

헬리콥터 주로터 블레이드 동적 발란싱 개념 연구

A Conceptual Study on the Dynamic Balancing of Helicopter Main Rotor Blade

김덕관† · 윤철용* · 김승범* · 송근웅* · 강상남** · 한정호***

Deog-Kwan Kim, Chul-Young Yun, Seung-Bum Kim, Keun-Woong Song, Sang-Nang Kang, and Jung-Ho Han

1. 서 론

본 논문에서는 헬리콥터 주로터 블레이드 제작 후 헬리콥터에 장착전에 헬타워에서 수행되는 로터 블레이드의 동적 발란싱에 대한 개념을 연구하여 소개하였다. 먼저 동적 발란싱의 목적, 원리 및 수행방법을 소개하고 다음으로 상세하게 동적 발란싱의 방법에 대하여 기술하였다. 복합재료 로터 블레이드 성형 및 제작 기술이 발달됨에 따라 서로 다른 사람 및 시간에 생산된 블레이드의 품질차이가 혁신적으로 줄어들었다. 그러나 회전하는 로터 블레이드의 길이는 13m까지 되기 때문에 미세한 질량분포 및 무게중심의 차이가 과도한 진동을 유발하게 된다. 따라서, 로터 블레이드를 제작한 후 헬리콥터 장착 전에 헬타워(whirl tower)에서 발란싱을 실시한다.

2. 본 론

2.1 발란싱 목적

헬리콥터 주로터 블레이드의 동적 발란싱은 블레이드 제작시 발생하는 품질차이로 인해 생길 수 있는 진동을 가능한 최대한 줄이기 위해 로터 블레이드의 비행거동을 고려하여 유사하게(similar) 만들어 주기 위해 수행된다. 이런 이유로 동적 발란싱의 최종 목적은 서로 다른 사람 또는 다른 시기에 제작된 동일 기종의 로터 블레이드를 서로 혼용(mixable)하여 쓸 수 있고, 교체 가능(interchangeable)할 수 있게 하는 것이다. 생산된 로터 블레이드들의 품질차이로 인해 생기는 편차는 아래 표 1에 기술되어 있다.

표 1. 블레이드간 편차 항목 및 세부사항

항목	세부사항
무게중심 (Mass Center)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중량 (Global Weight) ■ 시위방향 무게중심(Chordwise CG Distribution) ■ 길이방향 무게중심(Spanwise CG Distribution)
공력중심 (Aerodynamic Center)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 익형 형상(Airfoil Shape) ■ 플랜폼 형상(Planform Shape)
기하학적 중심 (Geometric Center)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 부쉬 위치(Bushes position) ■ 치수 차이(Dimension Difference)

2.2 혼용성과 상호교체성

서로 다른 환경조건으로 제작된 블레이드가 유사(similar)하다는 것은 표 2에 기술된 요건이 충족될 때 정의될 수 있다. 이러한 요건이 충족되면 로터 블레이드는 서로 혼용할 수 있고 (mixable) 또한 상호교체 가능하다(interchangeable)라고 말할 수 있게 된다. 이때 기준이 되는 블레이드가 존재하는데 이를 마스터 블레이드 또는 기준 블레이드 (master blade)라고 일컫는다. 이러한 마스터 블레이드는 생산되는 모든 블레이드의 표준이 되는 것으로 블레이드 동적 발란싱 과정에서 항상 기준으로 삼게 된다.

표 2. 혼용성 및 교체가능성 적용 항목

항목	세부사항
원심력 (Centrifugal Force)	■ 동일 원심력 @ Blade Cuff
양력 (Lift)	■ 동일 양력 @ Blade -> Blade Tracking으로 특성화
피치로드 하중 (Pitch Rod Load)	■ 동일 하중 @ 피치각

2.3 정적 발란싱(Static Balancing)

로터 블레이드의 동적 발란싱을 수행하기 전에 선행적으로 제작시 정적 발란싱을 수행하게 된다. 이러한 정적 발란싱은 블레이드 커프(cuff)에서 동일한 원심력이 작용하도록 맞추는 것이다. 다음 식(1)에서 확인할 수 있듯이 블레이드 커프(cuff)에서 동일 원심력이 작용하기 위해서는 블레이드의 정적 모멘트(static moment)가 동일해야 한다. 이러한 정적 모멘트를 동일하게 맞추기 위해서는 블레이드 끝단에 위치한 정적 균형추(static balance weight)를 이용하여

† 교신저자; 한국항공우주연구원
E-mail : shine@kari.re.kr
Tel : (042)860-2327, Fax : (042) 870-3590

* 한국항공우주연구원
** 한국항공우주산업(주)
*** 국방과학연구소

조절하게 된다.

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

여기서 CF 는 원심력, r 은 로터 반경 위치, Ω 는 로터 회전수, dm 은 로터 단위부피당 질량, M_s 는 정적 모멘트이다.

