

무베어링 헬리콥터 로터의 공력기계적인 불안정성 특성 해석

Aeromechanical Instability Analysis 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

2. 지상공진 모델링 및 해석

1. 서 론

헬리콥터에서 주로터는 추력 및 제어력을 발생시키는 핵심 시스템으로 최신 로터 허브 형태는 힌지 및 베어링을 제거하여 단순해진 무베어링 로터 형태로 진화되고 있다. 무베어링 로터허브의 부품중 댐퍼는 헬리콥터가 지상공진이 발생하지 않도록 장착하는 것으로 설계시 지상공진 해석을 통해 요구되는 댐핑량을 계산하여야 한다.

헬리콥터에서 지상공진은 지상에서 회전시 발생할 수 있는 동적인 불안정한 현상으로 지상공진이 발생하면 헬기는 순간적으로 대형 사고가 발생한다. 지상공진은 회전하는 블레이드의 회전면내 운동이 동체 허브의 운동과 연계되어 발생하며, 공기력이 없이도 발생하는 기계적인 불안정성 현상이다. 반면에 비행중 공기력이 연계되어 지상공진과 유사한 형태의 불안정성이 발생하는데 이를 공중 공진이라 한다. 이러한 지상공진과 공중공진 불안정성을 공력기계적인 불안정성이라 하며, 대부분의 헬리콥터는 이를 방지하기 위하여 로터에 고가의 댐퍼를 장착하여 불안정성이 발생하지 않도록 한다.

본 논문에서는 설계되고 있는 무베어링 로터 허브시스템의 지상공진해석에 대해 기술하였다. 토크 튜브/유연보/댐퍼/스너버를 포함하는 무베어링 로터를 모델링하여, 모달해석을 통해 로터의 고유진동수 및 감쇄를 구하였고, 동체를 질량/감쇄기/스프링으로 모델링하여 모달질량 및 피칭/롤링 모드의 고유진동수를 계산하였다. 이를 바탕으로 로터 및 동체의 연계 해석을 통하여 지상공진 불안정성 현상을 살펴보았다.

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

2.1 무베어링 로터 모델링

로터 동특성 해석을 위해 헬리콥터 상용해석 프로그램인 CAMRAD II를 사용하였다. 로터는 유연보(flexbeam), 토크튜브를 포함한 블레이드, 스너버/댐퍼, 피치링크로 구분하여 모델링하였다. 유연보 및 블레이드는 빔모델이며, 스너버/댐퍼 및 피치링크는 조인트로 모델링하였다. 해석조건은 ISA@Sea level이며 컬렉티브 각도는 1도로 하였다. 해석결과는 로터 회전수에 따른 래그방향 모드의 회전하는 좌표계에서의 고유진동수 및 감쇄를 계산하였다. 운용회전수에서 래그 모드 고유진동수 및 감쇄는 각각 0.74/rev, 25.7%이다.

Table 1 Rotor geometric properties

Property	Value
Maximun Take-off Weight, kg	7,217
Hub Type	Bearingless
Number of blades	4
Radius, m	5.74
Blade chord, m	0.36
Rotor Speed, RPM	349
Blade airfoil section profile	NACA 23012
Solidity	0.0796
Linear blade twist, deg	-8.0
Flexbeam length, m	1.16

2.2 동체 모델링

지상공진해석을 위해 헬리콥터 동체를 동체 무게중심에 대해 선형 및 회전 자유도를 갖는 6자유도 질량-감쇄기-스프링 시스템으로 모델링하였다. 착륙장치를 통해 xyz방향에 대해 각각 강성과 감쇄를 갖도록 하였고, 로터를 제외한 동체 무게중심에 대한 질량과 관성을 구하였다. 이로부터 동체의 운동에너지, 포텐셜에너지 및 소산에너지를 계산하여 라그랑지 방정식을 이용하여 동체의 운동방정식을 구한 후 모달해석을 통해 지상공진 해석에 필요한 모달질량, 모달 감쇄, 고유진동수 및 모드형상을 계산

하였다. 이때 로터 허브에서의 최대 변위가 1이 되도록 정규화하여 모달 질량을 구하였다.

