

헬리콥터 주 로터 휘타워(Whirl Tower) 사례 및 동향

글 / 김 덕 관 shine@kari.re.kr, 홍 단 비, 송 근 웅, 김 태 주, 김 승 호

한국항공우주연구원 항공사업단 KHP개발실 로터팀

초 록

헬리콥터 주 로터 시스템은 헬리콥터 전체 성능을 좌우하고, 비행특성을 결정하는 핵심 구성품이다. 주 로터 시스템은 회전하면서 추력 및 조종력을 발생시키기 때문에 동적 밸런싱을 맞추는 것도 중요한 개발단계업 무 중에 하나이다. 주 로터 시스템의 개발 과정에서 헬리콥터 비행시제 장착 전에 동적 밸런스 시험, 성능 시험, 안정성 시험 등을 포함하는 휘시험(whirl test)을 수행하게 된다. 이 시험 수행을 위해 제작되는 시험장치가 휘타워(whirl tower)이다. 세계 우수 헬리콥터 회사들은 주 로터 휘시험을 위한 설비인 휘타워를 보유하고 있으며, 지속적으로 성능 개량 등을 통해 최신의 기술 및 장비를 적용하여 운영하고 있다. 본 논문에서는 대표적으로 사용되고 있는 해외 헬리콥터 회사들의 휘타워의 사례를 설명하고 설비의 기능을 기술함으로써 기술적 동향에 대하여 살펴보았다. 현재 한국형헬기개발사업(KHP)에서 구축중인 다목적 의 WTTF(whirl tower test facility) 요구조건 및 설계 현황에 대해서도 기술하였다. 당 연구원의 WTTF는 한국형기동헬기(KUH)의 주 로터 휘시험 및 내구성 시험을 위해 구축되고 있다. 본 시험설비는 연구개발용 시험과 양산용 시험을 모두 수행할 수 있도록 다목적으로 개발될 예정이다. 본 설비는 기존 해외 설비와는 차별화되어 다목적 시험을 할 수 있도록 설계가 진행중이며, 2008년12월에 구축 완료 예정이다.

주제어 : 헬리콥터(helicopter), 휘타워(whirl tower), 휘시험(whirl test), 주 로터(main rotor), 동적 밸런싱 및 트랙킹 시험(dynamic balancing & tracking), 성능 시험(performance test), 안정성 시험(stability test), 내구성 시험(endurance test), WTTF(whirl tower test facility)

1. 서 론

1.1 개요

헬리콥터 주 로터시스템의 지상시험 중 중요한 시험항목이 휘시험(whirl test)이다. 이 시험을 위해 별도로 설치하는 시험장치(test rig)를 휘타워(whirl

tower)라고 한다. 지난 50년대 이후 본격적으로 개발되기 시작한 헬리콥터는 기술발전예 따라 개발개 념의 차이, 구현방법 등에 따라 다양한 형태와 기능을 갖는 휘타워가 존재하였다. 주 로터 휘시험의 주요 시험 항목은 헬리콥터에 장착하기에 앞서 주 로터 블레이드가 동적 밸런싱(dynamic balancing)과 트랙킹(tracking)이 맞추어져 있는지를 시험하는 밸 런싱 및 트랙킹 시험, 주 로터의 추력, 토크 등의

성능과 제자리 비행의 효율성을 측정하는 성능 시험(performance test), 비행 안정성(stability)의 기본이 되는 주 로터의 공력탄성학적 안정성 시험과 동적 특성을 규명하는 안정성 시험(stability test) 및 필요에 따라 조종시스템의 마모 등의 특성을 시험하는 내구성 시험(endurance test) 등이다. 이러한 헬시험은 별도의 시험장치인 헬타워에서 수행되는데, 동적 밸런싱 및 트랙킹만 수행할 수도 있으며, 추가적으로 성능시험을 수행하거나, 안정성시험을 수행할 수 있게 된다. 또한 필요에 따라 로터 시스템의 조종시스템에 대한 마모 특성 등을 규정하기 위한 내구성 시험도 수행하기도 한다.

본 논문에서는 헬리콥터도 개발과정 및 비행시험에서 필수적인 헬시험을 위한 시험장치인 헬타워의 해외사례 및 기술경향에 대하여 기술하였다. 또한 한국형헬기개발사업(KHP)에서 구축중인 한국형 다목적 헬타워 사양에 대해서도 해외 사례 및 기술경향을 토대로 기술적 관점에서 기술하였다. 당 연구원의 WTTF는 한국형기동헬기(KUH)의 주 로터 헬시험 및 내구성 시험을 위해 구축되고 있다. 본 시험설비는 연구개발용 시험과 양산용 시험을 모두 수행할 수 있도록 개발될 예정이다. 본 설비는 기존 해외 설비와는 차별화되어 다양한 시험을 할 수 있도록 다목적으로 설계되었으며, 현재 상세설계가 진행 중이다. 상세설계가 완료되면 제작에 착수하여 당 연구원의 항공센터에 2008년 12월경에 구축 완료 예정이다.

