

# 헬리콥터 진동저감을 위한 로터 블레이드 밸런싱

## Rotor Blades Balancing for Helicopter Vibration Reduction

윤철용†·김덕관\*·김수연\*·김승호\*

Chul Yong Yun, Deog-Kwan Kim, Su-Yean Kim, and Seung-Ho Kim

### 1. 서 론

회전하는 블레이드에 의해 추력이 발생하여 비행하는 헬리콥터는 비행중 공기역학적인 환경의 불균형뿐만 아니라, 개별 블레이드의 제작시 공차가 발생하며, 이는 블레이드간의 불균형을 유발하여 블레이드를 헬리콥터 장착 비행시 1/rev 진동수의 진동을 유발한다. 이는 헬리콥터 동체의 수명뿐만 아니라, 탑승자의 불편함을 초래하므로 이러한 진동을 최소화 하도록 헬리콥터 장착전 2가지의 로터 블레이드 밸런싱을 수행한다.

본 논문에서는 로터에서 발생하는 1/rev진동을 최소화하기 위해 현재 국내에서 블레이드 제작시 수행하고 있는 블레이드 밸런싱인 정적 밸런싱 및 동적 밸런싱에 대해 기술한다.

### 2. 블레이드 밸런싱

#### 2.1 정적 밸런싱(Static balancing)

로터 블레이드의 정적 밸런싱은 회전시험 이전에 지상에서 수행하는 것으로 블레이드의 root에서 동일한 원심력이 작용하도록 기준블레이드에 대해 오차범위내에 그 값을 조정하는 것이다. 로터의 회전속도는 개별 블레이드에 대해 동일함으로 식 (1)과 같이 원심력을 동일하게 하기 위해 정적 모멘트(Static moment)를 모든 블레이드에 대해 오차범위내에 맞추면 정적 밸런싱이 완료된다. 이러한 정적 모멘트를 동일하게 맞추기 위해서는 그림 1과 같이 블레이드 끝단에 위치한 정적 균형추를 이용한다. 균형추를 스펜방향으로 이동시켜 블레이드의 무게 중심을 조정하며, 정적 모멘트를 조정한다. 밸런싱을 위해 균형추가 있는 포켓은 총 8개이며, 바깥쪽 4개 포켓은 정적 밸런싱에 사용되며, 안쪽 4개 포켓은 시위방향으로 균형추를 조정하는 것으로 동적 밸런싱에 사용된다.

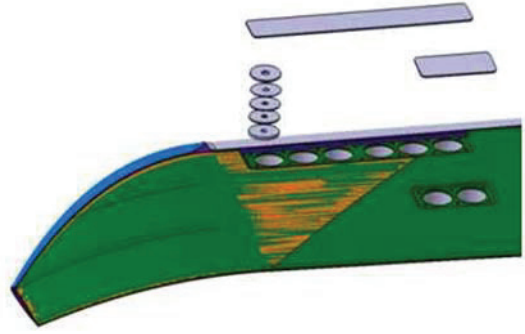


그림 1 정적 및 동적 밸런싱 균형추 및 블레이드 끝단

$$CF = \Omega^2 \times \iiint r \times dm = \Omega^2 \times M_s \quad (1)$$

그림 2는 정적 밸런싱을 위한 테스트 벤치로서 블레이드 끝단을 지지하며 반대편은 저울위에 놓고 측정하면서 기준 블레이드와 오차내에서 조정하게 된다.



그림 2 정적밸런싱 테스트 장치

#### 2.2 동적 밸런싱(Dynamic Balancing)

##### (1) 동적 밸런싱 개념

블레이드의 동적 밸런싱은 지상에서 수행하는 정적밸런싱과는 달리 정적밸런싱이 완료된 블레이드에 대해 횡타위 회전시험 장비를 활용하여 운용회전수에서 로터가 회전하고, 피치각도를 변화시키면서 트랙과 피치링크 하중을 측정하여 수행한다.

동적 밸런싱의 목적은 비행중 헬리콥터 진동 최소화를 위해 개별 블레이드의 특성을 유사하게 맞추는 것으로 모든 피치각에서 블레이드의 양력 및 피칭모멘트를 균일하게 조절하는데 있다. 양력의 영향은 블레이드의 회전 높이인 트랙을 측정하여 확인하고, 블레이드의 피칭모멘트는 허브의 피치링

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

\* 한국항공우주연구원

크 하중을 측정하여 구한다. 복합재로 제작되는 블레이드의 제작과정에서 공력면과 질량분포등이 차이가 없도록 실제 제작하는 것은 불가능하므로 헬타워에서 동적밸런싱을 수행하여 그 차이를 보상한다.

