

수직축 풍력발전기 블레이드의 구조 및 진동 특성평가 Evaluation of Structural and vibrational properties of vertical axis wind turbine blade

*오진오¹, 이승준¹, #윤성호¹, 최홍렬², 김영익²

*J. O. Oh¹, S. J. Lee¹, #S. H. Yoon(shyoon@kumoh.ac.kr)¹, H. R. Choi², Y. I. Kim²

¹금오공과대학교 기계공학과, ²(주)에이엠아이

Key words : Vertical axis wind turbine blade, Composite, Natural frequency

1. 서론

풍력발전은 바람이 가지는 운동에너지를 전기 에너지로 변환하는 방식으로 로터블레이드와 회전축의 형상에 의해 수직축 발전기와 수평축 발전기로 구분된다. 특히 수직축 발전기는 바람의 방향에 무관하고 약한 풍속에서도 발전이 가능할 뿐 아니라 로터 회전속도가 상대적으로 낮아 높은 정밀도를 요구하지 않고도 효율적으로 소형급 풍력발전기에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이때 소형급 풍력발전기는 회전자 직경을 기준으로 10m 이내이거나 생산전력이 100KW 미만인 경우를 칭한다. 최근에는 터빈의 고효율화, 설치/운반의 용이성 등이 소형 풍력발전기를 개발하는 경우 고려되어야 할 주요 인자로서 풍력발전기의 경량화를 위해 복합재 로터블레이드의 개발이 진행되고 있다[1].

본 연구에서는 탄소섬유직물과 유리섬유직물을 교차 적층하여 제작한 복합재 로터블레이드를 대상으로 구조특성 및 진동특성을 평가하였다. 이를 위해 풍력발전기에 적용되는 로터블레이드를 제작하고 하중시험기를 이용하여 자중과 강한 풍속으로 인해 큰 부하가 예상되는 블레이드와 암의 연결부에서의 작용하중에 대한 변형률 분포를 조사하였으며 충격해머를 이용하여 로터블레이드의 고유진동수를 측정하였다.

2. 시험 방법

Fig. 1에는 2.5KW 수직축 풍력발전기와 진동특성 평가를 위한 시험장치의 구성도가 나타나 있다. 진동특성 평가를 위해 로터블레이드와 암에 가속도센서(352A10, PCB)를 부착하고 가속도센서 부착부 주위를 충격해머로 가진하였으며 가속도센서를 통해 측정되는 진동신호는 신호분석기

(Di-2200, DI)와 자료수집장치를 통해 수집하였다. 이때 로터블레이드의 상부, 중심부, 하부 그리고 암의 상부, 하부 등 총 5지점을 시험대상으로 고려하였으며 각 지점에서 200Hz까지 5회씩 시험한 결과들을 합산하여 5차 고유진동수까지 결정하였다.

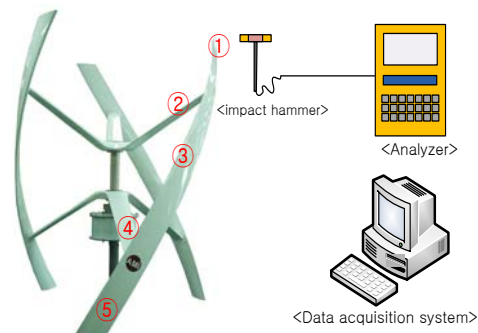


Fig.1 Vibrational testing system of vertical axis wind turbine blade.

Fig. 2에는 수직축 블레이드의 구조특성 평가를 위한 시험장치가 나타나 있다. 구조특성 평가를 위해 대상시편은 수직축 풍력발전기의 로터블레이드와 동일한 생산공정으로 제작하였다. 특히 로터블레이드와 암의 연결부를 중심으로 로터블레이드는 800mm, 암은 450mm로 제작하였다. 암은 시편고정을 위해 두 개의 원공을 가공하여 로드셀에 핀으로 고정하였으며 작용하중으로 원공 부위가 파손되는 것을 방지하기 위해 암의 제작에 적용된 동일한 재료를 이용하여 원공 부위를 보강하였다. 로터블레이드는 두 개의 폴리프로필렌 벨트를 이용하여 암의 중심에서 각각 200mm 떨어진 지점에 고정하고 5mm/min의 변위제어 상태로 하중을 가하였다. 이때 로터블레이드와 암에는 총 5지점에

3축 스트레인게이지(KFG-2-120-D17-11, Kyowa)를 부착하였다. 작용하중에 따른 변형률 변화는 변형률 지시계(P3, Vishay)를 이용하여 자료수집장치에 저장하였다.

