

한국형 기동헬기 개발을 위한 비행시험 계획 및 시험결과 개요

An Overview of Flight Test Planning and Test Results for the Development of Korean Utility Helicopter

권혁준* 박재영*
Hyuk-Jun Kwon Jaeyoung Park

ABSTRACT

The objective of this paper is to give a general understanding for the development flight test of Korean Utility Helicopter(KUH). This paper contains the contents of detailed flight test plan, the type of flight test, an introduction to main flight test area, and the overview of flight test results. At the beginning, more than 8,500 test points were identified for airworthiness certification to show the compliance for the KUH development requirements. However, the number of flight test points were optimized to 7,800 at the end. To accomplish the test objectives, about 860 flight test sorties had been performed, and more than 1,000 test sorties were consumed for trouble shooting. This paper also describes some major issues faced during development flight test phase.

Keywords : Korean Utility Helicopter(한국형 기동헬기), Flight Test Plan(비행시험 계획), Development Flight Test(개발 비행시험), Airworthiness Certification(감항인증)

1. 서론

한국형 기동헬기 개발사업(KHP : Korean Helicopter Program)은 현재 군이 운용중인 노후화된 기동헬기(UH-1H, 500MD)를 대체하기 위해, 방위사업청과 지식경제부가 공동으로 헬기 체계 및 핵심 구성품을 개발하는 국책사업이다. 사업 추진체계는 방위사업청 KHP 사업단을 중심으로 국방과학연구소(ADD), 한국항공우

주연구원(KARI) 및 한국항공우주산업(KAI)이 개발주관 기관으로 참여한다. 아울러 국방과학연구소는 개발주관기관 역할 외에 KHP기술관리단이라는 별도 조직을 구성하여 기술적 분야에 대한 관리/감독 업무와 감항인증 주관기관의 역할을 수행하도록 하였다.

항공기를 개발하는데 있어서 개발비행시험은 개발요구도 충족 여부 및 성능데이터 획득과 함께 항공기 감항인증 기준 충족여부를 확인하는 핵심적인 역할을 한다. KHP사업에서 개발비행시험은 2010년 3월에 1호기 초도비행을 시작으로 2012년 4월까지 총 26개월간 진행되었다.

개발비행시험을 실시하기 위해서는 분야별로 세부적

† 2013년 2월 25일 접수~2013년 5월 17일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 권혁준(hjkwon@add.re.kr)

인 시험계획이 필요하다. KHP사업에서는 AMCP 706-203^[1]/204^[2] 및 ADS-51^[3], FAR-29^[4], AC29^[5] 등과 같은 감항인증 기준문서와 각종 군사규격, KUH 개발규격서, 해외시험사례 등을 참고하여 총 34개 분야에 대해 상세비행시험계획서를 작성하였다. 이러한 비행시험 계획은 비행시험이 진행되는 과정에서 지속적인 최적화 과정을 거치게 된다. KHP사업에서도 초기 8,500여 개의 시험조건을 식별하였으나, 지속적인 검토를 통해 최종적으로는 7,800여 개 시험조건으로 재조정되었다. 아울러 상세비행시험계획서 또한 초기 32종에서 34종으로 변경되었다.

본 논문은 한국형 기동헬기 개발을 위해 준비된 비행시험 계획의 전반적인 현황과 시험 수행결과를 정리하였으며, 이를 통해 헬기 개발을 위한 비행시험 전반을 이해하는데 도움을 주고자 한다.

2. 비행시험 계획 요약

Table 1. List of Detailed Flight Test Plans

구분	시험 분야(계획서 목록)
비행성능	Air Data Calibration, Performance, Handling Quality, AFCS
기체구조	Load Survey, Structural Integrity Demo.
동특성	Vibration, Ground Resonance, Air Resonance, Rotor System Stability, Horizontal Stabilizer Stability, Noise(Internal/External)
추진계통	Engine Integration, Auxiliary Power System, Drive System, Fuel System, IR Suppressor
항전계통	Avionics, ASE, MEP Development Equipment, HUMS, Electromagnetic Compatibility
세부계통	Hydraulic System, Electrical Power System, Environmental Control System, Landing Gear System, F&E, Armament
기타	Initial Phase, Climatic(Rain/Snow/Hot Day/Cold Day), Icing, Integrity Flight Demo, Determination of Limitation, High Altitude Paradrop Demo

비행시험을 진행하기 위해서는 우선적으로 상세비행 시험계획서가 작성되어야 한다. 상세비행시험계획서에는 각 시험별 목적, 기본개념, 시험절차, 시험조건, 장착 센서, 모니터링 파라미터 등이 수록된다. 그리고 상세비행시험계획서를 바탕으로 각 임무별로 항공기 형상 및 구체적인 시험방법, 조건 등을 Test Card 형태로 작성하여 시험조종사에게 제공한다. Table 1은 KHP사업에서 작성된 비행시험 상세계획서 전체 목록이다. 그리고 각 분야별로 Table 2와 같은 내용으로 상세계획서를 작성하게 된다.