본 논문에서는 먼저 해외업체의 헬타워 시험설비에 대하여 간략하게 요약 기술하였다. 다음으로 한국형 다목적 헬타워 구축을 위해 기술조사를 수행했던 시험설비제작업체의 헬타워 현황에 대하여 조사 결과를 기술하였다. 마지막으로 국내에 구축예정인 한국형 다목적 헬타워의 주요 사양에 대하여 기술하였다. [1-7]

2. 본 문

2.1 헬타워 해외현황 개요

본 절에서는 해외업체에서 운용하고 있는 헬리콥

터 헬타워 시험설비에 대한 종류 및 사양을 기술하였다. 기술적 접근의 어려움 등으로 인해 자료 확보가 불가능한 경우는 N/A로 표기하였다. 전체적인 대상 및 해당 설비의 개요는 아래 표 1에 요약하여 기술하였다. 이러한 헬시험을 위한 헬타워 설비는 크게 연구개발용과 양산용으로 구분할 수 있다. 정부산하의 연구기관 및 일부 헬리콥터 업체는 연구개발용 헬시험 설비를 보유하고 있으며, 대부분이 헬기 체계업체 중심으로 양산용 설비를 갖고 있다. 연구개발용과 양산용의 차이점은 시험범위라고 할 수 있는데, 연구개발용 헬타워는 앞에서 기술한 성능시험, 안정성 시험 등 연구개발 목적을 위한 시험들을 수행할 수 있는 시험설비이다. 양산용 헬타워는 기본적으로 개발이 완료되어 양산(mass production)되고 있는 블레이드에 대한 동적 밸런싱 및 트랙킹 시험을 수행하는 목적의 시험설비이다. 시험 용도(목적)에 따른 헬타워 구분은 표 2에 요약하였다.

별도의 헬타워를 이용하지 않는 회사들도 있는데, 미국 벨(Bell)사나 이탈리아 아구스타(Agusta)와 같은 회사들이다. 이들은 회사의 오랜 경험과 축적된 기술을 이용하여 전기체 시상시험을 수행할 때 주 로터를 헬리콥터에 장착하여 헬시험을 수행하기도 한다.

표 1. 해외 주요 헬타워 현황표

국가	업체/기관	주요사양	적용헬기
독일	유로콥터	-동력 : 900kW -높이 : 5.8m -구축년도 : 1981	BO-105, BK-117, EC135, EC145
		-동력 : 1,230kW -높이 : 6.7m -구축년도 : 1986	Tiger, EC135, EC145, etc.
		-연구개발용	BO-105, etc.
프랑스	유로콥터	-동력 : 3,000kW -높이 : 7.5m -구축년도 : 1986 -연구개발용	NH90, Cougar, Super Puma, etc.
		-양산용	NH90, EC155, etc
영국	AWIL	-양산용	Lynx 전용
러시아	MIL	-양산용	Mil-14 등
미국	미국 국방성	-동력 : 6,000hp -높이 : 25.0m -연구개발용	CH-53(MH-53), UH-60 등
	카만 (Kaman)	-동력 : 1,800hp -높이 : 6.0m	K-max, Sea Sprite 등
인도	힌두스탄 항공 (HAL)	-동력 : 1,230kW -높이 : 6.7m -구축년도 : 1993 -양산용	ALH, Sea King 등

표 2. 헬리콥터 용도에 따른 구분

	연구개발용	양산용
주요 시험 항목	-동적 밸런싱 및 트래킹 -성능시험 -안정성 시험 -내구성 시험	-동적 밸런싱 및 트래킹
설비 예	- 유로콥터 프랑스 (마리냥 소재) - 미국 국방성 - 유로콥터 독일 (오토번 소재) - 미국 시콜스키사	- 러시아 밀 - 영국 웨스트랜드 - 유로콥터 프랑스 (파리 소재) - 유로콥터 독일 (도나베르트 소재) - 미국 카만 - 인도 힌두스탄항공 - 기타

2.2 헬리콥터 해외현황

가. 유로콥터 (독일)

유로콥터 독일은 크게 2개 사이트가 존재한다. 하나는 헬기 생산의 중심 기지인 도나베르트(Donauwörth) 사이트이고 두 번째는 연구개발 중심 기지인 오토번(Ottoburn) 사이트이다. 도나베르트 사이트의 헬리콥터는 양산 중심의 시험을 수행하고 일부 연구 목적의 시험을 수행하고 있다. 오토번 사이트의 헬리콥터는 연구 목적의 시험을 수행하고 있다. 도나베르트 사이트에는 2개의 헬리콥터가 설치되어 운용중이며, 헬리콥터 종류에 따라 구분되어 운용되고 있다. 아래 그림 1에는 도나베르트 사이트에서 운용중인 헬리콥터 전경이 제시되었다.



