

헬리콥터 무베어링 로터의 동특성 해석

Dynamic Characteristic Analyses of a Bearingless Helicopter Main rotor

윤철용† · 기영중* · 김태주* · 김덕관* · 김승호*

Chul-Yong Yun, Young-Jung Kee, Tae-Joo Kim, Deog-kwan Kim and Seung-Ho Kim

1. 서 론

최근 우리나라는 항공분야에서 수리온등 헬리콥터 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 헬리콥터 주로터는 추력 및 제어력을 발생하는 헬리콥터의 핵심 시스템으로 정지비행, 전진비행등 다양한 운용 환경 및 비행 조건하에서 하중을 받으며 진동 및 불안정성 현상이 발생함으로 많은 해석과 시험을 수행하여 그 성능을 입증하여야 한다. 최근 로터 허브 형태는 설계/제작의 단순성, 정비의 최소화 및 운용유지비 감소등의 이유로 복잡한 관절형 로터에서 차세대 허브인 단순한 무베어링 로터의 형태로 개선되고 있다. 일반적인 주로터의 형태는 플랩힌지, 래그힌지 및 블레이드 피치 제어를 위한 피치베어링이 있는 관절형 로터이다. 하지만, 이러한 관절형 로터는 힌지 및 베어링을 로터에 장착해야 함으로, 설계가 복잡하고 정비등에서 단점을 보였다. 이에 힌지 및 베어링을 제거한 단순한 로터 형태에 대한 연구 및 개발이 수행되고 있다.

Fig. 1는 대표적인 무베어링 로터 형태를 보여주고 있다. 무베어링 로터(Bearingless rotor)는 토션방향에서 소프트하며, 플랩방향 및 래그방향에서 굽힘 하중을 담당하는 플렉스빔(flexbeam)과 피치제어를 위해 플렉스빔을 감싸고 있고 블레이드와 연결되는 형태의 토크튜브(torque tube)을 도입함으로써 부품 수 및 무게 감소, 단순한 형태로 인한 항력의 감소로 성능의 이득을 얻으며, 이로 인해 정비 및 운용 비용을 절감할 수 있다.

본 연구원은 최근 이러한 무베어링 로터 허브시스템 연구 개발에 착수하였다. 본 논문에서는 무베어링 로터 블레이드의 동적 거동 특성에 대해서 기술하였다. 무베어링 로터의 플렉스빔은 주로 복합재로 제작이 되며, 토션 및 굽힘 하중을 받으며 토크튜브와 함께 다중 하중 경로중의 하나이다. 이에 플렉스빔과 토크튜브를 포함하는 무베어링 로터 블레이드에 대해 모델링 하였고, 모달해석을 통해 회전시 고유진동수를 구하였다. 이를 참고문헌[1]의 실험값과 비교하여 해석의 적절성을 확인하였다.

2. 무베어링 로터 모델링

해석모델은 참고문헌[1,2]의 시험 모델을 이용하였고 그 결과를 비교하였다. 참고문헌[1]에서 적용한 로터는 회전직경이 1.8m이며 2개의 블레이드를 가지고 있는 축소 무베어링 로터이다. 플렉스빔의 길이는 회전중심으로 회전반경의 19.7%까지이며, 0.085R(R: 로터 회전 반경)까지는 rigid이고, 이후부터 19.7R까지는 탄성체로 모델링하였다. 토크튜브는 블레이드의 일부로 고려하였고, 블레이드 길이 및 위치는 0.09R~1R까지이다. 0.09R부터 0.265R는 토크튜브로 해석에서는 rigid로 모델링 하였다. 0.265R 이후부터는 탄성 블레이드 모델을 사용하였다. 블레이드와 플렉스빔이 결합되는 지점은 스펜방향으로

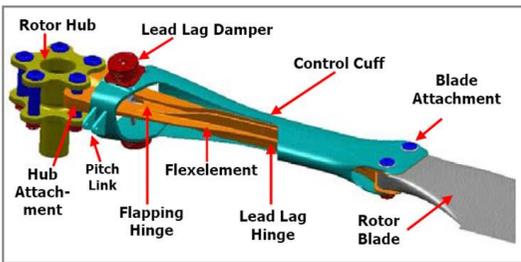


Fig. 1 Bearingless Main Rotor

† 교신저자; 한국항공우주연구원
E-mail : cyyun@kari.re.kr
Tel : 042-860-2288, Fax : 042-870-3590
* 한국항공우주연구원

0.197R 지점으로 하였다. 무베어링 로터의 피치 링크는 leading edge 방향으로 0.041R offset이며, 스펙방향으로는 0.096R에 위치한다. 축소 모델 무베어링 로터의 무게, 플랩방향/래그방향/토션방향 강성등 자세한 물성치는 참고문헌[2]를 참조하였다.

