~108, 2005.
3. 추권철, 김동건, 윤순현, “원호형상의 멀티 블레이드를 가진 풍력터빈 설계”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 390~395, 2004.