자료 : 독일 ZFL사 헬리콥터 소개자료, 2006년도
그림 1. 유로콥터(독일) 헬리콥터 전경(도나베르트 소재)

① BO-105 헬리콥터용 헬리콥터 설비 현황

BO-105 헬리콥터용 헬리콥터 설비는 1981년에 설립된 이후로 1983년, 1998년 및 2000년 3차례에 걸쳐 성능개량이 진행되어 최근까지 EC135, EC145 헬리콥터까지 운용중에 있다. 또한 부분적으로 개별 블레이드 제어(Individual Blade Control, IBC)용 작동기(Actuator) 개발 목적 및 진동제어 기술 목적으로 연구개발용으로도 사용되고 있다. 주요 헬리콥터 설비 사양은 표 3에 제시되었으며, 그림 2에는 헬리콥터 설비 전경이 제시되었다.

표 3. BO-105 헬리콥터용 헬리콥터 설비 사양

항 목	주요 사양
대상 헬리콥터	- BO-105, BK117, EC135, EC145
동력	- 900kW
모터 종류 및 전압	- 직류형 모터(DC Type Motor) - 800 V DC
높이	- 5.8m
최초 설립년도	- 1981
성능개량년도	- 1983, 1998, 2000
특이사항	- 양산용 - 연구개발용(IBC 등 사용)



자료 : 독일 ZFL사 헬리콥터 소개자료, 2006년도
그림 2. BO-105 헬리콥터 설비 전경

② Tiger 헬리콥터용 헬리콥터 설비 현황

Tiger 헬리콥터용 헬리콥터 설비는 1986년에 설립된 이후로 2000년, 2001년 및 2002년 3차례에 걸쳐 성능개량이 진행되어 최근까지 Tiger, EC145 헬리콥터까지 운용중에 있다. 또한 부분적으로 블레이드 뒤진 플랩(Trailing Edge Flap, TEF)을 통한 진동제어 기술 개발목적으로 연구개발용으로도 사용되고 있다.

주요 시험대상 헬리콥터로는 Tiger, BO-105, BK117, EC135, EC145 등이다. 주요 헬타워 설비 사양은 표 4에 제시되었으며, 그림3 에는 헬타워 설비 전경이 제시되었다.

표 4. Tiger 헬리콥터용 헬타워 설비 사양

항목	주요 사양
대상 헬리콥터	- Tiger, BO-105, BK117, EC135, EC145
동력	- 1,230 kW
모터 종류 및 전압	- 직류형 모터(DC Type Motor) - 800 V DC
높이	- 6.7m
최초 설립년도	- 1986
성능개량년도	- 2000, 2001, 2002
특이사항	- 양산용 - 연구개발용(TEF 등 사용)



자료 : 독일 ZFL사 헬타워 소개자료, 2006년도
그림 3. Tiger 헬리콥터용 헬타워 설비 전경

③ 연구개발용 헬타워(오토번) 설비 현황

유로콥터 독일의 오토번 사이트에는 1개의 헬 타워 설비가 존재한다. 본 설비는 주로 로터 연구개발용 목적으로 운용되고 있다. 그림 4에는 오토번 사이트에서 운영하고 있는 설비 전경이 제시되었다. 사양에 대한 자세한 정보는 확보가 어려워 기술을 생략하였다.



자료 : 독일 ZFL사 헬타워 소개자료, 2006년도
그림 4. 연구개발용(오토번) 헬타워 설비 전경

나. 유로콥터 (프랑스)

유로콥터 프랑스는 크게 2개 사이트가 존재한다. 하나는 주 로터 생산의 중심 기지인 파리 공장(Paris) 사이트이고 두 번째는 헬리콥터 조립 공장인 마리냥 (Marignane) 사이트이다. 파리 사이트의 헬타워는 양산 중심의 시험을 수행하고 있다. 마리냥 사이트의 헬타워는 연구 목적의 시험을 수행하고 있다. 파리 사이트에는 2개의 헬타워가 설치되어 운용중이며, 헬리콥터 종류에 따라 구분되어 운용되고 있다. 아래 그림 5는 파리 사이트에서 운용중인 헬타워 전경을 보여주고 있다. 본 논문에서는 마리냥 사이트에 위치하는 연구개발용 헬타워에 대한 사양을 기술하고자 한다.



