

회전하는 패킷 블레이드 시스템의 진동 국부화

Vibration localization of the rotating packet blade system

권승민† · 유흥희*

Seung Min Kwon, Hong Hee Yoo

1. 서론

터빈 블레이드나 헬리콥터 블레이드, 그리고 항공기나 선박의 프로펠러 등의 구조물에서 각 부구조물간에 존재하는 물성치의 차이는 일반적으로 균일한 구조로 해석하기 쉽다. 그러나 실제 구조물에서는 가공오차나 마모, 결함 등에 의한 물성치의 차이가 존재하며, 이러한 작은 물성치의 차이로도 동적 반응에 커다란 차이를 보일 수 있다. 이는 특정 구조물에 진동에너지가 집중되어 예기치 않게 파괴가 발생할 수 있으므로 구조물의 설계 시 이러한 영향을 고려하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 물성치의 차이를 갖는 회전하는 패킷 블레이드 시스템에서의 진동 국부화 현상에 대해 연구하였다. 주기적 구조물에 있어서 존재하는 작은 물성치의 차이는 진동을 국부화 시켜 구조물에 더 큰 변형과 응력을 일으킬 수 있으므로 이러한 현상을 효율적으로 예측하고 구하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 진동 국부화 현상을 규명하기 위하여 회전하는 패킷 블레이드 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 블레이드의 길이와 물성치 차이, 블레이드간의 연성 정도에 따른 최대응답의 변화를 조사하였다.

2. 운동방정식

2.1 운동방정식 유도

Fig.1 은 다중 블레이드 시스템의 형상이며 탄성 변위들의 의미와 기준 좌표계를 나타내고 있다. $\vec{u}^{<n>}$ 는 n 번째 블레이드의 탄성변위를, $s^{<n>}$ 는 임의 질점의 위치에서 블레이드가 인장된 길이를 각각 나타낸다. 모드방법을 이용해 상미분 운동방정식을 유도하기 위해 $s^{<n>}$ 와 $u_2^{<n>}$ 를 다음과 같이 근사화

한다

$$s^{<n>}(x,t) = \sum_{i=1}^{\mu_1} \phi_{1i}(x) q_{1i}^{<n>}(t) \quad (1)$$

$$u_2^{<n>}(x,t) = \sum_{i=1}^{\mu_2} \phi_{2i}(x) q_{2i}^{<n>}(t) \quad (2)$$

여기서 ϕ_{1i} 와 ϕ_{2i} 는 인장방향과 굽힘방향의 모드 함수들이고, $q_{1i}^{<n>}$ 와 $q_{2i}^{<n>}$ 는 시간의 함수인 일반좌표들이며, μ_1 과 μ_2 는 일반좌표의 수이다. 반경 r 인 강체축 A 가 \vec{a}_3 방향으로 속력 ω_3 로 회전할 때 A 의 각속도와 P 점의 속도는 다음과 같이 구해진다.

$$\vec{\omega}^A = \omega_3 \hat{a}_3 \quad (3)$$

$$\vec{v}^P = [v_1 + \dot{u}_1 - \omega_3 u_2] \hat{a}_1 + [v_2 + \dot{u}_2 + \omega_3(x + u_1)] \hat{a}_2 \quad (4)$$

Kane 의 방법⁽¹²⁾ 따른 운동방정식은 다음과 같다.

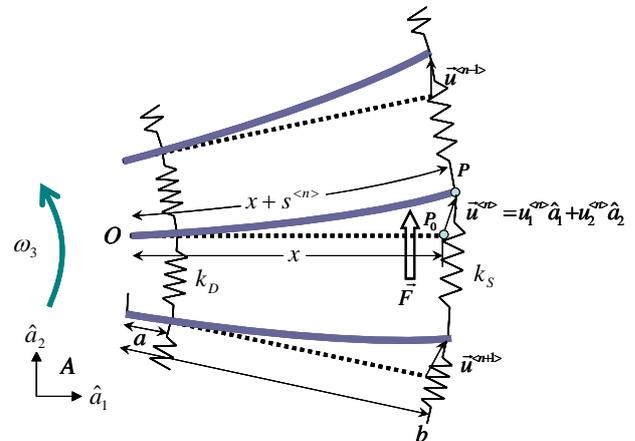


Fig. 1 Configuration of blades system

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr
Tel : (02)2220-0446, Fax : (02) 2293-5070
* 정희원, 한양대학교 기계공학과

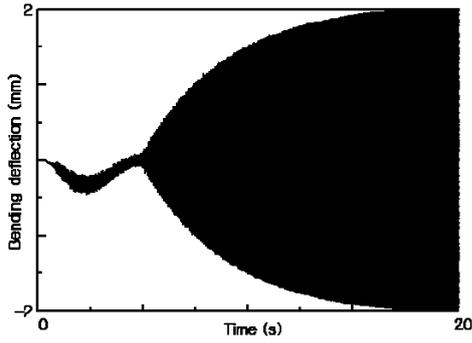


Fig. 2 Bending deflection of the system without mistuned length

$$\int_0^l \rho \left(\frac{\partial \vec{v}^P}{\partial \dot{q}_i} \right) \cdot \frac{d\vec{v}^P}{dt} dx + \frac{\partial U}{\partial q_i} = \vec{F} \cdot \left(\frac{\partial \vec{v}^Q}{\partial \dot{q}_i} \right) \quad (6)$$