2.4 동적 발란싱(Dynamic Balancing)

로터 블레이드의 정적 발란싱이 완료되면, 휠타워(whirl tower)에서 마스터 블레이드를 이용하여 동적 발란싱 작업이 수행된다. 동적 발란싱은 각각의 블레이드에 작용하는 양력을 동일하게 맞추어 주고, 각각의 피치각에 따른 피치 로드 하중을 동일한 수준으로 맞추는 것이다. 여기서 블레이드 양력이 동일하다는 것은 블레이드 트래킹(tracking)이 잘 맞았다고 할 수 있다. 이러한 동적 발란싱을 위해 2개의 매개변수를 측정하게 된다. 첫 번째는 블레이드 피치각(θ)에 따른 트래킹($H(\theta)$)이다. 두 번째는 블레이드 피치각(θ)에 따른 피치 로드(pitch rod)에 작용하는 하중(모멘트, $M(\theta)$)이다.

먼저 로터 트래킹($H(\theta)$)을 조절하는 과정에는 2단계가 존재한다. 첫 단계는 낮은 피치각에서 적용하는 것으로 트랙 전체를 평행 이동시키는 방법으로 피치 로드 길이를 조절함으로써 가능하다. 두 번째 단계는 높은 피치각에서 적용하는 것으로 피치각에 따른 트래킹 기울기를 조절하는 것이다. 이를 위해서는 블레이드 끝단에 위치한 동적 균형추(dynamic balance weight)를 블레이드 코드 방향으로 앞 또는 뒤로 이동하면서 조절하게 된다.

그 다음으로 피치 로드 하중($M(\theta)$)을 조절하는 과정에도 2단계가 존재한다. 첫 단계는 낮은 피치각에서 적용하는 것으로 피치각에 따른 하중값 분포 전체를 평행 이동시키는 방법으로 블레이드 끝단부에 장착된 트림 탭(trim tab)의 굽힘 각도를 조절함으로써 가능하다. 두 번째 단계는 높은 피치각에서 적용하는 것으로 피치각에 따른 하중값 분포 기울기를 조절하는 것이다. 이를 위해서는 블레이드 끝단에 위치한 동적 균형추(dynamic balance weight)를 블레이드 코드 방향으로 앞 또는 뒤로 이동하면서 조절하게 된다.

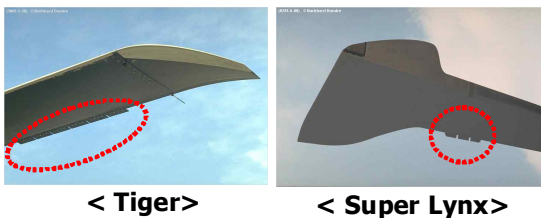


Fig 1. 블레이드 트림 탭(trim tab) 예

2.5 동적 발란싱(Dynamic Balancing)

블레이드 끝단에는 보통 균형추가 존재하는데 이 균형추는 보통 정적 발란싱 및 동적 발란싱 작업을 하는데 사용하게 된다. 과거에는 복잡한 구조였으나 점차 단순한 구조로 발전해가고 있다.

(1) 블레이드 트래킹

블레이드 피치링크 길이를 조절함으로써 로터 블레이드 회전 트랙을 조절하는데, 조정 필요 트랙에 대한 피치 링크 조절 길이 정도는 수차례의 시험 자료 및 설계 자료를 근거로 산출되어야 하며, 이를 위해서는 D/B를 구축하여야 한다. 또한 블레이드 끝단의 높이를 맞추기 위해서는 동적 균형추를 앞뒤로 조절해주어야 한다.

(2) 피치 로드 하중

아래 그림 Fig2에서처럼 피치 로드 하중을 조절하기 위해서는 블레이드 끝단에 장착된 트림 탭을 이용하여 수행한다. 낮은 피치각에서는 트림 탭을 사용하고, 높은 피치각에서는 동적 균형추를 이용하여 수행한다. 마찬가지로 시행착오를 통해 D/B를 구축함으로써 효율적으로 수행할 수 있다.

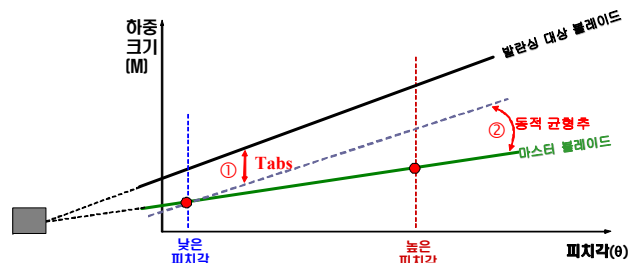


Fig 2. 블레이드 피치 로드 하중

3. 결 론

헬리콥터 주로터 발란싱을 위해서는 4가지 값을 맞추어야 하는데, 조절 가능한 방법은 3가지밖에 없다. 따라서, 이러한 것을 해결하기 위해서는 허용한계(tolerance)를 두어야 한다. 본 논문에서는 일반적인 동적 발란싱에 대한 개념 연구한 것을 소개하였다.

후 기

동 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용구성품개발사업(KARI주관) 연구결과 중 일부임.