자료 : 유로콥터(프랑스) 헬타워 소개자료, 2006년도
그림 5. 파리 사이트의 헬타워 전경

① 연구개발용 헬타워(마리냥) 설비 현황

유로콥터 프랑스의 마리냥 사이트에는 연구개발용 헬타워 설비가 구축되어 운영중이다. 기본 높이는 7.5m이며, 시험종류에 따라 9m까지 조절 가능하다. 이는 지면효과없이(Out of Ground Effect) 공력성능 시험을 하기 위한 것이며, 블레이드의 윗면과 아랫면이 바뀌도록 뒤집어서 시험을 하게 된다. 안전망 높이는 13m이며, 직경은 30m이다. 데이터 측정채널 수는 164개이며, 제어용 채널수는 64개가 운용중이다. 로터 회전속도는 500rpm까지 가능하며, 최대 출력은 3,000kW로서 로터 최대직경 17.0m까지 시험이 가능하다. 이 헬타워 설비를 이용하여 동적 안정성 시험, 공력성능시험 등을 수행하며, 각종 부품에 대한 하중 측정시험도 수행한다. 최소 50시간 이상의 내구성 시험(endurance test)도 수행가능하다. 부대설비로는 이동식 행거가 설치되어 있으며, 안전망은 이중으로 되어 있다. 주요 헬타워 설비 사양은 표 5에 제시되었으며, 그림 6 에는 헬타워 설비 전경이 제시되었다.

표 5. 연구개발용 헬타워(마리냥) 설비 사양

항목	주요 사양
대상 헬리콥터	- Dauphin, Tiger, EC155, etc
동력	- 3,000kW
모터 종류 및 전압	- 직류 및 교류 혼합형 모터 (DC & AC Hybrid Type Motor)
높이	- 7.5m~9m
로터 회전속도	- 최대 500rpm
최대시험직경	- 17.4m
최초설립년도	- 1995
특이사항	- 연구개발용(IBC, 성능개량 등 사용)



자료 : 독일 ZFL사 헬타워 소개자료, 2006년도
그림 6. 연구개발용 헬타워(마리냥) 설비 전경

다. 미국 국방성

미국 국방성 산하 육군의 라이트 패터슨 사이트(Wright-Patterson Sites)에는 미국 육군에서 운용 중인 CH-53, UH-60 등 중대형헬기에 대한 로터 시스템 성능시험을 위한 헬타워 설비가 구축되어 있다. 개략적 사양은 6,000hp까지 낼 수 있는 동력, 높이 25m 수준, 회전속도 625rpm, 로터 직경 27m까지 시험할 수 있는 설비이다. 연구개발 목적으로 사용되고 있다. 그림 7에 관련설비 전경이 제시되었다.



자료 : 인터넷 사이트(), 2007년도
그림 7. 미국 국방성 헬타워 설비 전경

라. 인도 힌두스탄 항공사의 헬타워

인도 힌두스탄 항공사(HAL)는 ALH라는 자국의 군용 헬기를 개발하였으며, 이 시점에 ALH 헬리콥터용 로터 헬타워 설비를 구축하였다. 현재 ALH 헬리콥터뿐만 아니라 기존 운용중인 Sea King 등의 헬리콥터에도 적용할 예정이다. 주요 사양으로 구동모터 동력은 1,230kW이며, 로터 높이는 6.7m, 1993년에 구축하였다. 현재 양산용으로 사용되고 있다. 약천후 조건에서 작업할 수 있도록 행거가 있으며, 별도의 고정식 크레인이 설치되어 중량이 무거운 허브 시스템 등의 탈장착 업무를 수행하고 있다. 800V DC용 모터를 사용하고 있다. 그림 8에 인도 힌두스탄 항공사의 헬타워 설비 전경이 제시되었다.



