

패킷 수에 따른 회전하는 멀티 패킷 블레이드 시스템의 진동 및 과도해석

Modal and Transient Analysis of a Rotating Multi-packet Blade System considering the Number of Packets

권승민* · 유흥희†

Seung Min Kwon, Hong Hee Yoo

1. 서 론

터빈 블레이드는 회전운동을 하는 주기적 순환 구조물의 전형적인 예이다. 여러 개의 외팔 보 형태의 블레이드들로 구성되어 있으며 기준 축과 쉬라우드의 강성으로 인하여 인접한 블레이드에 서로 영향을 미치게 된다. 이러한 영향으로 인하여 단일 블레이드에서 예측할 수 없었던 고유 진동수와 모드형상이 나타나게 된다. 따라서 이러한 멀티 블레이드 시스템의 적절한 설계를 위해선 그 동적 특성을 정확히 예측할 수 있는 해석 방법이 요구된다. 가진력을 받는 멀티 블레이드 시스템의 회전 운동과 관련해 현재까지 알려진 중요한 사항들 중 하나는 공진에 대한 내용이다. 이는 시스템의 고유진동수와 가진 주파수 그리고 각각의 모드형상과 가진 형상이 일치하게 되는 경우를 의미하는데, 이 경우 가진력에 의해서 시스템에 큰 변형이 발생할 수 있다. 이러한 경우는 각각의 모드형상이 각 모드에 해당하는 성분만을 가지고 있기 때문에 일어나는 현상이다. 하지만 멀티 패킷 블레이드 시스템 같은 경우 각각의 모드형상이 해당 모드의 성분만을 가지고 있는 것이 아니라 패킷의 수에 따라 각 모드에 다른 모드의 성분들을 같이 포함하고 있게 된다. 따라서 고유진동수와 가진 주파수만 일치하고 가진 형상이 해당 모드의 형상과 일치하지 않더라도 그 안에 포함된 다른 모드 성분의 형상과 일치 할 수 있기 때문에 공진이 발생할 수 있게 된다. 따라서 멀티 패킷 블레이드 시스템에서 공진 주파수를 구하

기 위해서는 각 모드에 해당하는 성분 이외에 어떤 모드의 성분들이 포함되어 있는지 알아야 한다. 이러한 공진을 예측하기 위해 고유진동수와 가진 주파수 그리고 각각의 모드형상과 가진 형상의 일치 여부를 확인할 수 있는 SAFE Diagram 을 사용해 왔지만 이 Diagram 은 3 차원으로 구성되어 일반 엔지니어들이 쉽게 이해하고 사용하기에는 어려움이 따를 뿐 아니라 각 모드가 다른 어떤 모드의 성분들을 포함하고 있는지 알 수 없어 멀티 패킷 블레이드 시스템의 공진 점을 정확히 예측하기 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 블레이드를 외팔 보로, 디스크 및 쉬라우드의 연성효과를 스프링으로 가정하여 멀티 패킷 블레이드 시스템의 운동방정식을 유도하고, 시스템에서 패킷 수에 따른 공진 주파수를 쉽게 파악할 수 있는 방법을 제시하며 제안된 방법을 과도해석을 통해 검증 하였다. 이때 가진의 주된 요인이 되는 노즐 분사력은 노즐의 개수와 블레이드 시스템의 회전각속도의 함수로 표현하였다.

2. 운동 방정식

본 장에서는 다중 블레이드 시스템의 운동방정식 유도과정을 소개하기로 한다. Fig.1은 다중 패킷 블레이드 시스템의 형상이다. 블레이드 사이 디스크와 쉬라우드는 연성 스프링 강성을 이용하여 모델링한 것이다. Fig.1에서 보는 것과 같이 패킷과 패킷 사이에는 블레이드 끝 단에 쉬라우드 스프링이 연결되어 있지 않은 것을 볼 수 있다. 운동방정식은 Kane's method에 의해 다음과 같이 구할 수 있다. 여기서 l 과 ρ 는 보의 길이와 보의 단위 길이당 질량을 나타내며 U 는 보의 인장 및 굽힘에 의한 탄성에너지, 연성스프링에 의한 탄성에너지 이다.

