한국신·재생에너지학회 2009년도 추계학술대회논문집 pp.478~481

수직형 풍력터빈 익형의 동특성 분석

*김 철완[1], 조 태환[2]

Study for Dynamic Stall Characteristics of Vertical Axis Wind Turbine Airfoil

*Cheolwan Kim, Tae-Whan Cho

Abstract : As a first step for aerodynamic analysis of vertical axis wind turbine, dynamic stall characteristics of airfoil was investigated. Dynamic stall of wind turbine airfoil is caused by severe variation of angle of attack and relative velocity of flow around airfoil. Angle of attack and relative velocity can be expressed with tip speed ratio. Variation of angle of attack is strongly dependent on the tip speed ratio. For tip speed ratio, 1.4 and free stream velocity, 15m/s, dynamic stall characteristics of wind turbine airfoil is compared with those of oscillating airfoil having same angle of attack variation.

Key words : Vertical Axis Wind Turbine, Airfoil, Dynamic Stall, Flow Acceleration

Nomenclature

Θ : Azimuth angle
ω : Angular velocity (rad/sec)
R : Radius of rotation
V_R : Relative wind to airfoil
α : Angle of attack (= $\gamma+\beta$)
β : Pitch angle
F_Θ : Tangential force ($F_{\Theta lift}+F_{\Theta drag}$)
L : Lift
D : Drag
V_∞ : Free stream velocity
λ : Tip speed ratio ($=R\omega/V_\infty$)

1. 서 론

지구 온난화에 따른 신재생에너지에 대한 관심이 급증하면서 다양한 신재생 에너지에 대한 연구 및 개발이 이뤄지고 있고 풍력발전에 대한 연구도 계속 증가하고 있다. 경제성에 대한 관심은 풍력발전시스템의 대형화로 이어지고 해양 풍력에 대한 연구로 이어지고 있다. 대형화하는 시스템이 설치 장소의 한계, 환경문제 등으로 점차 사막이나 해양으로 이동하는 것과 달리 도시 등 인구 밀집지역에 설치될 수 있는 소형 고효율 친환경 풍력발전시스템에 대한 관심도 점차 증가하고 있다. 개인주택이 많지 않고 인구가 밀집된 국내의 소형시스템은 수직축 형태가 주를 이루는데 바람 에너지를 발전을 위한 기계적 에너지로 전환하는 터빈의 공기역학적 특성연구는 체계적으로 이뤄지지 못하고 주로 제작 및 시험을 거쳐 성능확인을 하는 수준에 머물고 있다.

수평축과 달리 수직축 풍력터빈은 공기역학적 분석이 복잡하고 체계적인 이론을 정립하기가 어려운데 이는 터빈의 익형주변에 동적실속[(1)] 현상이 강하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 수직축 풍력터빈 주위에 발생하는 동적실속의 원인과 이로 인해 발생하는 현상의 특징을 전산해석을 통해 분석하고자 한다.

2. 수직축 풍력터빈의 동적실속 원인

수직축 풍력터빈 익형의 동적실속은 터빈의 회전에 따른 받음각 및 속도의 변화에 기인한다. 특히 받음각은 자유류와 회전속도의 상대적인 크기에 따라 그 형태가 매우 다르다.

2.1 회전 익형의 관계식

Fig.1은 회전하는 익형의 개략도이다. 수직축 풍력터빈에 설치되는 익형은 일반적으로 윗면이 회전 중심을 향하고 회전방향에 대해 붙임각 β를 갖는다.

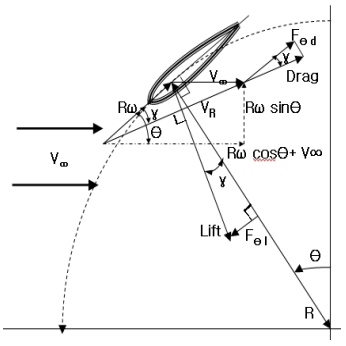

Fig. 1 Diagram of Rotating Airfoil

그리고 익형에 대한 유동의 상대속도는 식(1)과 같다.

