한국소음진동공학회 2012년 춘계학술대회논문집, pp.680~681

Mistuned 된 블레이드를 포함한 회전하는 멀티 패킷 블레이드 시스템의 과도해석

Transient Analysis of a Rotating Multi-packet Blade System having a Mistuned Blade

권승민* · 유홍희†

Seung Min Kwon, Hong Hee Yoo

1. 서 론

주기적인 회전 운동을 하는 시스템은 터빈 블레이드, 항공기 회전익, 터보엔진의 팬 등 여러 공학적 구조물들에서 발견 될 수 있다. 이러한 주기적인 회전 운동을 하는 구조물들은 기준 축을 중심으로 외팔 보 형태의 블레이드들로 구성되어 있으며 기준 축의 디스크 혹은 블레이드를 연결하고 있는 쉬라우드의 강성으로 인하여 인접한 블레이드간에 연성효과를 갖게 된다. 여러 개의 블레이드들로 구성된 시스템에 대해 해석하거나 실험을 수행하는 경우 모든 블레이드들의 물성치를 균일하다고 가정한다. 그러나 실제 구조물에서는 시스템 공정과정에서 가공오차나 작동 시에 생길 수 있는 마모, 결함, 또는 주변 환경의 영향 등에 의해 시스템을 구성하고 있는 블레이드 간에 물성치 차이가 발생 할 수 있다. 블레이드 간 작은 물성치 차이로 인해 시스템의 동적 반응은 균일한 시스템에 비해 큰 차이를 보일 수 있다. 이는 블레이드 간의 작은 물성치 차이로 인해 특정 구조물에 진동에너지가 집중되어 동적응답이 크게 나타나 예기치 않은 파괴가 발생할 수 있다. 이러한 현상을 진동 국부화라 한다. 이러한 예기치 않은 현상을 방지 하기 위해서 구조물의 설계 시 블레이드 간의 물성치 차이에 의한 영향을 반드시 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 mistuned 된 블레이드를 포함하고 있는 시스템의 과도해석을 수행하여 시스템의 정상상태 응답뿐 아니라 과도상태에서의 응답이 어떻게 변화하는지에 대해 연구 하였다.

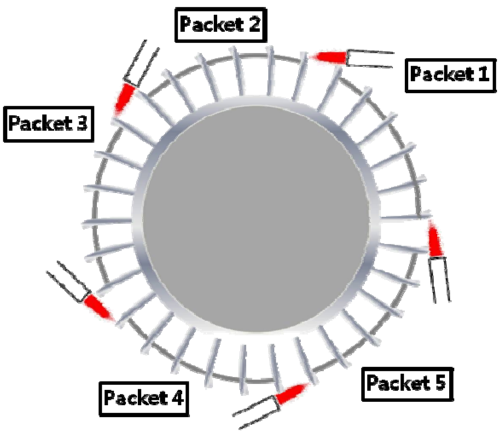


Fig. 1 Multi-packet blade system undergoing nozzle excitation forces

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : hhyoo57@gmail.com
Tel : (02)2220-0446, Fax : (02)2293-5070
* 한양대학교 대학원 기계공학과

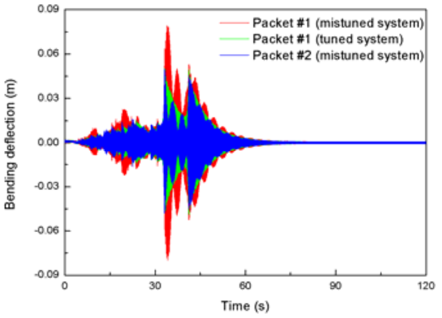
2. 운동방정식

Fig.1은 노즐의 가진을 받는 멀티 패킷 블레이드 시스템을 나타낸 형상이다. 디스크의 각속도와 k번째 블레이드 위의 임의의 점에서의 속도는 다음과 같다.