노즐로 인해 블레이드에 외부하중 \vec{F} 가 주어졌을 때 회전하는 패킷 블레이드 시스템의 운동방정식은 이상의 과정을 종합하여 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{\mu_2} \left[m_{ij}^{22} \ddot{q}_{2j}^{<n>} + \left\{ k_{ij}^B - (\dot{v}_1 - \omega_3 v_2) k_{ij}^{GA} \right. \right. \\ & \quad + \left. \omega_3^2 k_{ij}^{GB} - \omega_3^2 m_{ij}^{22} \right\} q_{2j}^{<n>} \\ & \quad - k_D \left(k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n-1>} - 2k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n>} + k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n+1>} \right) \\ & \quad - k_S \left(k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n-1>} - 2k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n>} + k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n+1>} \right) \Big] \\ & \quad + \sum_{j=1}^{\mu_1} \left[2\omega_3 m_{ij}^{21} \dot{q}_{1j}^{<n>} + \dot{\omega}_3 \sum_{j=1}^{\mu_1} m_{ij}^{21} q_{1j}^{<n>} \right] \quad (8) \\ & = -(\dot{v}_2 + \omega_3 v_1) P_{2i} - \dot{\omega}_3 Q_{2i} + \phi_{2i}(b) \vec{F} \\ & \quad (i = 1, 2, \dots, \mu_2) \end{aligned}$$

3. 수치해석

30 개의 블레이드 길이를 평균이 0.25m 이고 0.01%, 0.05%의 표준편차를 갖게 설계하여 앞 절에서 유도된 운동방정식에 대입하여 수치해석을 수행하였다. 식(8)을 가지고 회전하는 다중 패킷 블레이드, 6 개 블레이드로 구성된 5 개의 패킷시스템, 총 30 개 블레이드로 구성된 시스템에 대해 굽힘 방향 변위를 구하였다. 일반적인 블레이드 시스템의 운전 속도인 60Hz 근방에서 수치해석을 수행하였다. Fig. 2 는 mistuning 된 블레이드가 포함되지 않은 시스템의 굽힘방향 변위이다. Fig.3 와 Fig.4 는 패킷에 블

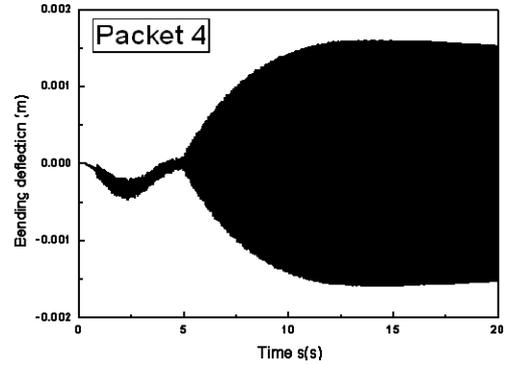


Fig. 3 Bending deflection of the system ($\sigma = 0.01\%$)

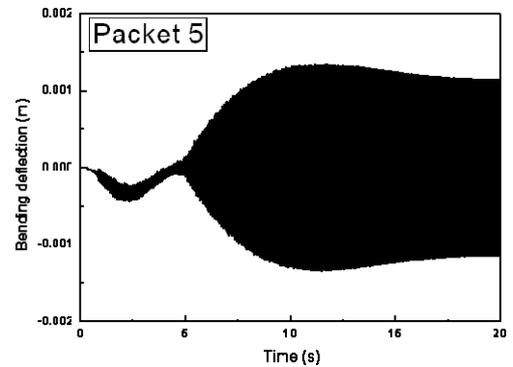


Fig. 4 Bending deflection of the system ($\sigma = 0.05\%$)

레이드의 평균 길이가 $m_l = 0.25$ m 이고 표준편차가 각각 $\sigma = 0.01\%$ 와 $\sigma = 0.05\%$ 일 때의 굽힘방향 변위이다.

4. 결론

본 연구에서는 조화외력을 받는 주기적 구조물의 진동 국부화 현상에 대해 연구하였다. 연성된 부구조물의 개수가 많을수록 특정 부구조물에 더 큰 동적응답이 일어날 수 있으며, 이 경우 물성치의 차이와 구조물 연성과의 관계에 의해 동적응답이 결정된다는 사실도 알 수 있었다. 수치해석 결과를 통해 주기적 구조물에 있어서 작은 물성치의 차이는 구조물의 동적응답에 큰 영향을 끼칠 수 있기 때문에 진동 국부화 현상은 중요한 문제로 부각될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 회전하는 패킷 블레이드 시스템에 대해 해석을 수행하여 유연보 모델링을 통해 이상의 결과들을 확인할 수 있었으며 앞으로의 연구를 위한 주기적 구조물의 효율적인 모델링을 제시하였다고 할 수 있다.