$$V_R = \sqrt{(V_\infty + R\omega\cos\theta)^2 + (R\omega\sin\theta)^2} \quad (1)$$

또한 상대속도와 접선방향사이의 각, γ는 식(2)와 같이 방위각, Θ와 자유류 속도에 대한 회전속도 비, λ의 함수로 표시된다.

$$\gamma = \theta - \tan^{-1}\left(\frac{\lambda\sin\theta}{1+\lambda\cos\theta}\right) \quad (2)$$

따라서 상대속도에 대한 익형의 받음각은 식(3)과 같고 붙임각이 없으면 받음각은 식(2)가 된다.

$$\alpha = \beta + \gamma \quad (3)$$

2.1 익형 주위의 상대속도 변화

익형 주위에 형성되는 상대속도는 식(1)과 같고 이를 다시 정리하면 식(4)와 같이 표현할 수 있다. 일정한 자유류 속도에 대한 상대속도는 방위각과 회전비의 함수로 표현된다.

$$V_R = V_\infty\sqrt{(1+\lambda\cos\theta)^2 + (\lambda\sin\theta)^2} \quad (4)$$

Fig.2는 상대속도를 자유류 속도로 나눈 상대속도비를 방위각에 대해 나타낸 것이다. 최대 속도비는 방위각 0°에서 1+λ 이며 최소 속도비는 방위각이 π일 때 1-λ 의 절대 값이 된다. 따라서 방위각이 180°보다 작을 때는 상대속도는 감속하고 이상에서는 가속함을 알 수 있다.

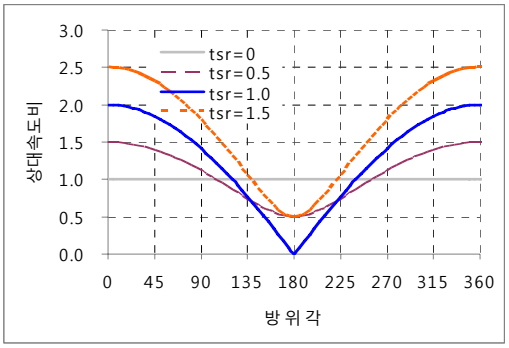

Fig 2 Rel. Velocity Ratio vs Azimuth Angle

2.2 익형의 받음각 변화

방위각에 따른 받음각 변화는 상대속도의 변화보다 더욱 다양한 경향을 나타낸다(Fig.3).

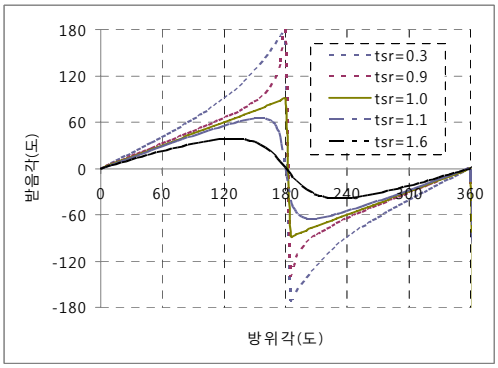

Fig. 3 Angle of attack vs Azimuth Angle

회전속도비가 매우 작으면 받음각은 방위각과 같아지고 속도비가 1 이면 받음각의 크기가 방위각 크기의 반으로 감소하여 방위각 180°에서 불연속이 된다. 속도비가 1미만이면서 1에 가까울수록 받음각이 방위각 180°에서 급격히 변함을 알 수 있고 1이상에서는 모든 방위각에서 연속적으로 변함을 알 수 있다.

수직축 풍력터빈 익형의 상대속도 및 받음각은 회전속도비 및 방위각에 따라 매우 다양한 형태로 변화하며 따라서 익형은 항공기의 날개 등에서 관찰되는 동적실속 현상을 보이지만 회전속도비의 크기에 따라서 매우 복잡한 동적실속 현상을 유발할 수 있다.

3. 익형의 동특성에 대한 전산해석

수직축 풍력터빈 익형의 동특성 분석을 위해 자유류 속도 및 회전속도비에 따른 다양한 분석이 필요하여 첫 단계로서 회전속도비 1.4에 대해 전산해석을 수행하였고 동일한 받음각 변화를 갖는 익형의 동특성 해석도 함께 수행하여 그 결과를 비교하였다.

