한국소음진동공학회 2014년 춘계학술대회논문집, pp. 684~685

멀티 패킷 블레이드 시스템의 Modal Stability 해석
Modal Stability Analysis of a Rotating Multi-packet Blade System

권승민* · 유홍희†
Seung Min Kwon, Hong Hee Yoo

1. 서 론

주기적인 순환구조물은 터빈 블레이드, 항공기 회전익, 터보엔진의 팬 등 여러 공학적 구조물들에서 발견 될 수 있다. 이러한 주기적인 순환 구조물들은 기준 축을 중심으로 cantilever beam 형태의 블레이드들로 구성되어 있으며 기준 축의 디스크 혹은 블레이드를 연결하고 있는 쉬라우드의 강성으로 인하여 블레이드와 블레이드간에 연성효과를 갖게 된다. 다중 블레이드로 구성된 시스템에 대해 해석하거나 실험을 수행하는 경우 모든 블레이드들의 물성치를 동일하다고 가정한다. 그러나 실제 구조물에서는 시스템 공정과정에서 가공에 의한 오차나 운행 시에 생길 수 있는 마모, 크랙, 또는 주위 환경의 영향 등에 의해 시스템을 구성하고 있는 블레이드 간에 물성치 차이가 항상 발생 한다. 블레이드간 작은 물성치 차이로 인해 시스템의 동적 응답은 균일한 시스템에 비교해 큰 차이를 보일 수 있다. 이것은 블레이드 간의 작은 물성치 차이로 인해 특정 블레이드에 에너지가 집중되어 동적 응답이 크게 나타나 예기치 않은 파손이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 흔히 진동 국부화라 한다. 이러한 예기치 않은 파손을 미연에 방지 하기 위해서 시스템의 설계 시 블레이드 간 물성치 차이에 의한 영향을 반드시 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 random mistuning 을 고려한 시스템의 과도해석을 수행하여 시스템의 정상상태 응답뿐 아니라 과도상태에서의 응답이 어떻게 변화하는지에 대해 연구하였다.

2. 운동방정식

Fig.1은 다중 패킷 블레이드 시스템을 나타낸 그림이다. 디스크의 각속도와 n번째 블레이드 위의 임의의 점에서의 속도는 다음과 같다.

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

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

Kane’s method에 의해 블레이드 임의의 점에서의 속도와 가속도, 시스템이 갖고 있는 탄성에너지를 아래 식에 적용하여 운동 방정식을 구한다.

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

U 는 보의 탄성 에너지이며 q_i 는 일반좌표를 나타낸다. 위의 과정을 종합하여 노즐 가진력을 받는 회전하는 멀티 패킷 블레이드 시스템의 운동방정식은 아래와 같이 유도될 수 있다.

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

---

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

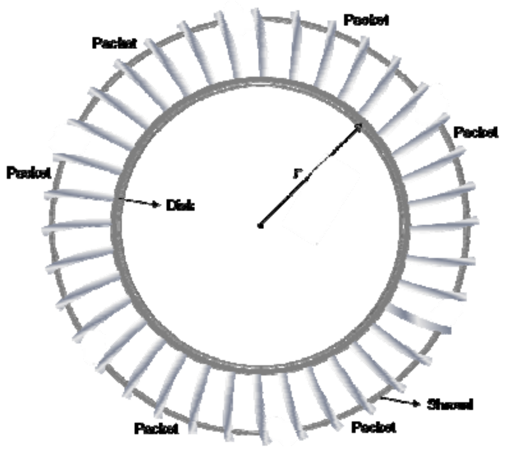

Fig. 1 A multi-packet Blade System

3. 수치 해석

앞장에서 유도한 운동 방정식을 사용하여 random mistuning된 시스템의 과도해석을 수행해 보았다. 시스템의 회전속도는 다음과 같이 변한다.

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

여기서 T_s는 spin-up time으로 60초 이고 Ω_s는 60Hz이다. Fig.2 에서 알 수 있듯이 5개의 노즐로 인해 가진 되는 시스템에 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 random mistuning이 되면 과도상태에서 진동 국부화 현상이 심하게 일어날 수 있다.

후 기

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