피치링크의 길이는 피치각도의 읍셋과 블레이드 트랙에 영향을 미치며, 그림 3과 같이 로터 블레이드 반경방향 바깥쪽의 뒷전에 있는 트림탭의 기울어진 각도는 블레이드의 공기역학적인 특성을 변화시켜 블레이드의 피칭모멘트에 영향을 주며 또한 트랙 변화에도 미비하게 기여한다. 그림 1과 같이 블레이드의 시위방향에 있는 동적 균형추는 시위방향으로 이동시켜 피칭모멘트와 트랙을 조정한다. 동적 균형추는 양력이 낮은 저피치각에서는 영향이 미비하며, 고피치각에서 효과가 있는데, 고피치각에서 양력으로 인한 플랩핑각도의 증가는 원심력 성분중 블레이드 아랫방향의 하중을 증가시켜 블레이드의 피칭 모멘트 및 트랙을 조정한다.



그림 3 블레이드 트림탭

(2) 동적밸런싱 시험장치

그림 4은 항우연 고힙항공센터에 설치한 헬타워로서 로터 블레이드 동적밸런싱 전용으로 블레이드 간의 상대적인 간섭을 최소화하기 위해 블레이드 3개를 장착한 Universal Rotor Hub를 장착하고 있다. 지상에서 높이 10m 위치에 블레이드를 장착하며, 블레이드 회전면 높이를 측정하기 위한 광학 트랙커 및 블레이드의 피칭 모멘트를 측정하기 위해 피치링크하단에 로드셀을 장착하였다.



그림 4 동적밸런싱용 로터 헬타워 장비

(3) 동적밸런싱 결과

그림 5와 그림 6은 헬타워에서 동적밸런싱을 수행하는 과정에서 측정된 피칭모멘트 및 블레이드의 트랙으로서 피치링크 길이, 트림탭, 동적질량을 조절하며, 기준블레이드 (Yellow Blade)에 요구값이 근접하도록 조절한다.

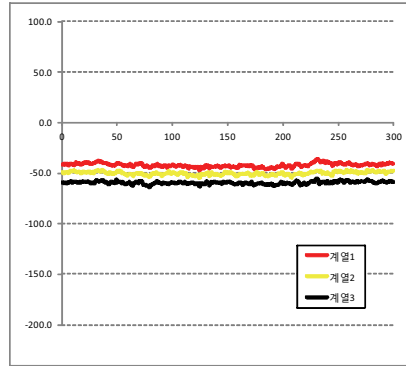


그림 5 개별 블레이드의 피칭모멘트

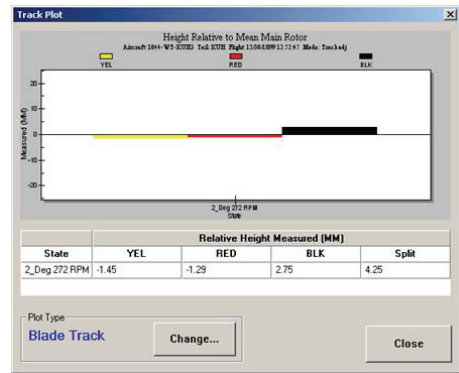


그림 6 개별 블레이드의 트랙

3. 결 론

헬리콥터 로터에서 발생하는 1/rev 진동 저감을 위해 수행하는 정적 밸런싱 및 동적 밸런싱에 대해 기술하였다. 정적 밸런싱은 지상에서 비회전시 블레이드의 정적모멘트를 기준 블레이드와 오차범위내로 조정하며, 정적 밸런싱이 완료된 블레이드에 대해 헬타워에서 회전하면서 블레이드 트랙 및 피칭모멘트를 기준블레이드 오차범위내에서 조정하는 동적 밸런싱을 수행한다. 정적 밸런싱 및 동적 밸런싱이 완료된 블레이드를 장착한 헬리콥터는 비행시 트랙 및 밸런싱이 양호하며, 진동특성도 상당히 개선된다.

후 기

본 논문은 지식경제 기술혁신사업(항공우주부품기술 개발사업) 무베어링 로터 허브시스템 개발사업의 연구결과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.