3.1 격자 및 전산해석

전산해석을 위한 계산격자는 Fig.4와 같이 익형표면에 약 250개의 격자점을 그리고 25층의 점성격자를 갖는다. 자유류 속도는 15m/s이며 난류모델은 transition SST K-W 이다. 회전중심에서

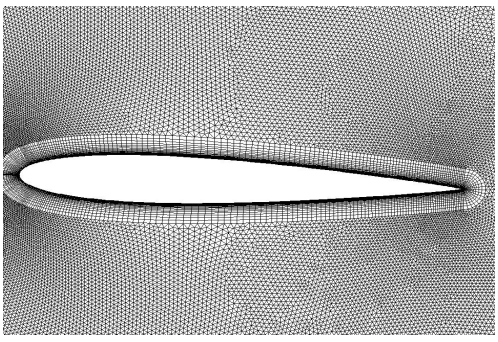

Fig.4 Computational Grid around Airfoil

익형까지의 거리는 0.69m이며 익형 길이는 0.22m 이다. 그리고 time step은 1 step에 1도를 회전하도록 조절하였고 sliding mesh 기법을 활용하였다. 회전속도비는 연속적인 받음각을 갖도록 1.4로 하였다. 본 연구에 사용된 익형은 NACA0012이고 붙임각은 0°이다.

수직축 풍력터빈 익형과의 비교를 위해 일정한 자유류 속도를 가지며 동일한 받음각을 갖는 익형의 전산해석도 병행하였다. 이는 풍동을 활용한 일반적인 익형 시험기법과 동일한 것으로 대부분의 익형 동적 특성 자료를 생산하는 방법이다.

3.1 해석 결과 분석

Fig.5는 회전하는 익형과 진동하는 익형 주위의 속도분포를 방위각에 대해 나타낸 것이다. 익형주변의 속도 분포는 다른 형태를 보이지만 방위각에 따른 양력 및 항력분포는 비슷한 경향을 보인다. Fig.6는 익형주위의 항력분포를 받음각 변화에 따라 나타낸 것이다. 방위각이 작은 영역에서 두 익형의 항력은 비슷한 값을 갖지만 받음각이 증가할수록 수직형 풍력터빈 익형(Rotating Airfoil)의 항력이 크게 증가한다. 받음각이 최고에 도달한 후 감소하면서 항력은 더욱 증가하고 받음각이 0° 주위에서 더욱 크게 감소한다. 이는 회전하는 익형의 원심력과 유동의 가속도가 더해진 결과로 추정되지만 더욱 정확한 분석을 위해서는 추가적인 해석이 필요한 것으로 판단된다. Fig.7은 양력특성을 비교한 것이다. 진동하는 익형에 비해 풍력터빈 익형의 양력이 더 크게 변화함을 알 수 있다. 유동의 가속도가 없는 최고와 최저 받음각에서는 같은 값을 보이지만 그 외의 영역에서는 많은 차이를 보이고 있다. 이의 원인도 유동에 작용하는 원심력과 가속도에 있는 것으로 추정된다.

