

유체-고체 연성해석을 통한 스파이럴형 풍력 블레이드 건전성 평가

Evaluation on the spiral type wind turbine blade for estimation of mechanical integrity using fluid-structure interaction

*이주철¹, 박희진¹, 지호성², 김경천², #박상후²

*J. C. Lee¹, H. J. Park¹, H. S. Ji², K. C. Kim², #S. H. Park (sanghu@pusan.ac.kr)²

¹부산대학교 기계공학부 대학원, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Spiral wind power generation, Mechanical integrity, Fluid structure interaction

1. 서론

스파이럴형 풍력발전 시스템은 항력과 양력을 모두 이용함으로써 바람에 의한 공력성능을 극대화할 수 있는 풍력발전 시스템으로서 아르키메데스 수차에 착안하여 고안된 신개념 풍력발전 시스템이라 할 수 있다.⁽¹⁻²⁾ 본 연구 대상인 스파이럴형 풍력발전 시스템은 기존의 시스템과 달리 3 개의 FRP 재질의 블레이드가 회전축에 대해 서로 120°의 간격을 가지면서 나선형으로 연결되어 있는 시스템으로 안전성 검토에 대한 선행 연구가 없으므로 블레이드 및 샤프트(Shaft)의 건전성 평가에 대한 기준을 해석적 기법으로 제시하고자 한다.

2. 각속도에 따른 블레이드의 유체-고체 연성해석

스파이럴형 풍력 블레이드에 대하여 유체-고체 연성해석 (Fluid-Structure interaction, FSI)을 통하여 각속도 (Angular Velocity)에 따른 블레이드의 건전성을 분석하였다. 해석 조건으로 블레이드 (FRP, 두께 3 mm), 샤프트 (Sus304, 지름 20 mm)으로 하였으며, 해석 경계조건으로 입구 쪽 외기는 풍력발전의 적정조건인 12.5 m/s 속도로 연속적으로 외부에서 유입 되는 것으로 가정하였다. 해석 결과 블레이드의 각속도가 72 rad/s 까지 점차적으로 높아질수록 변형량 및 응력이 감소하였다. Fig. 1 과 같이 각속도가 10 rad/s 인 경우 블레이드의 최대 변형량이 47.5 mm 로 분포가 되었으나, 72 rad/s 인 경우에는 블레이드의 최대 변형량이

9.9 mm 로 결과가 나타났다. 응력의 경우에도 마찬가지로 Fig. 2 와 같이 각속도가 높아질 수 있도록 응력이 약간씩 줄어들음을 알 수 있다. FRP의 인장항복강도가 140 MPa 이며, 10 rad/s 일 때의 응력 77.08 MPa, 72 rad/s 일 때의 응력이 6.84 MPa 로 분포, 해석적으로 FRP 블레이드의 건전성이 검증되었다고 할 수 있으며, 블레이드의 각속도는 72 rad/s 를 유지 하도록 시스템의 개발이 요구된다.

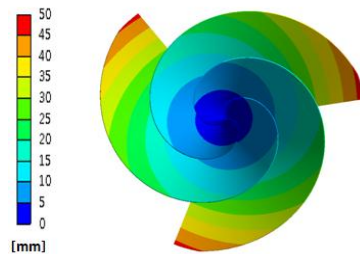


Fig. 1 Total deformation of blade (10 rad/s)

