한국소음진동공학회 2014년 춘계학술대회논문집, pp. 396~397

초기 비틀림각과 장착각의 영향 및 복합재료 물성을 고려한 회전 외팔보의 굽힘진동

Bending vibration of rotating cantilever beam considering the composite material properties and the effect of pre-twisted and setting angle

유홍희† · 오유택*
Hong Hee Yoo and Yutaek Oh

1. 서 론

터빈 블레이드나 헬리콥터 날개와 같은 구조물은 회전 운동을 하는 외팔보의 형태를 가진다. 특히 이러한 구조물들은 고속 회전에 의한 유동이나 대기중의 풍력에 의해서 공력의 영향을 받기 때문에 성능 및 내구성 측면에서 회전 반경에 대해 기울어진 채로 장착되거나 비틀림을 갖는 형태로 제작된다. 게다가 가스 터빈과 같이 고온의 환경에서 작동하거나 풍력 터빈처럼 대형 구조물인 경우 온도에 대한 내구성 확보 및 제작 비용 절감 등의 이유로 블레이드를 복합재로 제작하게 된다. 이러한 복잡한 형상과 불균일한 재료 물성은 회전 운동을 하는 외팔보의 진동 특성을 변화시키게 되는데, 이를 예측하기 위해 많은 연구가 이루어져 왔다.

회전 운동을 하는 외팔보의 경우 원심력의 효과 때문에 강성이 변하게 되는데 이러한 효과를 효율적으로 반영하기 위해 복합변형변수를 이용한 해석 방법이 제안되었다[1]. 이 후 이 방법을 이용해서 빔의 진동 특성에 영향을 미치는 다양한 인자들을 고려한 연구가 진행되었는데, 그 중 Lee[2]는 블레이드 단면 테이퍼, 초기 비틀림각, 장착각 등 복잡한 형상에 의한 영향을 고려하였고, Lee[3] 는 경사기능재료를 이용하여 블레이드의 두께 방향으로 변하는 재료 물성을 고려하였다. 하지만 기존의 연구[2]에서 제안한 초기 비틀림각을 갖는 모델의 경우 방법상 한계로 인해 복합재료 물성을 동시에 적용하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 복합재료로 구성된 회전 외팔보에서 초기 비틀림각에 의한 단면 비틀림과 그로 인한 복합재료물성의 방향 변화를 동시에 고려할 수 있는 새로운 모델을 제안하였다. 그리고 제안한 모델을 이용하여 비틀림각, 장착각 그리고 재료물성인자의 변화에 따른 굽힘 고유진동수를 계산하였다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr
Tel : +82-2-2220-0446 , Fax : +82-2-2293-5070
* 정회원, 한양대학교 대학원 기계공학과

2. 모델링 및 진동해석

2.1 모델링

본 논문에서는 복합재료물성에 의한 영향을 효율적으로 반영하기 위해 두께 방향으로 재료 물성이 연속적으로 변화하는 경사기능재료를 사용하였다. 사용된 금속재료의 물성은 Table 1에 나타나 있다.

또한 진동해석을 위한 운동방정식은 Kane의 방법을 이용하여 아래와 같이 유도되었다.

$$F_i + F_i^* = -\frac{\partial U}{\partial q_i} - \int_0^L \rho_f^*(\eta)\left(\frac{\partial \vec{v}^P}{\partial \dot{q}_i}\right)\cdot\left(\frac{d\vec{v}^P}{dt}\right)\mathrm{d}x = 0$$

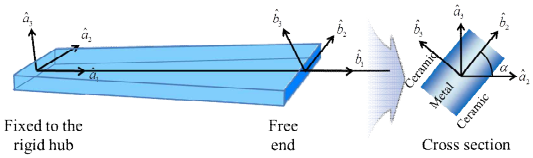

Figure 2 Configuration of the pre-twisted blade and cross section at the fixed end

Table 1 Metal and Ceramic property

	Modulus of elasticity (E)	Density (ρ)
Metal	70 GPa	2702 kg/m^3
Ceramic	380 GPa	3960 kg/m^3

여기서, U 는 초기 비틀림각과 재료물성을 고려한 변형에너지로 그 중 면외 굽힘 진동에 관한 성분만을 나타낸 식이 다음과 같다.

$$U_3 = \frac{1}{2}\int_0^L \left(s_1^2 Y_2 Z_0 + c_1^2 Y_0 Z_2 + 2 s_1 c_1 Y_1 Z_1\right)\left(\frac{\mathrm{d}^2 w}{\mathrm{d}x^2}\right)^2 \mathrm{d}x$$

초기 비틀림에 관한 변수가 s_1 과 c_1 이고 재료 물성에 관한 변수가 Y_n 과 Z_n 이다. 위의 운동방정식의 검증은 상용프로그램인 ANSYS를 통해 수행하였다.

2.2 진동해석

유도된 운동방정식을 통해 질량 행렬 및 강성 행렬을 얻어낸 후 굽힘진동 해석을 수행하였으며, 그 중 비틀림 각도를 증가시킴에 따라 면외 및 면내 방향 1,2차 고유진동수가 변하는 양상이 Fig. 2에 나타나있다. 단면의 폭에 비해 두께가 얇기 때문에 면내 방향 고유진동수가 면외 방향 고유진동수보다 큰 것을 확인할 수 있으며, 비틀림 각도가 증가함에 따라 면외 방향 고유진동수는 증가하는 반면 면내 방향 고유진동수는 감소하는 결과를 관찰할 수 있었다. 이는 초기 비틀림에 의해 두께와 폭의 차이가 상쇄되기 때문으로 파악된다.

3. 결 론

본 논문에서는 초기 비틀림각과 장착각을 갖는 경사기능재 회전 외팔보의 굽힘 진동을 해석하기 위한 모델링 방법을 제안하였고, 이를 이용하여 진동해석 결과를 얻어냈다. 상용프로그램 ANSYS를 이용하여 새롭게 개발한 모델인 비틀림각을 갖는 복합재료 외팔보 모델을 검증하였다. 제안된 모델을 이용할 경우 단면의 비틀림에 따른 재료물성의 방향 변화를 효율적으로 반영할 수 있는 장점이 있다. 이를 통하여 비틀림각, 장착각 그리고 재료물성인자의 변화에 따른 고유진동수를 계산하였다.

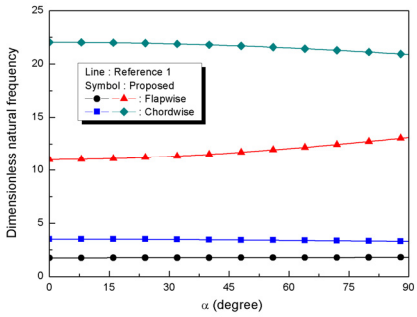

Figure 2 The lowest four natural frequencies variation versus pre-twisted angle

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2011T100200116).

참고문헌

(1) Yoo, H.H., Ryan, R.R. and Scott, R.A., 1995, Dynamics of Flexible Beams Undergoing Overall Motions, Journal of Sound and Vibration 181(2), pp. 261~278.

(2) Lee, J.H. and Yoo, H.H., 2010, Vibration Analysis of Rotating Blades with the Cross Section Taper Considering the Pre-twist Angle and the Setting Angle, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 20, No. 1, pp. 10~21.

(3) Lee, K.B. and Yoo, H.H., 2013, Free Vibration Analysis of a Rotating Cantilever Beam Made-up of Functionally Graded Materials, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 23, No. 8, pp. 742~751.