

헬리콥터 주로터 블레이드의 동적안정성에 관한 휠타워 시험

Whirl Tower Test for Dynamic Stability of Helicopter Main Rotor Blades

윤철용†·김덕관*·송근웅*·김승호*·권혁준**

Chul Yong Yun, Deog-Kwan Kim, Keun-woong Song, Seung-Ho Kim and Hyeok-Joon Kwon

1. 서 론

헬리콥터의 진동은 순항비행이든 기동비행이든 모든 비행영역에서 중요한 문제이다. 헬리콥터의 과도한 진동은 헬리콥터 기체 구조물의 피로수명을 단축시키며, 승무원의 안락함에 불편함을 야기한다. 이러한 헬리콥터 진동의 주요 원인은 구조적으로 가볍게 설계된 로터 블레이드에서 발생하는 비정상공기력으로 현대 신규 설계 또는 성능 개량되는 헬리콥터는 진동 및 소음을 저감시키기 위해 노력한다.

고정익과 달리 헬리콥터 로터의 진동은 넓은 영역대의 주파수에서 발생하지 않고, 로터 회전수의 정수배(하모닉스)에 해당하는 진동수에서 발생하는 특성이 있다.

따라서, 블레이드의 고유 모드들이 로터 하모닉스와 충분히 떨어지도록 설계단계에서부터 동적안정성을 고려하여 설계하여 과도한 진동 및 불안정성이 없도록 설계하는 것은 필수적이며, 이를 검증하기 위해 휠타워에서 동적 안정성 시험을 수행하여 로터시스템의 동적 특성에 대해 평가하여야 한다.

본 논문에서는 항공우주연구원 고흥 항공센터에 설치된 휠타워 설비(그림1)을 이용하여 수행한 로터 시스템 동적 안정성 시험에 대해 기술하였다.

2. 동적 안정성 시험

2.1 비회전시 로터 블레이드 고유 모드

(1) 휠타워 시험 설비

휠타워는 지면으로부터 어느정도의 높이에서 블레이드와 허브/조종으로 구성된 로터를 회전하여 헬리콥터 로터의 특성 및 성능을 확인하는 시험 장비이다. 현재 설치된 휠타워는 교류모터로 구동되며, 인버터 주파수 방식을 이용하여 구동모터와 직접 연결된 로터시스템의 회전수를 조절하게

된다. 구동모터의 최대 순간연속동력은 2,200kW이며, 동적 안정성 시험을 위해 유압가진기를 장착하였고, 가진기의 능력은 가진 변위가 1 inch이며, 0.5도 블레이드 피치각 가진 시 최대 가진 속도는 60Hz이다.

가진은 블레이드의 피치각을 주기적으로 가진하는 방식이며, 모든 블레이드의 피치각을 동시에 가진하는 콜렉티브 가진 및 일정한 방향에 대해서 가진하는 사이클릭 가진 모두 가능하다.

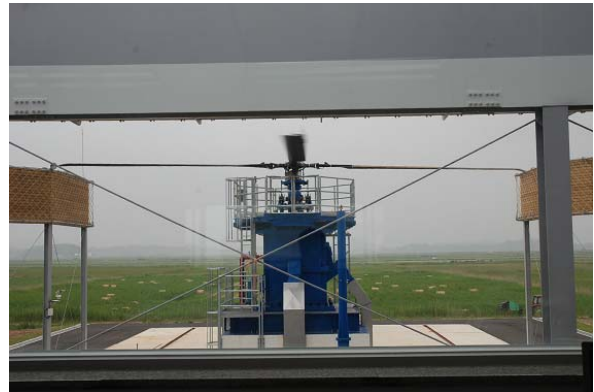


그림 1 주로터 휠타워 시험 설비

로터의 진동 및 공력탄성학적 측면에서 중요한 모드는 총 7개로, 플랩 모드 4개, 래그 모드 2개, 토션 모드 1개이다. 이를 측정하기 위해 블레이드 스펙방향으로 9영역에 플랩, 래그, 토션 측정 게이지를 부착하였고, 플랩 게이지와 래그 게이지는 최대한 연계가 되지 않는 위치를 선정하여 부착하였다. 또한 래그 댐퍼에 하중 측정 게이지 및 변위측정용 변위센서를 부착하였다.

(2) 비회전시 로터 블레이드의 고유모드

제작된 블레이드의 동특성을 해석값과 비교하기 위해 비회전시 고유진동수를 구하였다. 비회전시 로터의 고유진동수를 구하기 위해 가진기를 이용하여 가진 변위를 고정하고, 가진 진동수를 점차적으로 증가시켜 블레이드에 부착된 하중게이지의 신호를 측정하여 FFT분석을 하였다. 그림 2는 주파수 sweep가진시 플랩방향 게이지의 시간영역 신호를 보여주고 있다. 특정 가진 주파수에서 블레이드의 플랩 반응이 증가되어 고유 진동수를 구할 수 있다. 그림 3는 주파수 분석을 한 것으로 1차 플랩, 3차 플랩, 4차 플랩 및 토션 모드를 구할 수 있다. 2차 플랩 모드 및 래그 모드는 블

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

* 한국항공우주연구원

** 국방과학연구소

레이드의 다른 영역에 부착된 게이지를 통해 알 수 있다.