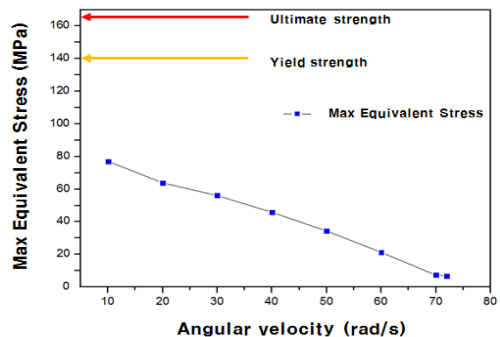


Fig. 2 Equivalent Stress of blade

3. 블레이드 샤프트의 건전성 평가

스파이럴형 블레이드 샤프트 설계의 안전 기준치를 적용하기 위하여 축의 강성 설계 중 최대 처짐각이 0.001 rad 이하가 되도록 제한하게 되면 축의 길이가 1170 mm 일 때 처짐율이 0.351 mm 이하가 되어야 한다. 또한 SUS304 재료의 항복강도 값 215 MPa 을 안전 등가 응력으로 설정하여 축의 구조설계가 이루어지도록 각 직경에 관하여 구조해석을 하고 비교 분석하였다. 20, 25, 30, 40 mm 의 중공축 직경을 해석하여 나온 값들을 분석하여 처짐율이 안전 기준치 안으로 드는 직경 크기를 선정하고 이 값의 근사치를 다시 세분화하여 설계 후 구조 해석함으로써 최적의 안전 임계값을 찾도록 구조해석을 수행하였다.

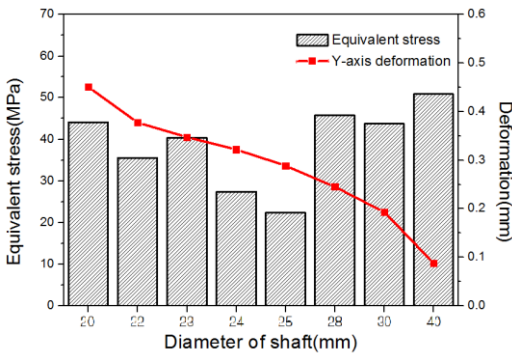


Fig. 3 Equivalent stress and Y-axis deformation according to diameter of SUS304 shaft

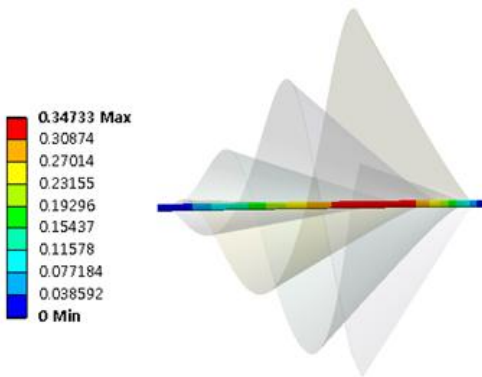


Fig. 4 Analysis result of Both Clamped Columns D-23mm

스파이럴형 블레이드 중공축 직경이 23 mm 인 경우 변형값이 0.347 로 안전 범위 안으로 들고 응력 또한 40 MPa 로 항복 응력보다 작게 됨을 알 수 있다. 23 mm 의 축을 제작할 경우 재료 비용이 가장 적으면서도 변형값이 안전 범위 안으로 들지만, 응력적인 측면에서 본다면 축 직경이 25 mm 일 때 22 MPa 이므로 응력의 최저치가 작용하므로 안전하다고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 신개념 소형풍력 시스템인 스파이럴형 풍력 발전 블레이드의 건전성 평가를 위하여 유체-고체 연성해석을 실시하였다. FRP 블레이드의 두께를 3mm 로 한 경우에 국부적으로 안전성이 검증 되었으며, 블레이드 각속도의 경우에는 72 rad/s 일 때, 구조적 신뢰성을 확인 할 수 있었다. 안전 처짐율을 고려하여 샤프트의 직경에 따른 구조해석을 한 결과, 직경 23 mm 에서 변형률이 최초로 0.347 mm 로 안전 범위에 적용 되었으며 25 mm 일 때 최저 등가 응력으로, 각각의 직경으로 중공축 설계 시 구조적으로 최적화된 설계가 도출될 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 신재생에너지 융합원천 기술 개발 사업(No. 2011 3030020010)에 의해 수행한 연구과제이며, 관련과제 담당자께 감사료를 드립니다.

참고문헌

1. Qian Lu, Qiang Li, Yoon Kee Kim and Kyung Chun Kim, 2012 "A study on design and aerodynamic characteristics of a spiral-type wind turbine blade," Journal of the Korean society of visualization, Vol. 10, No. 1 , pp. 27-33
2. Dalley, S., Oleson, J. P., 2003, "Sennacherib, Archimedes, and the Water Screw: The Context of Invention in the Ancient World," Technology and Culture Vol.44 (1).