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

$$\int_0^l \rho \left(\frac{\partial \bar{v}^p}{\partial q_i} \right) \cdot \frac{d\bar{v}^p}{dt} dx + \frac{\partial U}{\partial q_i} = 0 \quad (1)$$

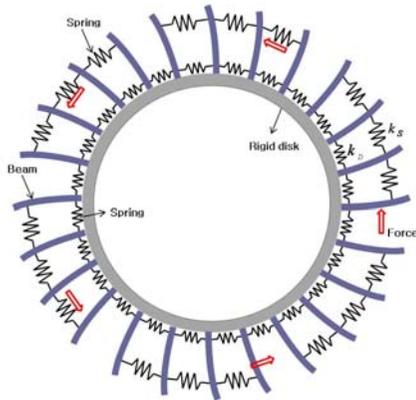


Fig. 1 Idealized multi-packet blade system

시스템의 운동방정식은 이상의 과정을 종합하여 다음과 같이 면내 굽힘 방향 운동방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{\mu_i} \left[m_{ij}^{22} \ddot{q}_{2j}^{<n>} + \left\{ k_{ij}^B - (\dot{v}_1 - \omega_3 v_2) k_{ij}^{GA} + \omega_5^2 k_{ij}^{GB} - \omega_5^2 m_{ij}^{22} \right\} q_{2j}^{<n>} \right. \\ & - k_D \left(k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n-1>} - 2k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n>} + k_{ij}^{CD} q_{2j}^{<n+1>} \right) \\ & \left. - k_S \left(k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n-1>} - 2k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n>} + k_{ij}^{CS} q_{2j}^{<n+1>} \right) \right] \quad (2) \\ & + \sum_{j=1}^{\mu_i} \left[2\omega_3 m_{ij}^{21} \dot{q}_{1j}^{<n>} + \dot{\omega}_3 \sum_{j=1}^{\mu_i} m_{ij}^{21} q_{1j}^{<n>} \right] \\ & = -(\dot{v}_2 + \omega_3 v_1) P_{2i} - \dot{\omega}_3 Q_{2i} \quad (i = 1, 2, \dots, \mu_2) \end{aligned}$$

3. 수치 해석

해석을 위해 6개 블레이드로 구성된 5개의 패킷 시스템, 총 30개 블레이드로 구성된 시스템에 대해 수치해석을 수행하였다. Fig.2는 각 모드에 포함되어 있는 다른 모드들의 성분을 그림으로 나타낸 것이다. Fig.2에서 5 ND에 5 ND 성분 뿐 아니라 5, 10, 15 ND 를 포함하고 있는 것을 알 수 있다. Fig.3는 5개의 노즐로 시스템을 가진 하였을 때의 공진 주파수를 나타낸 것이다. 검은색이 칠해진 점은 해당 주파수의 모드형상과(5 ND) 가진 형상이 일치하는 점들이고 실선으로 표시된 점들은 해당 주파수의 모드에 5 ND 성분이 포함되어 있어 5개의 노즐로 가진 하였을 때 공진을 일으키는 주파수이다. Fig.2에서 20th(10 ND)와 30th(15 ND)모드에 5 ND 성분을 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

Harmonic content number

Mode number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																

Fig. 2 Harmonic contents of the lowest 30 modes

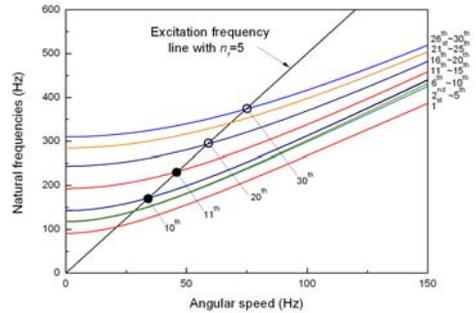


Fig. 3 Lowest 12 mode shapes

4. 결론

본 연구에서는 노즐 가진력을 받는 회전하는 멀티 패킷 블레이드 시스템의 운동방정식을 유도하였다. 멀티 패킷 블레이드 시스템에서는 각각의 모드형상이 해당 모드의 성분만을 가지고 있는 것이 아니라 패킷 수에 따라 다른 모드의 성분들을 같이 포함하고 있게 된다. 따라서 멀티 패킷 블레이드 시스템에서 공진 주파수를 구하기 위해서는 각 모드에 해당하는 성분 이외에 어떤 모드의 성분들이 포함되어 있는지 알아야 한다.

후 기

이 논문은 2011년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원 되었음.