

# 한국형 기동헬기(KUH) 주로터 블레이드 동적 발란싱 시험

## Dynamic Balancing Test of KUH main rotor blade

김덕관†·윤철용\*·송근웅\*·김승호\*·강상남\*\*·한정호\*\*\*

Deog-Kwan Kim, Chul Yong Yun, Keun-Woong Song, Seungho Kim, Sang-Nam Kang and Jeong-ho Han

### 1. 서 론

본 논문에서는 항우연 고흥항공센터 헬타워에서 수행된 한국형 기동헬기(KUH, 수리온) 주로터 블레이드의 동적 발란싱 시험 결과를 제시하였다. 먼저 동적 발란싱 작업을 위한 항우연 헬타워 시험설비의 주요 사양 및 센서에 대하여 기술하였다. 이어서 한국형 주로터 블레이드의 동적 발란싱 시험결과를 제시하였다. 동적 발란싱 작업은 총 3 단계로 수행되는데, 첫 번째는 주로터 회전속도에 해당하는 272rpm (1/rev, 4.53 Hz)에 대한 진동 수준을 낮추는 작업을 수행한다. 주로터 허브 슬리브(Sleeve)의 무게주머니(weight pocket)에 텅스텐 구슬을 넣어 회전하는 로터시스템의 진동을 낮추는 작업을 하게 된다. 다음으로 낮은 피치각(-5도 기준 @ Sleeve)에서 피치링크를 조절하여 블레이드 트랙을 맞추는 작업을 수행한다. 마지막으로 높은 피치각(+3.0도 @ Sleeve)에서 블레이드 끝단에 장착된 동적 균형추를 시위방향(chordwise)으로 이동하면서 방향성을 찾고, 트랙의 높이를 맞추게 된다. 이러한 피치링크 조절 또는 동적 균형추의 조절은 1/rev 진동에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

### 2. 항우연 헬타워 시험설비 소개

헬타워 시험설비는 전라남도 고흥군 고흥만간척지에 위치한 항우연의 고흥 항공센터에 설치되었다. 현재 한국형 기동헬기 수리온의 주로터시스템이 장착되어 시험을 수행하고 있다. 본 장에서는 항우연 헬타워 시험설비의 사양, 주요 센서 종류 및 특징을 소개하고자 한다. 그림1에는 고흥항공센터에 설치 운용중인 항우연 헬타워 시험설비의 전경이다.

#### 2.1 헬타워 주요 사양

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

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

헬타워의 구동모터는 교류(AC)로 구동되며, 인버터주파수(Inverter Frequency) 방식을 이용하여 구동모터와 직접 연결된 로터시스템의 회전수를 조절하게 된다. 구동모터의 최대 순간동력은 2,750kW이고, 최대연속동력은 2,200kW이다. 로터 피치각 조종은 콜렉티브 피치각의 경우 수리온 주로터 시스템과 동일한  $-6.5^{\circ} \sim +6.5^{\circ}$ 이며, 사이클릭 피치각은 헬타워의 특성상 굽힘모멘트 설계하중(20,000Nm)을 고려하여  $-5.0^{\circ} \sim +5.0^{\circ}$  으로 설계되었다. 동적 안정성 시험을 위한 가진 작동기는 최대 가진주파수 60Hz로, 블레이드 피치각  $\pm 0.5^{\circ}$ 까지 가진이 가능하다. 기타 자세한 사양은 아래 표 1 KARI WTTF 주요 성능에 제시되었다.



Fig. 1 항우연 헬타워 시험설비(KARI WTTF) 전경

표 1 KARI WTTF 주요 성능

구분		값	단위
회전면 높이		9.65	m
구동 모터	최대순간동력(1분)	2,750	kW
	최대연속동력	2,200	kW
	최대토크	77,800	Nm
	회전수	0~450	rpm
조종 시스템	콜렉티브 피치각	$-6.5 \sim +6.5$	도
	사이클릭 피치각	$-5.0 \sim +5.0$	도
정확도	회전속도	1	rpm
	피치각	0.05	도
DAQ	분해능	16	bit
	샘플링속도	10	kHz
	채널수	110	EA
가진	가진주파수	60	Hz
	가진피치각	$\pm 0.5$	도

#### 2.2 동적 발란싱 시험용 주요 센서

헬터위는 각 시험 종류별로 요구되는 센서가 다양하게 존재한다. 주로터 블레이드에 대한 동적 밸런싱 및 트랙킹 작업을 수행하기 위해서는 블레이드 높이와 로터에서 생기는 진동을 측정해야 한다. 이러한 높이와 진동을 측정하기 위해 광학용 트랙커 및 가속도계가 헬터위에 설치되어 운영되었다.