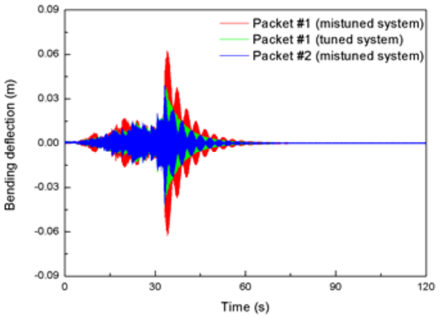
$$\vec{\omega}^{D} = \Omega \hat{d}_3^{<k>} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}\vec{v}^{P^{<k>}} &= \left[\dot{u}_1^{<k>} - \Omega u_2^{<k>}\right]\hat{d}_1^{<k>} \\ &\quad + \left[r\Omega + \dot{u}_2^{<k>} + \Omega(x + u_1^{<k>})\right]\hat{d}_2^{<k>}\end{aligned} \tag{2}$$

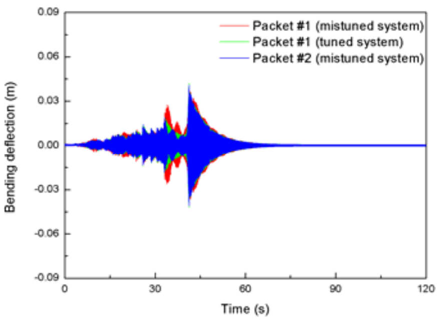
Kane의 방법에 의해 블레이드 임의의 점에서의 속도와 가속도, 시스템이 갖고 있는 탄성에너지를 다음의 식에 적용하여 운동 방정식을 구한다.



(a) The 1st blade in the packet



(b) The 2nd blade in the packet



(c) The 3rd blade in the packet

Fig. 1 Transient responses of blades during spin-up motion

$$\int_0^L \rho \left(\frac{\partial \vec{v}^{P<k>}}{\partial \dot{q}_i^{<k>}}\right)\cdot\left(\frac{d\vec{v}^{P<k>}}{dt}\right)dx + \frac{\partial U^{<k>}}{\partial q_i^{<k>}} = \int_0^L \left(\frac{\partial \vec{v}^{P<k>}}{\partial \dot{q}_i^{<k>}}\right)\cdot \vec{f}^{<k>}dx \quad (3)$$

U 는 보의 총 탄성 에너지이며 q_i 는 일반좌표를 나타낸다. 이상의 과정을 종합하여 노즐가진을 받는 회전하는 멀티 패킷 블레이드 시스템의 운동방정식은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{\mu_2}\left[m_{ij}^{22}\ddot{q}_{2j}^{<k>} + \beta k_{ij}^{B}\dot{q}_{2j}^{<k>} + \left\{k_{ij}^{B} + \Omega^2\left(k_{ij}^{G} - m_{ij}^{22}\right)\right\}q_{2j}^{<k>}\right] \\
&+\sum_{j=1}^{\mu_1}\left[2\Omega m_{ij}^{21}\dot{q}_{1j}^{<k>} + \dot{\Omega} m_{ij}^{21} q_{1j}^{<k>}\right] \\
&+k_{ij}^{D}\left(-q_{2j}^{<k-1>} + 2q_{2j}^{<k>} - q_{2j}^{<k+1>}\right) \\
&+k_{ij}^{SM}\left(-q_{2j}^{<k-1>} + q_{2j}^{<k>}\right) + k_{ij}^{SP}\left(q_{2j}^{<k>} - q_{2j}^{<k+1>}\right) \\
&= -r\dot{\Omega}P_{2i} - \dot{\Omega}Q_{2i} + F_{2i}f_0 \\
&(i = 1, 2, ..., \mu_2)
\end{aligned} \quad (4)$$

3. 수치 해석

앞에서 유도된 운동 방정식을 이용하여 첫 번째 패킷의 첫 번째 블레이드의 길이가 0.6%짧은 시스템의 과도해석을 수행해 보았다. 시스템의 회전속도는 다음과 같이 변한다.

$$\Omega(t) = \begin{cases} \dfrac{\Omega_s}{T_s}\left[t - \dfrac{T_s}{2\pi}\sin\dfrac{2\pi t}{T_s}\right] & if\ \ 0 \le t \le T_s \\ \Omega_s & if\ \ t > T_s \end{cases} \quad (4)$$

여기서 T_s는 spin-up time으로 60초 이고 Ω_s는 60Hz이다. Fig.2 에서 알 수 있듯이 mistuned된 블레이드가 포함된 패킷의 블레이드들에 진동이 집중되어 과도상태에서의 응답이 급격히 커지는 것을 확인 할 수 있다. 그에 반해 60초 이후의 정상상태에서의 응답은 tuned된 시스템과 mistuned된 시스템이 큰 차이를 보이지 않는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

멀티 패킷 블레이드 시스템에 mistuned된 블레이드 포함하게 되면 과도상태에서 진동 국부화 현상이 심하게 일어날 수 있다.

후 기

이 논문은 2012년도 2단계 두뇌한국 21사업에 의하여 지원 되었음.