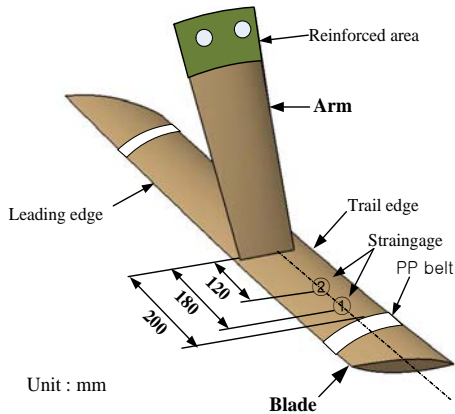


Fig.2 Structural testing system of vertical axis wind turbine blade.

3. 시험결과

Table 1에는 수직축 풍력발전기 로터블레이드의 진동특성 결과가 나타나 있다. 여기에서 보면 로터블레이드에 위치한 지점 1, 지점 3, 지점 5에서의 고유진동수는 측정위치에 무관하게 비교적 일정하게 나타난다. 지점 5에서의 2차 고유진동수는 지점 3에서의 3차 고유진동수와 일치하여 특정한 고유진동수는 측정위치에 따라 감지하기 어려운 경우도 발생한다. 상부 암에 위치한 지점 2에서의 1차 고유진동수는 하부 암에 위치한 지점 4에서의 4차 고유진동수와 일치하여 지점 2의 경우는 지점 4의 경우에 비해 낮은 고유진동수가 측정된다. 따라서 로터블레이드의 진동특성을 평가하기 위해서는 여러 지점에서의 가진결과들이 수집되고 또한 이들 결과들이 종합적으로 분석되어야 한다.

Table 1 Vibration test results of wind turbine blade.

Test point	Natural frequency (Hz)				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Point 1	28.3	32.3	43.8	49.3	52.5
Point 2	83.3	87.8	151.8	156.3	165.8
Point 3	28.3	32.3	39.8	49.3	77.3
Point 4	8.5	28.3	43.8	83.3	87.8
Point 5	28.3	39.8	43.8	49.3	151.8

Table 2에는 수직축 블레이드의 구조특성 평가를 통해 얻은 120mm와 180mm 지점의 주변형률과 주변형률 방향이 나타나 있다. 여기에서 보면 120mm 지점에서의 주변형률은 로터블레이드 단면에 형성된 굽힘모멘트가 낮을 뿐 아니라 로터블레이드와 암의 연결을 위해 암 중심에서 150mm 지점까지 블레이드 내부에 충전된 우레탄 폼으로 암 주위의 변형이 제한되어 180mm 지점에서의 경우보다 낮다. 또한 블레이드는 초기 형상이 완만한 곡률을 이루고 있기 때문에 하중 초기에는 주변형률 방향이 블레이드의 중심축과 10° 정도의 차이를 나타내지만 작용하중이 점차 증가하여 블레이드에서의 변형이 커지면 주변형률 방향도 점차 중심축에 가까워진다.

Table 2 Result of structural test of wind turbine blade.

Load (N)	Principal strain and direction					
	120mm			180mm		
	ϵ_{p1}	ϵ_{p2}	θ_p	ϵ_{p1}	ϵ_{p2}	θ_p
3000	174	-68	11.1	194	-45	9.2
6000	312	-115	10.7	367	-91	7.2
9000	439	-158	10.4	526	-138	5.7
12000	576	-207	9.9	681	-189	4.1
15000	700	-252	9.0	824	-249	1.6

unit : $\mu\epsilon$

4. 결론

본 연구에 적용된 2.5KW급 수직축 풍력발전기 블레이드의 진동특성을 정량적으로 평가하기 위해서는 측정위치를 달리한 가진시험 결과들을 종합적으로 분석하여야 할 필요가 있다. 또한 비교적 낮은 하중이 초기 곡률을 가진 로터블레이드에 작용되면 주변형률 방향은 로터블레이드의 중심축과 10° 정도의 차이를 갖지만 작용하중이 점차 증가하여 로터블레이드의 변형이 커지면 주변형률 방향은 점차 중심축에 가까워짐을 알 수 있다.

후기

본 연구는 중소기업청 기술혁신개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 이상무, "풍력발전기의 개발 동향 및 경제성," 한국정밀공학회지, Vol. 4, No. 2, pp.126~133, 2000.