

헬리콥터 주로터용 리드래그 댐퍼 특성 시험

Characteristic Test of Lead-lag Damper for Main Rotor of Helicopter

송근웅†·윤철용*·김덕관*·김태주*·김승호*, 정재권**

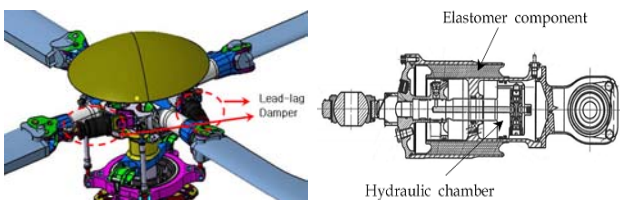
Keun-Woong Song, Chul-Yong Yun, Deog-Kwan Kim, Tae-Joo Kim and Seung-Ho Kim and Jae-Kwon Jung

2. 본 론

1. 서 론

헬리콥터 로터시스템에서 로터 블레이드의 동역학적 거동은 비선형성을 갖는다. 또한 구조동역학과 공기역학이 결합되어 발생하는 헬리콥터의 공력탄성학적 및 공력기계적 불안정성이나 과도한 진동문제가 늘 존재한다. 공력탄성학적 안정성 측면에서 리드래그 감쇠비(lead-lag damping ratio)가 작은 경우 심각한 불안정성에 의한 진동을 유발하게 된다. 블레이드에 발생하는 공력탄성학적 불안정성은 리드-래그모드가 주요 인자이며, 이 운동을 제한하고 감쇄력을 키우기 위해 그림 1(a)와 같이 헬리콥터 로터에는 리드-래그 댐퍼를 장착한다. 실기에 장착되는 리드-래그 댐퍼를 개발하기 위해서는 헬리콥터 운영에 필요한 여러 가지 요구조건을 만족시키는 요구조건이 수립된다. 이러한 요구조건대로 개발/제작된 댐퍼는 반드시 시험을 통해 그 특성이 요구조건에 부합하는지 검증되어야 한다.

본 논문에서는 헬리콥터 주로터에 의한 진동 현상과 이를 방지하기 위해 장착되는 댐퍼의 기능을 소개한다. 다음으로 리드-래그 댐퍼의 주요 특성 인자를 파악해 본다. 그리고, 제작된 댐퍼의 특성을 확인하기 위해 수행되는 댐퍼 특성 시험의 방법 및 절차를 소개한 뒤, 댐퍼의 주요 특성치를 산출하는 방법에 대해 설명한다.



(a) Installed Damper (b) Damper sectional Diagram
Fig. 1. Hydraulic-Elastomer Damper for Helicopter

2.1 주로터 댐퍼

지상공진(Ground Resonance)은 헬리콥터가 지상 이/착륙시 주로 발생하는 불안정성으로 로터 시스템과 동체, 착륙장치로부터 지면사이의 상호작용으로 인해 발생된다. 로터 시스템은 회전면에서 블레이드가 리드-래그 운동을 하도록 되어있다. 만약 동시에 같은 방향으로 블레이드들이 래그 운동을 한다면, 로터 헤드의 무게중심(C.G)은 로터 중심에 그대로 존재한다. 그러나, 균일하지 않은 블레이드 리드-래그 운동은 로터 무게중심을 허브 중심으로부터 이동하게 만들고, 착륙장치 위의 동체를 흔들리게 한다. 이는 로터 허브의 수평방향 운동을 일으키고 블레이드의 래그 모션을 더욱 심화시켜 블레이드가 지면을 치게 되는 치명적 결과를 초래할 수도 있다.

지상공진 등의 심각한 공진으로부터 안정성을 확보하기 위해 헬리콥터 로터에는 리드-래그 댐퍼를 장착한다. 댐퍼는 축방향 감쇄를 위해, 유압을 이용하는 방법과 탄성체를 이용하는 방법이 있다. 유압을 이용한 방법은 리드-래그 댐퍼 개발 초기부터 사용되어 온 방법이며, 이후 무게 감소와 성능 향상을 위해 탄성체를 이용한 댐퍼가 사용되고 있다. 최근에는 이러한 두 가지를 혼합한 방식, 즉 탄성체 고무가 가미된 유압작동 방식의 댐퍼(Hydraulic Elastomer Damper)가 주를 이루고 있다. 그림 1(b)는 유압과 탄성체를 동시에 사용하는 댐퍼의 단면을 나타내고 있다.

주로터용 댐퍼는 블레이드의 리드-래그 운동에 대한 감쇄작용을 하는 것이 주요 기능이다. 이 기능을 만족하기 위해서 리드-래그 댐퍼의 동적 탄성(dynamic elastic stiffness, K')과 동적 감쇄(dynamic damping stiffness, K''), 그리고 손실계수(loss factor, Φ)를 결정해야 한다. 여기서 손실계수는 아래와 같이 K' 와 K'' 의 식으로 표현되기 때문에 일반적으로 세 가지 중 두 가지(K' , K'')를 요구조건으로 한다.

$$\Phi = \frac{K'}{K''} \quad (1) \text{식}$$

2.2 댐퍼 특성 시험

실제 회전 시 댐퍼의 특성을 파악하기 위해서 항우연에서는 고층에 설치되어 있는 주로터 휠 시험장치를 활용하여

† 송근웅 ; 한국항공우주연구원
E-mail : skw@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2196, Fax : (042) 860-2006

* 한국항공우주연구원

** 국방과학연구소

회전시험을 수행하였다.