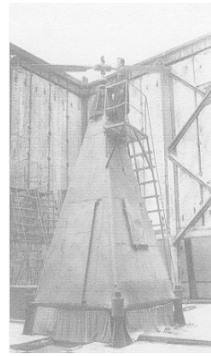
자료 : 독일 ZFL사 헬타워 소개자료, 2006년도
그림 8. 인도 힌두스탄항공사의 헬타워 설비 전경

마. 미국 카만(Kaman)사의 헬타워

미국 카만(Kaman) 헬리콥터 회사는 자체 개발하여 생산하는 헬리콥터(K-max, Sea Sprite)에 대한 로터 성능 시험 및 밸런싱을 위해 자체적으로 구축하여 보유하고 있다. 구동 모터 동력은 1,800hp이며, 높이는 6.0m이다. 비교적 오래된 설비이며, 조종실이 반지하에 위치하고 있고 안전망이 목재로 이루어진 것이 다른 설비와 비교시 가장 큰 특징이다. 별도의 블레이드 리프트(lift)가 설치되어 있지 않고, 차량용 크레인을 사용하고 있는 것이 특징이다. 그림 9에 카만사의 헬타워 설비 전경이 제시되었다.



자료 : 항우연 출장자료, 2002년도
그림 9. 미국 카만사의 헬타워 설비 전경



자료 : 러시아 전문가 세미나 자료, 1997 년도
그림 11. 러시아 밀사의 헬타워 설비 전경

바. 영국 웨스트랜드(Westland)사의 헬타워

아구스타 웨스트랜드사의 영국 사이트인 웨스트랜드사에는 헬기마다 별도의 헬타워 설비가 존재한다. Sea King, Lynx, EH-101에 대한 헬타워 설비가 각각 존재하며, 주로 양산용으로 동적 밸런싱 및 트래킹 용도로 사용된다. 그림 10에는 웨스트랜드사의 Lynx용 헬타워설비 전경이 제시되었다.

사. 러시아 밀(Mil)사의 헬타워

러시아 밀(Mil)사는 다양한 헬타워 설비가 존재한다. 헬리콥터 종류에 따라 별도로 존재하며, 어떤 헬리콥터는 지상시험용 시체에 직접 붙여서 시험하기도 하며, 별도의 전용 헬타워 설비를 구축하여 시험하기도 한다. 특히, 실제 헬리콥터 엔진을 직접 장착하여 시험하기도 한다. 그림 11에 관련 설비가 제시되었다.



자료 : 웨스트랜드사 세미나 자료, 2000년도
그림 10. 영국 웨스트랜드사의 헬타워 설비 전경

2.3 국내 현황

현재 국내는 확보되거나 구축되어 있는 주 로터에 대한 설비가 존재하지 않는다. 그러나, 축소 로터 시험장치 설비는 당 연구원이 보유하고 있으며, 기타 소규모로 대학교 연구실에서 일부 보유하고 있다. 본 절에서는 당 연구원이 보유하고 있는 축소 로우터 시험장치 (GSRTS, general small-scale rotor test system)에 대하여 간략하게 소개하고자 한다. 표 6에는 개략적인 사양이 제시되었으며, 그림 12에는 당 연구원의 KARI GSRTS 전경이 제시되었다.

표 6. KARI GSRTS 설비 주요 사양

Function	Rotor Diameter : 2m Froude & Mach Scale Test
Rpm	Max. 2100rpm
Driving Motor	Motor Type : Electrical AC Motor 40 hp (20hp X 2)
Hub Type	Default : Articulate Hub Extension -Hingeless hub -Bearingless Hub
Test Items	Aeroelastic Stability Test -At Hover & Forward Flight Ground and Air Resonance Test Performance Test



그림 12. KARI GSRTS 전경

3. 항우연 WTTF 구축현황

3.1 KARI WTTF 요구조건 수립

당 연구원은 해외사례 및 기술조사를 통해 한국형 헬기 주 로터 휠시험을 위한 휠타워 시험설비(Whirl Tower Test Facility, 이하 WTTF)에 대한 요구조건을 수립하였다. 기본적인 한국형 헬기의 주 로터 성능 및 설계 특징을 반영하였으며, 추가로 UH-60 등을 중형 헬리콥터에도 적용할 수 있도록 확장성을 고려하였다. 표 7에 당 연구원이 구축하고 있는 KARI WTTF에 대한 요구조건 및 사양이 제시되었다.

표 7. KARI WTTF 주요 사양

주요항목	사양 및 성능 (안)
소요전력 (구동모터)	정상 : 2.2 MW / 최대 : 2.75 MW (AC 구동모터-수냉식 냉각장치)
로터 운용 회전수	최대 450 rpm
로터 회전면 높이	10m
안전망 높이및직경	높이 : 15 m / 직경 : 25 m * H-Beam(기본골조), twist 와이어(회전면상하)
로터 허브	양산용 : 유니버설 허브(3-블레이드) 연구개발용 : 한국형 헬기 주 로터 허브 (신규 개발의 주 로터 시스템 장착 가능)
조종시스템	컬렉티브 피치 제어 사이클릭 피치 제어
가진 시스템	유압작동기를 통한 피치각 변동 (최대 60 Hz까지 가능)
조종실 건물	1층 : 변전설비, 블레이드보관실, 작업실 2층 : 제어실, 회의실, 편의실
측정 하중크기	3축 발란스 -30,000 lbf(추력), 100,000 lbf*ft(토크), 90,000 lbf*ft(굽힘하중)
액츄에이터	Primary : 전기식 / Secondary : 유압식 110 Channel 이상 확보
DAQ 장비	Wire Type (Slip Ring)/ Remote Data Transmitting System LabVIEW 사용