표 2 광학용 트랙커 사양

Specification	
위상 해상도	1°
회전속도 범위	180~60,000 rpm
높이측정 정확도	± 1 mm
리드-래그 정확도	± 0.5mm
변위 측정 오차	± 2%
주파수 범위	0~20 Hz to 0~75 kHz

### 3. KUH 주로터 블레이드 동적 발란싱 시험결과

#### 3.1 주로터시스템 1/rev 진동

주로터 시스템의 회전속도에 해당하는 진동성분을 일반적으로 1/rev 진동이라 일컫는데, 로터가 회전하면서 무게중심이 맞지 않을 경우, 허브에 무게를 보정할 수 있는 공간이 있어 이 공간에 텅스텐 구슬을 넣어 진동을 낮춘다. 일반적으로 1kg의 기준무게를 블레이드가 장착되는 허브 슬리브에 각각 넣어 진동의 크기와 방향성을 탐구하여, 최종적으로 진동을 낮추는 작업을 수행한다. 아래 그림 Fig 2는 각각의 방향성과 최종 조정된(Red, Black Sleeve : 1.5kg) 진동 크기(0.07 ips) 및 방향을 보여준다.

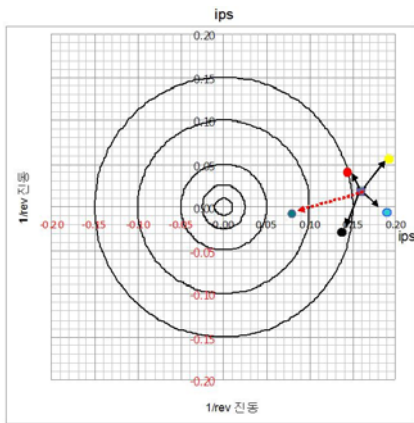


Fig. 2 1/rev 진동의 방향성 및 최종값

#### 3.2 낮은 피치각에서 동적 발란싱 시험

낮은 피치각에서의 동적 발란싱은 피치링크를 사용하여 주로터 블레이드의 트랙을 맞추는 것이다. Blue 블레이드 피치링크 +2노치, Black 블레이드 피치링크 +6노치, Red 블레이드 피치링크 +2노치를 각각 조절하여 최종적으로 1.87mm의 트랙 차이가 났으며, 1/rev 진동 수준은 변하지 않았다.

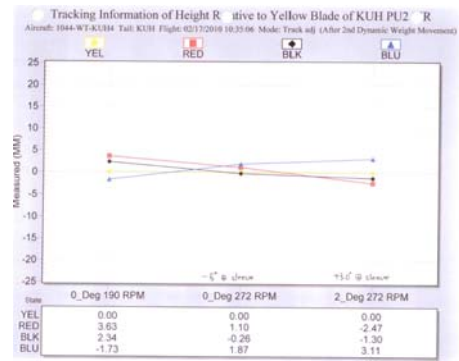


Fig. 3 주로터 블레이드 트랙 측정값

#### 3.3 높은 피치각에서 동적 발란싱 시험

동적 균형추를 블레이드 코드 앞쪽으로 옮겼을 때 최대 12mm 정도 트랙의 변화가 생겼으며, 블레이드 코드 뒤쪽으로 옮겼을 때는 15mm 정도 변화가 생겼다. 따라서 동적 균형추를 통해 최대로 조절할 수 있는 트랙의 높이는 약 30mm 정도이며, 기준치 10mm를 포함할 경우 40mm까지의 차이가 나는 블레이드를 조절할 수 있게 된다.

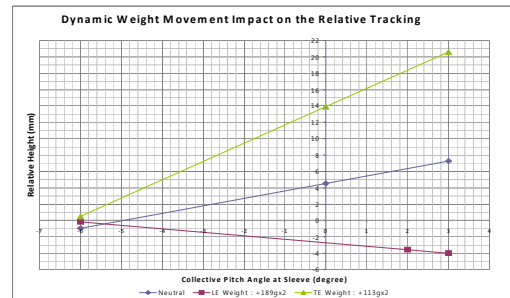


Fig. 4 동적 균형추 변동에 따른 트랙 변화의 경향성

## 4. 결 론

본 논문에서는 주로터 블레이드 제작 후 헬리콥터 장착 전에 헬터위에서 선행적으로 수행되는 주로터 블레이드 동적 밸런싱에 대한 시험결과를 제시하였다. 주로터 시스템의 회전속도에 해당하는 272rpm (4.53Hz, 1/rev) 진동은 0.07ips 이하로 낮게 맞추었으며, 낮은 피치각(-5도)의 트랙 차이는 1.87 mm(기준치 : 5mm)이며, 높은 피치각(+3.0도)의 트랙 차이는 3.11mm(기준치 : 10mm)이다.

## 후 기

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