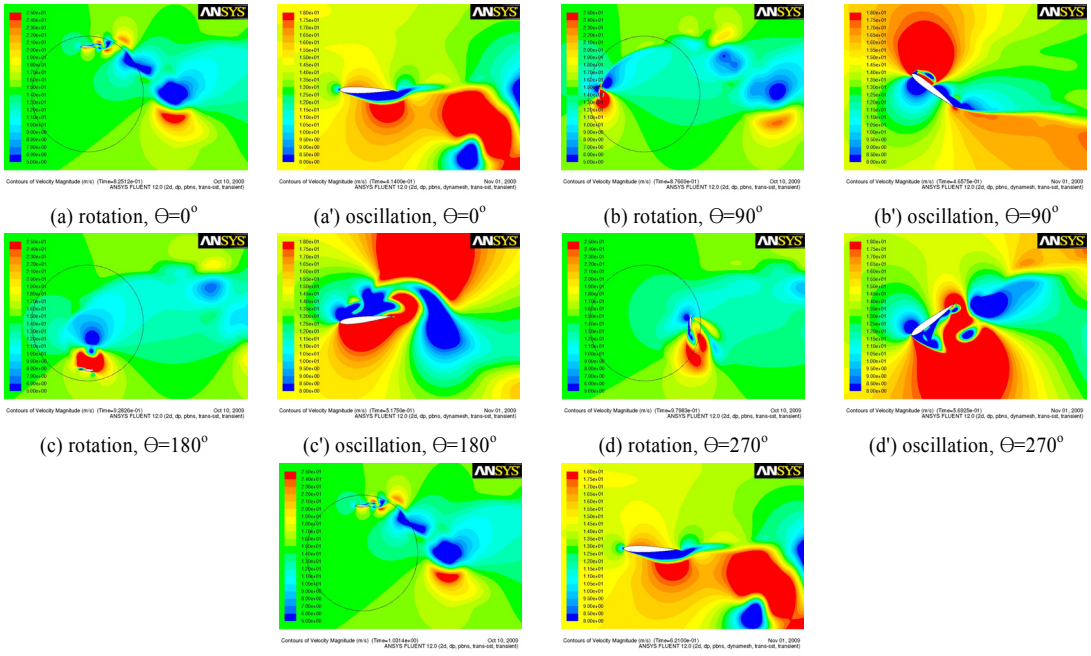

Fig. 5 Velocity Contour Plots vs Azimuth Angle, Left : Rotating Airfoil, Right : Oscil- lating Airfoil

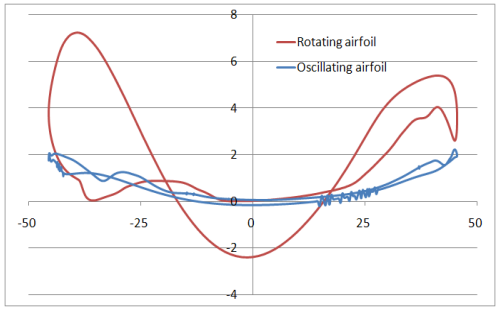

Fig. 6 Drag Coefficient of Airfoils

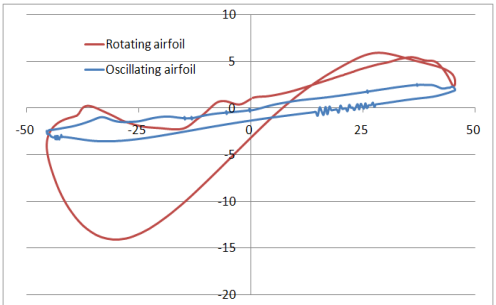

Fig. 7 Lift Coefficient of Airfoils

3. 결 론

본 논문은 수직형 풍력터빈 익형의 동특성 분석을 위한 것으로 익형의 동특성의 원인과 특성을 고찰하였다. 동특성의 원인은 익형 주위의 상대속도와 받음각 변화에 의한 것임을 확인하였고 특정한 회전 속도비에 대해 전산해석을 수행하여 그 결과를 진동하는 익형의 동특성과 비교하였다. 보다 정확한 동특성 분석을 위해서는 다양한 경우에 대해 추가 전산해석을 수행하는 것이 필요하며 유동의 원심력 및 가속이 익형에 미치는 영향에 대한 분석도 추가되어야 한다.

References

[1] Hong, K. D., "*Wind Turbine Design with Emphasis on Darriues Concept",* Polytechnic International Press

[2] Cho, T. W. & Chang, B.H., "KARI LSWT Wind Tunnel of a Standard Wind Turbine", KSNRE, 2007.12

[3] Hand, M.M., Simms, D.A., Figersh, L.J., Jager, D.W., Cotrell, J.R., Schreck, S., & Larwood, S.M., "Unsteady Aerodynamics Experiment Phase VI : Wind Tunnel Test Configurations and Available Data Campaigns", NREL/TP-500-29955

[4] Lindenburg, C., "Modeling of rotational augmentation based on engineering considerations and measurements", 2004 ECN-RX-04-131