3.2 KARI WTTF 주요 기능

가. 구동장치(Drive System)

휠타워 구동모터로는 수냉식 AC모터가 설치된다. 과거에는 모터 제어 등 기술적인 어려움 때문에 DC모터가 선호되었으나 현재는 인버터를 이용한 제어 기술의 발달로 인해 운영유지비가 저렴한 AC모터가 주로 사용되고 있다.

본 설비의 구동모터는 정격출력 2.2MW, 순간출력 2.75MW 수준의 대용량으로 UH-60급(22,000lb) 헬리콥터 로터시스템 시험평가를 수행할 수 있는 확장성을 염두에 두고 설계되었다.

구동모터에는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 적용한 최신 주파수 인버터가 탑재되어 전원에 의한 harmonic distortion을 최소화시켜서 안정적인 모터 작동을 보장한다. 또한 정지상태에서 주가동 회전수인 270rpm까지는 토크가 증가하다가 이후 토크를 감소시키면서 최대 450rpm까지 고속 회전수로 가동되는 특성을 가지는데, 그림 12는 휠타워 구동모터의 작동 특성을 제시하고 있다.

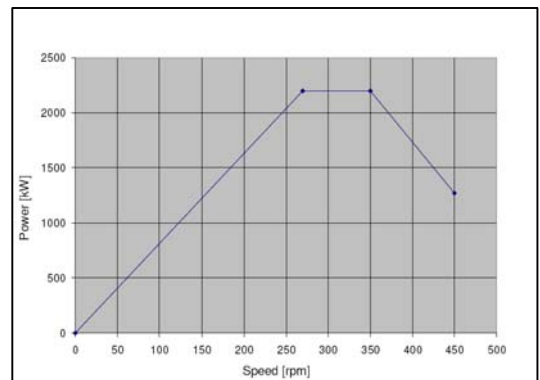


그림 12. 구동모터의 작동 특성

구동모터 제어를 위해 사용되는 주파수 인버터(frequency inverter)는 정지상태에서 최대 속도까지 S-커브 형식으로 부드럽게 출력을 증가시킬 수 있기 때문에 저속 또는 시동시 발생할 수 있는 토크의 맥동없이 안정적으로 모터를 제어할 수 있다는 장점이 있다.

나. 로터 허브 시스템(Rotor Hub System)

헬터위에 장착되는 유니버설 허브(universal hub)는 항공용 소재인 35NCD16로 제작된다. 총 3개의 블레이드를 장착하여 동적 밸런싱 및 트래킹을 수행하게 되는데 그림 13과 같이 간단한 블레이드 어댑터의 교체만으로 다양한 블레이드 장착이 가능하며, 나아가 특수 어댑터를 적용하면 UH-60, 중형 민수 헬기 등 다른 헬리콥터의 주 로터 블레이드를 장착하여 시험할 수 있다.

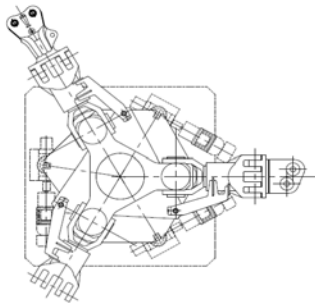


그림 13. 유니버설 허브 형상

컬렉티브 조종부는 1개의 AC모터로 스크루를 회전시켜 네 군데 지지점을 상승/하강시키는 방법으로 컬렉티브 각을 조절한다. 모터 축에 탑재된 디지털 회전 인코더에 의해 0.1분 단위의 정확도로 측정이 가능하다. 모터의 비정상적인 작동에서 기인하는 사고를 방지하기 기계적 제한장치 및 전기적 제한 스위치(limit switch)가 설치된다. 그림 15는 컬렉티브 조종부의 평면도를 제시하고 있다.

