

# 복합재 무힌지 헬리콥터 로터의 동특성 해석

## Dynamic Characteristic Analyses of a Composite Hingeless Helicopter Rotor

기영중† · 윤철용\* · 김승호\*\*

Young-Jung Kee, Chul-Yong Yun and Seung-Ho Kim

### 1. 서 론

헬리콥터 로터 시스템은 양력, 추력 및 조종력을 발생시켜 비행을 가능하게 하는 핵심 구성품으로서 로터 블레이드에서 발생하는 추력과 모멘트를 동체로 전달하는 허브 구성품과 양력 및 조종력 등을 제어하는 조종 구성품으로 구분된다. 또한 헬리콥터 로터는 비행 시 플랩(flap), 리드-래그(lead-lag) 및 페더링(feathering) 운동을 하게 되며, 이러한 운동을 허용하는 동시에 허브 구성품에 작용하는 하중을 감소시키기 위해 3개의 힌지(hinge)가 사용되고 있다. 이러한 힌지의 구성은 기계적으로 복잡하며, 부품수가 많아 로터 시스템의 중량과 항력을 증가시켜 헬리콥터의 비행 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 정비의 복잡성 및 유지보수 비용 등의 증가를 가져오게 되었다. 이러한 단점들을 해결할 수 있도록 허브 구성품과 힌지의 수를 줄임으로써 공기역학적으로 우수하며 신뢰성과 경제성을 높일 수 있는 무힌지로터(hingeless rotor) 및 무베어링로터(bearingless rotor)에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 무베어링로터 시스템을 개발하기 위한 준비 단계로써 무힌지로터 시스템이 적용된 BO-105 헬리콥터 실물 로터 시스템(full-scale rotor system)에 대해 로터 회전속도에 따른 고유진동수와 블레이드 피치각에 의한 면내 감쇠(inplane damping) 변화를 분석하였으며, 비행조건에 따라 블레이드 단면에 작용하는 하중의 경향을 검토하였다. 해석 모델의 적절성 검토를 위해 고유진동수, 면내 감쇠 및 하중해석 결과를 NASA Ames Research Center에서

수행한 풍동시험결과<sup>(1)</sup>와 비교하여 그 결과를 제시하였다.

### 2. 로터시스템 형상

BO-105 헬리콥터 로터 시스템은 NACA 23012 에어포일을 이용한 4개의 블레이드가 장착되며, soft inplane( $\omega_r < \Omega$ ) 특성을 지니도록 설계되었다. 또한 블레이드 뿌리(blade root) 부위에 작용하는 플랩 모멘트를 줄일 수 있도록 초기 원추각(built-in coning, 2.5°)이 적용되어 있다. 로터 시스템의 동특성 해석에 사용된 BO-105 로터 시스템의 주요 설계변수를 정리하여 Table 1에 제시하였으며, CAMRADII를 통해 생성된 해석모델을 Fig. 1에 나타내었다.

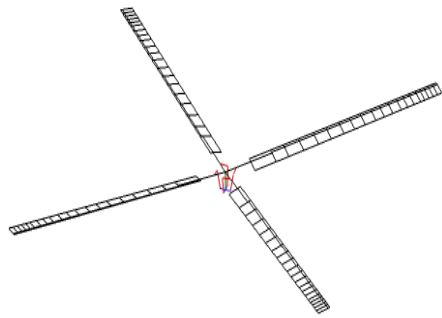


Fig. 1 BO-105 rotor system CAMRADII model

Table 1 Rotor system posterities

Item	Specification
Type	Hingeless
Rotor Radius (m)	4.91
Rotor tip speed (m/s)	218.0
Number of blades	4
Blade chord (m)	0.27
Linear blade twist (deg)	-8.0
Solidity (σ)	0.07
Airfoil section	NACA 23012
Hub height above floor (m)	6.89
Shaft angel of attack (deg)	-10.0