2.3 로터-동체 연계 지상공진 해석

지상공진 해석은 회전하는 로터와 회전하지 않은 동체에 대한 방정식을 풀어야 함으로 운동방정식을 동일한 좌표계를 사용하여 표현하여야한다. 회전좌표계에서 로터 래그 운동방정식을 FCT(Fourier Coordinate Transform)를 사용하여 비회전좌표계의 운동방정식으로 변환하여, 지상공진에 영향을 주는 사이클릭 래그 모드(ζ_{lc}, ζ_{ls})를 구하였다. 동체의 영향은 로터 허브에서의 X 및 Y방향 운동과 이의 각 방향에 대한 강성 및 댐핑으로 표현하면, 동체의 운동 X_h, Y_h 으로 인한 힘은 로터에 가해지는 외력이 되며, 반대로 로터가 동체에 가하는 힘은 로터의 동체 종축방향 힘인 H force와 횡축방향 힘인 Y force으로 이를 계산하여 동체운동방정식을 구하였다. 로터와 동체의 연계 정도는 로터가 가진 관성 및 동체의 질량에 의해 영향을 받는다.

2.4 해석결과 및 분석

지상공진은 로터회전속도가 운용속도의 80% ~ 120% 회전속도에서 동체모드와 교차하지 않거나 교차하면 댐퍼를 통해 충분한 안정성을 확보하여야 한다. 이에 해석에서는 로터 댐퍼가 없는 경우와 있는 경우의 로터 및 동체 모드의 고유진동수와 감쇄를 구하였다. 댐퍼가 없는 경우 그림 1과 같이 동체모드와 로터 모드가 로터 회전속도 약 20%와 100%지점에서 교차가 발생하며, 그림 3의 Damping ratio에서 보듯이 회전수 80%~120%에서 지상공진이 발생한다. 그림 4는 댐퍼가 있는 경우의 감쇄비를 해석한 것으로 전 구간을 통해 불안정성이 발생하지 않는다.

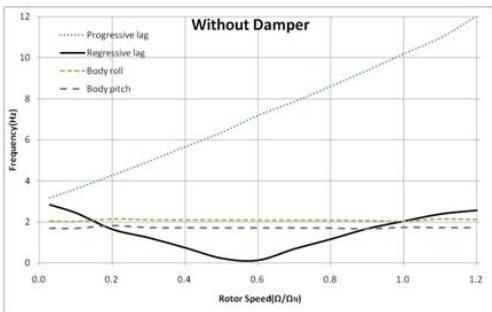


Fig. 1 Frequency without damper

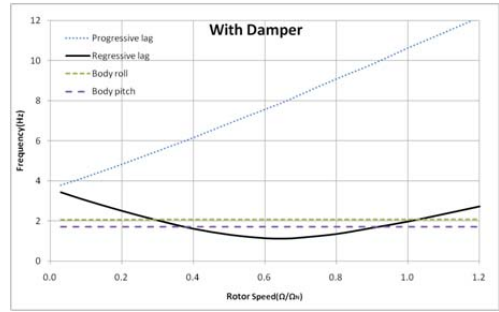


Fig. 2 Frequency with damper

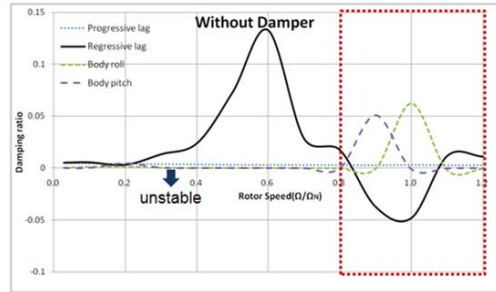


Fig. 3 Damping ratio without damper

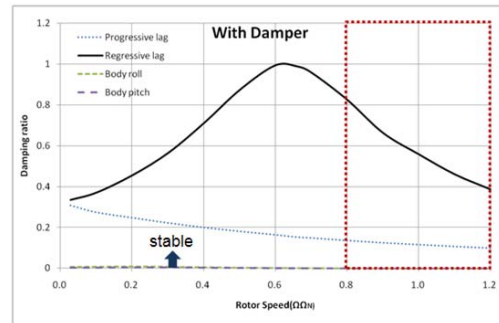


Fig. 4 Damping ratio with damper

3. 결론

본 논문에서는 무베어링 로터의 공력기계적인 불안정성 현상인 지상공진을 해석하여 특성을 살펴보았다. 현재 설계된 무베어링 로터는 댐퍼가 없는 경우 심각한 지상공진이 발생하나 해석에 사용된 댐퍼를 장착했을 경우는 불안정성이 발생하지 않는다.

후 기

본 논문은 지식경제 기술혁신사업(항공우주부품기술개발사업) 무베어링 로터 허브시스템 개발사업의 연구 결과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.