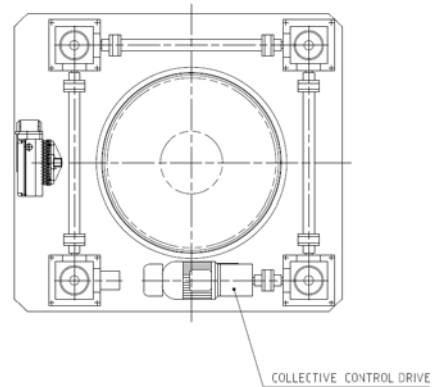


그림 15. 컬렉티브 피치 조종부

다. 로터 조종 시스템(Rotor Control System)

실제 헬리콥터에는 작동기에서 컬렉티브 조종과 사이클릭 조종을 복합적으로 작용되지만 본 설비에서는 컬렉티브 조종부와 사이클릭 조종부가 분리 설계되었다. 그림 14는 2단으로 구성되어 있는 주 로터 조종 시스템을 제시하고 있다.

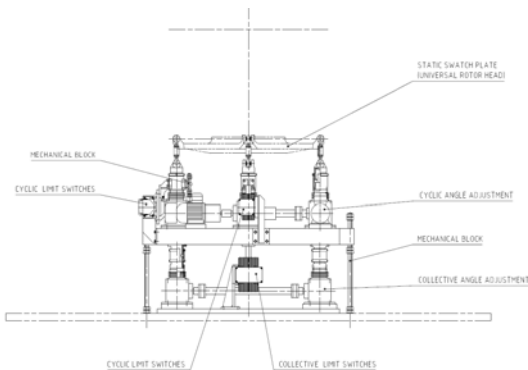


그림 14. 주 로터 조종시스템

사이클릭 조종부는 3개의 AC모터를 사용하여 종/횡(longitudinal/lateral) 방향에 대한 작동력을 발생시키며, 헬리콥터 기종에 따라 반지름 방향과 원주 방향으로 모터의 위치를 옮겨서 장착할 수 있도록 설계되었다. 그림 16은 사이클릭 피치 조종부의 평면도를 제시하고 있다.

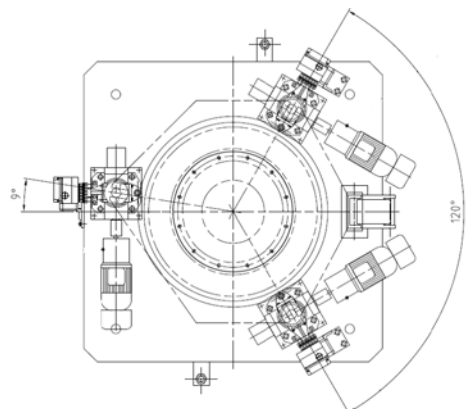


그림 16. 사이클릭 피치 조종부

또한 사이클릭 조종부에는 동적 안정성시험 시 가진을 위한 유압작동기가 장착된다. 최대 스트로크 1인치 상태에서 23Hz까지 가진이 가능하며, 스트로크를 감소시키면서 최대 60Hz까지 가진할 수 있도록 설계된다.

일반적으로 실제 헬리콥터에 비해 사이클릭 조종에 의해 로터 마스트에서 발생하는 과도한 굽힘 모멘트를 제한하기 위해서 컬렉티브 조종부와 마찬가지로 기계적 및 전기적 제한 스위치가 설치된다. 뿐만 아니라 시험 중 갑작스러운 전원차단, 블레이드 파손 등과 같은 위급한 경우에는 UPS에 의해 30분간 전원 공급이 보장되어 컬렉티브 각 및 사이클릭 각을 0도로 감소시키면서 감속하여 정지하게 함으로써 더 큰 사고를 방지하는 비상정지기능이 작동하게 된다.

라. 계측장치

헬타워 시험 중 계측되는 신호를 전송하기 위해 총 110채널이 확보되어 있다. 이중 60채널은 회전부 계측용 텔레메트리(telemetry)를 이용한 무선채널이고, 나머지 50채널은 비회전부 계측용 유선 채널이다.

텔레메트리(telemetry)는 16비트 해상도, 10kHz 샘플링 속도(sampling rate)를 가지며, 계측된 신호를 로터 헤드에서 일차적으로 증폭시킨 후 구동모터 하부에 있는 안테나로 전송시킨다. 센서에 의해 계측되어 유무선으로 전송된 신호들은 LabVIEW 기반의 신호처리 프로그램을 통해 물리량으로 변환된다.

당초 슬립링(slip ring)을 이용한 계측장치를 텔레메트리 장치와 혼용할 계획이었으나 헬타워가 설치되는 해안환경의 특성상 접촉식 계측장치는 부적합하다고 판단하여 슬립링은 텔레메트리의 전원공급용으로만 사용하기로 결정했다.