† 교신저자; 정희원, 한국항공우주연구원

E-mail : naltlguy@kari.re.kr

Tel : 042-860-2294, Fax : 042-870-3590

\* 한국항공우주연구원

\*\* 한국항공우주연구원

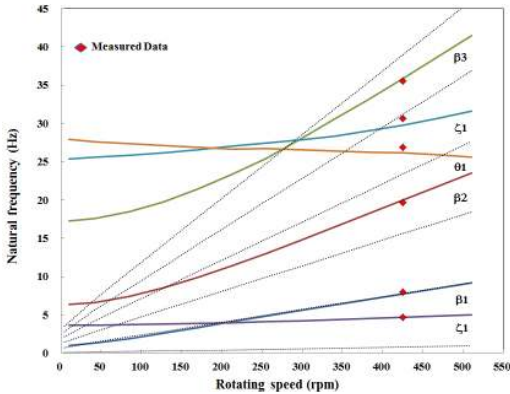


Fig. 2 Rotor system natural frequency

### 3. 해석결과 및 검토

#### 3.1 로터 회전 고유진동수

BO-105 로터 시스템의 주요 설계변수를 이용하여 회전속도에 따른 고유진동수 변화를 조사하였다. 비회전 상태의 경우 1차 플랩모드의 고유진동수가 1차 래그 모드의 고유진동수보다 낮으나, 회전속도 증가에 따른 블레이드의 강성증대로 인해 운용회전수(425rpm) 상태에서는 플랩모드의 고유진동수가 높게 나타남을 살펴볼 수 있다. 또한 플랩, 리드-래그 및 토션 모드의 고유진동수와 로터 시스템의 회전 진동수가 일치하지 않아 로터 시스템의 공진위험이 없음을 확인하였으며, 로터의 회전 속도에 따른 고유진동수 해석 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

#### 3.2 로터 공탄성 안정성

로터 시스템과 동체의 구조적인 연성에 의해 발생하는 대표적인 불안정 상태로는 지상공진(ground resonance)과 공중공진(air resonance)으로 구분할 수 있으며, 이에 대해 가장 큰 영향을 미치는 요소인 1차 리드-래그 모드(1st lead lag regressing mode)의 면내 감쇠(plane damping) 특성을 분석하였다.

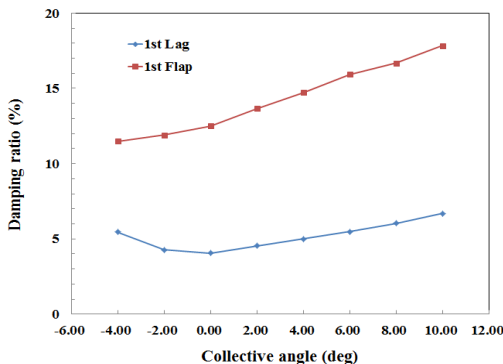


Fig. 3 Damping rations (hover cond.)

본 논문에서는 CAMRADII를 이용한 고유치해석을 통해 1차 리드-래그 모드의 고유진동수와 감쇠 특성을 분석하여 안정성을 평가하였다. 운용회전수 조건으로 일괄 피치각(collective pitch angle)을 변화시켜가며 1차 리드-래그 모드의 감쇠특성을 분석하였으며, Fig. 3과 같이 공탄성 특성은 안정하다고 판단된다.

#### 3.3 로터 하중

isolated rotor에 대해 풍동시험 조건으로 하중 해석을 수행하였으며, 풍동시험 결과와 비교하기 위해  $r/R=10$ , .57 단면에 작용하는 하중과 모멘트를 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 4에 풍동시험 데이터와 해석 결과를 나타내었으며, 추력이 증가할수록 해석결과와 실험 측정값의 차이가 감소함을 확인하였다.

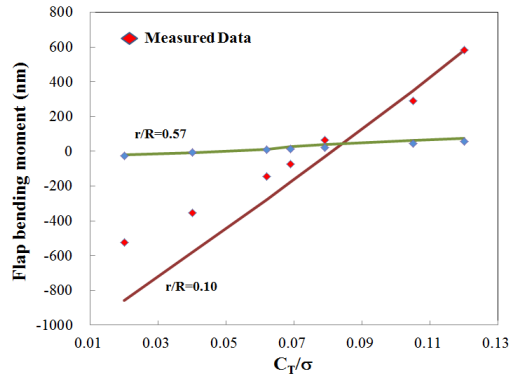


Fig. 4 Steady bending moments, hover condition

### 4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 무베어링로터 시스템을 개발하기 위한 준비 단계로써 무힌지로터 시스템이 적용된 BO-105 헬리콥터 실물 로터 시스템에 대한 동특성 해석을 수행하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 해석 모델의 적절성을 확인하였다. 향후 BO-105의 기존 금속재 허브 시스템을 무베어링 로터 허브 시스템으로 대체하여 동특성 해석을 수행할 계획이다.

#### 후 기

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

#### 참고문헌

(1) Randall L. Peterson & Wayne Johnson, NASA TM-103867, Aeroelastic Loads and Stability Investigation of a Full-Scale Hingeless Rotor