Table 1 Rotor geometric properties

Property	Value
Hub Type	Bearingless
Radius, m	0.902
Blade chord, m	0.0419
Blade airfoil section profile	NACA 23012
Solidity	0.02957
Linear blade twist, deg	0.0
Flexbeam length, m	0.1016
Flexbeam width, m	0.0813
Flexbeam thickness, m	0.0361

3. 해석결과 및 분석

3.1 비회전시 고유진동수

축소 무베어링 로터의 비회전시 고유진동수를 계산하여 측정값과 비교하였다. 비회전시 고유 진동수는 피치링크없이 플렉스빔이 허브와 연결된 경우와 피치링크가 토크튜브와 연결된 경우에 대해 계산하였다.

Table 2 Non-rotating Modal Frequencies

	Without Pitch link		With Pitch link	
	Cal.(Hz)	Mea.(Hz)	Cal.(Hz)	Mea.(Hz)
1 st Flap	4.61	4.69	4.63	4.84
2 nd Flap	25.22	24.81	25.21	-
1 st Lag	10.95	10.94	10.95	10.97
1 st Torsion	19.57	19.73	48.53	39.69

비회전시 무베어링 로터 해석 결과는 비교적 측정값과 잘 일치하였다. 단 피치링크가 장착된 경우의 토션 고유진동수는 측정값과 차이가 있는데, 이는 피치링크 강성값 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

3.2 회전시 고유진동수

축소 로터의 운용회전수는 1,100RPM으로 로터 회전수 증가시 로터의 플랩모드(1차,2차), 래그모드(1차), 토션모드(1차)에 대한 고유진동수를 해석하였다. Fig. 2는 로터 회전수에 대해 로터 고유진동수와 n/rev를 함께 표시한 Fan plot으로 로터의 모드가 회전수와 공진 발생하는 지에 대해 확인할 수 있다. 해석한 로터는 운용회전수에서 고유진동수가 로터 회전수의 정수배에 해당하는 n/rev과 충분히 이격되어 진동 발생 요인이 적다. 운용회전수

에서 해석된 1차 래그 주파수는 0.76/rev로 측정값 0.74/rev과 유사한 결과이다.

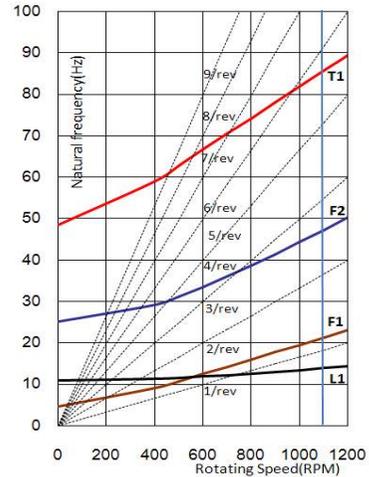


Fig. 2 BMR Fan plot

4. 결론

본 논문에서는 무베어링 로터를 모델링하여 고유모드의 주파수를 해석하였다. 비회전시/회전시 고유진동수는 측정값과 유사하였다. 향후 본 연구에서 해석한 모델은 연구개발되는 무베어링 로터 허브시스템의 동적특성 해석등에 적용될 수 있을 것이다.

후기

본 논문은 지식경제부 무베어링 로터 허브시스템 개발사업의 연구 결과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Seth Dawson, "An Experimental Investigation of the Stability of a Bearingless Model Rotor in Hover," Journal of the American Helicopter Society, Vol. 28, No. 4. Oct. 1983
- (2) Seth Dawson, "A comparison of theory and experiment for the aeroelastic stability of a bearingless model rotor in hover," Integrated Technology Rotor Methodology Assessment Workshop, p 67-80, 1988.