헬타워 시험 중 발생하는 추력, 토크 및 굽힘모멘트는 모터축과 로터 마스트 사이에 장착되는 일체형 계측장치에 의해서 측정되는데, 일체형구조로 인해 분리형 구조일 때보다 축의 길이를 단축시킴으로써 계측오차를 0.5% 이하로 줄일 수 있었다.

마. 보조장치

① 이동식 행거 (sliding hangar)

이동식 행거는 악천후시 시험설비를 보호하기 위해 헬타워를 덮을 수 있도록 이동된다. 또한 설비를 보호할 뿐만 아니라 악천후시에도 시험준비작업을 가능하게 함으로써 기후로 인한 시험일정의 영향을 줄일 수 있다.

② 안전 펜스 (safety fence)

안전 펜스는 시험도중에 블레이드가 이탈할 경우 안전을 확보하기 위해 모터를 중심으로 설비 둘레에 설치된다. 과거 구축된 헬타워는 나무로 된 안전펜스가 설치된 경우도 있으나 최근에는 H빔과 같은 금속재 기둥을 세우고 기둥사이에 철망을 설치하는 경우가 많다.

③ 블레이드 리프트 (Blade lift)

헬타워 시험시 지면에서 장착부까지 블레이드를 들어 올리는 부대설비로서, 블레이드의 원활한 장착을 위해 회전자유도를 가지도록 설계되어야 한다. 본 설비의 경우 작업인력 탑승용으로도 동시에 활용하는 방안을 고려하고 있다.



그림 16. 블레이드 리프트 예(유로콥터 독일)

4. 결 론

지금까지 세계 유수 헬리콥터 회사들의 주 로터 헬시험을 위한 설비에 대한 경향과 사양에 대하여 기술하였다. 또한 지속적으로 성능 개량 등을 통해 최신의 기술 및 장비를 적용하여 운영하고 있는 것을 알 수 있었다. 현재 한국형헬기개발사업(KHP)에서

구축중인 다목적 기능의 KARI WTTF(whirl tower test facility) 요구조건 및 구축 현황에 대해서도 기술하였다. 당 연구원의 WTTF는 한국형기동헬기(KUH)의 주 로터 휠시험 및 내구성 시험을 위해 구축되고 있다. 본 시험설비는 연구개발용 시험과 양산용 시험을 모두 수행할 수 있도록 다목적으로 개발될 예정이다. 본 설비는 기존 해외 설비와는 차별화되어 다목적 시험을 할 수 있도록 설계가 진행중이며, 2008년12월에 구축 완료 예정이다. 다목적 휠타워는 앞서 설명한 바와 같이 설계가 진행되어 왔으며, 현재 PDR을 종료하고 CDR을 준비하고 있는 단계이다. 2008년 말 완공될 다목적 휠타워 설비의 개념도는 그림 17과 같다.

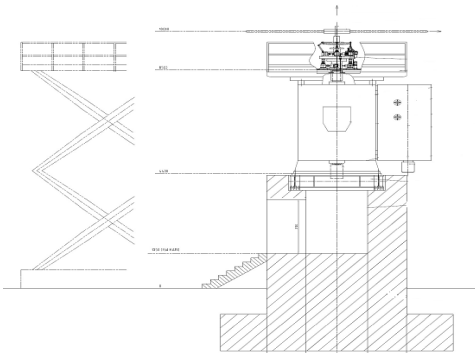


그림 17. KARI WTTF 개념설계도

4. D.K. Kim, J.H. Kim, et al. "A correlative study on aeroelastic stability improvement for composite hingeless hub system by comparing analysis and experimental results", the 62nd AHS Annual Forum, Phoenix, Arizona, May 9-11, 2006
5. 김덕관, 김준호, "Whirl Tower 설비 기술사양 조사 관련 해외 출장 귀국보고서", 2006, 한국항공우주연구원
6. 이대성 외, "중형 헬기용 Full scale 시험평가 방안 및 기술 연구", 2006, 보고서 한국항공우주연구원
7. 홍단비, 김태주, 김덕관, 김승호, "헬리콥터 주로터 시험용 다목적 휠타워의 사양 결정", 헬기 기술 심포지움, 건국대학교, 2007.8

후 기

동 연구는 산업자원부 한국형헬기 민군겸용구성 품개발사업(KARI주관) 연구결과 중 일부임.

참고문헌

1. Request for Proposal : Whirl tower test facility, Korea Aerospace Research Institute, 2007
2. Contract : Whirl tower test facility, Korea Aerospace Research Institute, 2007
3. Super Lynx Offset Program, "Technology Transfer Seminar", GKN-Westland, 1999