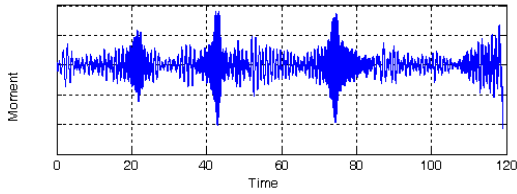


그림 2 주파수 sweep시 블레이드 하중의 시간반응

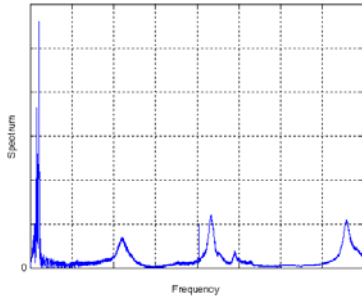


그림 3 비회전시 블레이드의 주파수 분석

2.2 회전시 로터 블레이드의 고유모드

(1) 고유 모드 측정 방법

로터 블레이드의 고유 모드를 측정하기 위해 4가지 방법을 사용하였다. 회전하는 로터가 블레이드의 공진을 유발하는 것을 이용한 것으로 로터 회전수 증가시 블레이드의 반응을 측정하여 고유진동수를 측정하였다. 다음은 운용회전수에서 회전하는 블레이드에 가진기를 이용하여 사이클릭 가진 주파수를 점차적으로 증가시키면서 블레이드의 반응을 측정하였다. 감쇠를 측정하기 위해 사용한 방법으로 충분한 가진 후 천이영역에서 블레이드의 하중 신호를 측정하여 고유진동수와 감쇠를 결정하였다. 또 다른 방법은 예상되는 고유진동수 근처에서 가진을 하고 가진 스펙트럼의 크기를 비교하여 최대치에 해당하는 가진 주파수를 고유 진동수로 결정하였다. 그림 4는 2차 플랩모드의 고유 진동수를 구하기 위해 예상되는 진동수 근처에서 가진 진동수를 변화하면서 신호를 측정하여 스펙트럼 크기를 비교한 것이다.

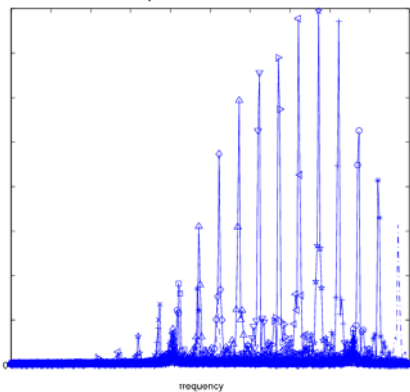


그림 4 집중가진에 의한 블레이드 스펙트럼

(2) 시험 결과

그림 5는 1차 래그 모드의 고유진동수를 구하기 위한 것으로 댐퍼 하중에 대한 시간영역 신호를 측정된 것이다. 가진 영역을 포함하여 가진 종료후 래그 모드가 사라질 때까지 측정하였다. 그림 6은 시간영역 신호를 스펙트럼 분석을 수행한 것이다. 래그 모드의 신호를 확연히 식별할 수 있고 또한 회전에 의한 1/rev 및 그 정수배에 해당하는 하모닉스 성분들의 진동이 포함되어 있다.

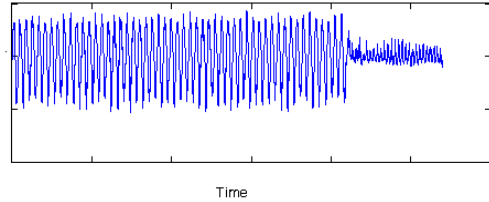


그림 5 댐퍼 하중에 대한 시간영역 신호

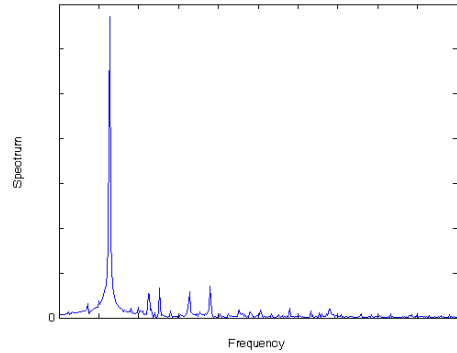


그림 6 댐퍼 하중에 대한 스펙트럼분석

3. 결 론

헬리콥터 로터 블레이드의 동적 거동 및 안정성을 확인하기 위해 헬타워 시험을 수행하였다. 헬시험을 통해 비회전시 블레이드의 고유 진동수와 회전시 블레이드의 고유 진동수를 구하였다. 시험 결과는 로터 동역학 해석 모델의 정교화에 사용되었고, 헬리콥터 동체와 연계된 지상공진 분석등에 사용되었다. 또한 헬타워를 이용한 동적안정성 시험결과로부터, 시험한 로터 시스템은 정상 운용 회전수에 대해 주 로터 블레이드의 각 모드들의 고유진동수는 회전수의 하모닉스에 대해 충분히 떨어져 있고, 감쇠는 충분하여 심각한 공진이 발생하지 않고 공력탄성학적으로 안정하다.

후 기

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