주로터 회전시험에서 댐퍼 특성을 파악하기 위해 댐퍼의 변위측정용 선형변위센서(LVDT)와 하중 측정용 스트레인 게이지를 부착하였다. 주로터 댐퍼의 특성을 확인하기 위한 회전시험 절차는 다음과 같다. 먼저 헬 시험장치에 주로터 시스템 및 각종 센서를 장착한다. 장착 후, 로터시스템을 실제 헬리콥터 운용회전수로 회전시킨다. 회전하는 주로터에 사이클릭 피치를 콜렉티브 피치를 변화시키면서 유압가진기를 이용하여 1차 래그 고유진동수 근처에서 사이클릭 가진을 한다. 헬 시험설비에서는 유압가진기로 스와시판을 가진하여 블레이드의 플랩모드를 유발시키고, 유발된 과도한 플랩운동이 코리올리스 힘에 의해 리드-래그 운동을 발생시킨다. 블레이드에 발생된 리드-래그 모드가 댐퍼에 작용하여 변위와 하중을 발생시킨다. 이에 회전 시에는 댐퍼에 작용하는 변위 및 하중을 직접적으로 조절하기가 매우 어렵다. 각 시험조건별로 댐퍼의 운동을 관찰하며 데이터를 저장한 후, 회전시험을 종료한다. 저장된 데이터로부터 다음과 같은 방법을 적용하여 댐퍼 특성을 계산할 수 있다.

일정한 하중을 유지하고 있는 진동계를 고려하면 모든 힘의 합은 탄성력(F_s , Spring Force)과 감쇄력(F_d , Damping Force)으로 표현할 수 있다. 또한 각 힘은 강성(Stiffness)과 변위(Displacement)로 나타낼 수 있다. 이때 각 힘의 강성은 곧 댐퍼의 강성을 말하여 (2)식과 같이 탄성력에 의한 강성(K')과 감쇄력에 영향을 미치는 강성(K'')으로 구분된다.

$$\sum F = F_s + F_d = K' d \pm K'' \sqrt{A^2 - d^2} \quad (2) \text{식}$$

여기서 K' 는 댐퍼 강성의 실수부이며, K'' 는 허수부이다. d 는 변위, A 는 최대 변위이다. 일반적으로 댐퍼에 작용한 하중과 변위를 각각 x 축과 y 축으로 그래프를 그리면 그림 2와 같다. 그림 2와 (2)식에서 변위가 $d = A$ 인 지점에서는 $K' = F/d$ 로 구해지며, $d = 0$ 인 경우 $K'' = F/A$ 로 구할 수 있다. 위상차는 시간 영역에서의 댐퍼 하중 신호와 변위 신호에서 구할 수 있다.

이러한 과정을 적용하여 실제 시험결과로부터 댐퍼 특성치(K' , K'')를 계산하도록 LabVIEW를 사용하여 주로터 댐퍼 특성 산출용 프로그램을 작성하였고, 실제 회전시험 결과로부터 댐퍼 특성을 산출하였다.

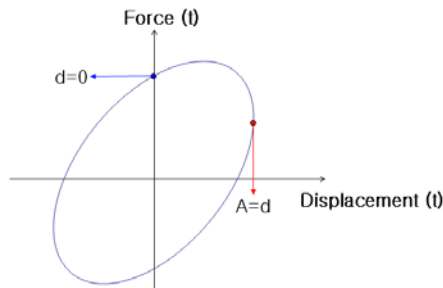
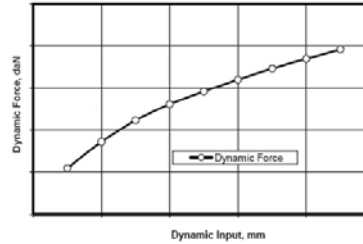


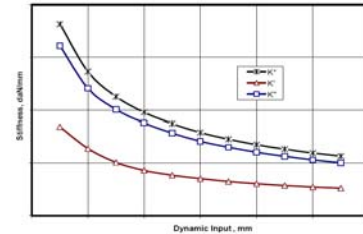
Fig. 2. Force Vs Displacement Diagram(sample)

2.3 댐퍼 특성 시험 결과 분석

실제 회전시험에서는 일정한 변위의 고정된 주파수로 가진을 하지만, 취득되는 신호에는 로터시스템에 존재할 수 있는 거의 모든 신호가 포함된다. 이에 대역통과필터(Bandpass filter)를 사용하여 측정된 하중과 변위 신호에서 관심 주파수 대역만의 시간영역 신호를 추출한다. 추출된 신호를 워터폴에서 언급한 바와 같이 하중과 변위를 각각 x 축과 y 축으로 그래프를 그린 후, x 축 방향으로 최대/최소값과 y 축 교차점($x = 0$)을 선별하여 (2)식으로 계산한다.



(a) Dynamic Displacement vs Damper Load



(b) Dynamic Displacement vs Damper Stiffness

Fig. 3. Damper Test Results (sample)

정해진 구간 내에서 산출된 K' 와 K'' 를 각각 평균하여 그 평균값을 댐퍼 특성이라 판단할 수 있다. 그림 3은 댐퍼 특성의 예시이다. 일반적으로 동일 주파수로 가진하면서 동적 변위를 키울수록 측정하중도 높아지며, 동적변위가 커질수록 강성은 작아지는 경향을 나타낸다.

3. 결 론

본 연구에서는 로터시스템의 리드-래그 감쇠비(lead-lag damping ratio)를 확보하기 위해 장착되는 헬리콥터 주로터용 댐퍼의 특성 시험에 대해 기술하였다.

댐퍼 특성 시험은 UTM과 같은 시험설비에서 간단히 수행될 수 있으나, 전기체 진상공진 등의 해석에 사용될 실제 특성치들은 반드시 회전시험을 통해 실제의 특성값을 확인해야만 한다. 본 연구에서 소개된 댐퍼 특성 시험은 헬리콥터 로터 시스템 개발에서 매우 중요한 과정이다.

후 기

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