Table 2. Contents of Detailed Flight Test Plan

No.	항목	주요 내용
1	Introduction / Test Objectives	시험개요, 목적, 대상호기 등
2	Success Criteria	평가기준 및 비행시험을 통해 입증해야하는 요구도 등
3	Related Document	시험계획서 작성을 위한 근거 및 참고문서 목록
4	Configuration	항공기 중량/CG 및 장착되는 계측/시험장비 외형 형상 해당 시험과 관련된 계통형상
5	Test Procedure	세부항목별 구체적인 시험 및 항공기 조작 절차
6	Test Condition	비행시험 조건(중량/CG, 고도, 속도, 기동형태, RPM 등)
7	Quality Assurance	비행시험 파라미터(중량/CG, 속도, 고도, 온도, 자세 등)에 대한 허용오차 계측장비 보정 방안 감항인증기관 확인 방안
8	Limitation & Clearance	비행시험 제한사항
9	Flight Test Instrumentation	계측장비 목록 및 제원
10	Test Data Processing	실시간 모니터링 및 데이터 후처리 방안 실시간 모니터링 관련 SOF/SOT 목록
11	Safety	비행안전을 위해 특별히 요구되는 사항(낙하산 등) 및 추적기 지원 여부
12	Reporting	비행시험 결과 보고서

전체 비행시험에서 많은 부분을 차지하는 분야는 성능, 하중, 비행성, 항전 및 임무장비, 진동 및 동적 안정성, 엔진통합, AFCS 등이다. 이 중에서도 특히 하중, 비행성, 항전 및 엔진통합 분야가 전체의 60% 이상을 차지한다. 앞서 제시한 7,800개 시험조건 중 각 분야가 차지하는 비중을 Fig. 1에 간략히 제시하였다. 아울러 주요 시험분야를 간략히 소개하면 다음과 같다.

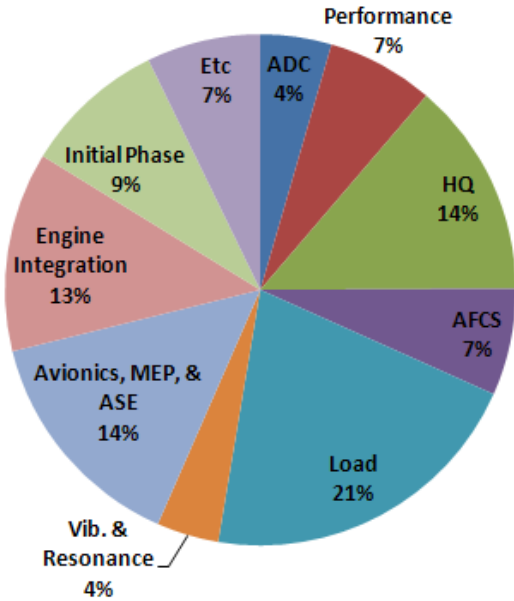


Fig. 1. Percentage of Flight Test Points

가. 초기영역 확장시험(Initial Phase Test)

초기영역시험은 항공기의 전반적인 기능 및 운용안정성과 항공기 계측시스템을 포함한 시제기의 비행시험 준비상태를 확인하는 시험이다. 아울러 초도비행을 포함한 초기 영역확장과 비행시험 진행 간 형상변경 위험성을 최소화하기 위해 비행시험 형상을 사전에 선정하는 역할을 하게 된다. 예를 들어 비행시험 과정에서 항공기가 충분한 동안정성을 갖지 못하는 경우 테일붐 하부에 수직편을 추가할 수 있다. 또한 주 임무속도에서 항공기 피치 자세를 수평으로 맞추기 위해 수평안정판의 장착 각도가 달라질 수도 있다. 이러한 형상 변경이 뒤늦게 이뤄질 경우 기존 시험결과의 유효성이 훼손되어 제시함에 따른 일정 차질이 있을 수 있다. 따라서 비행시험 영향성이 큰 형상변경 사항은 가급적 비행시험 초반에 결정하여야 한다.

비행영역은 비행시험의 효율성과 안전성을 고려하

여 중량 및 무게중심, 속도, 고도, 시험 과목별 난이도 등을 순차적으로 넓혀가게 된다. 통상적으로 비행영역의 확장은 속도 → 무게중심 → 중량 순서로 진행되게 되며, 저고도에서 중량 확장까지 완료된 이후에 중고도 및 고고도에 대해서도 동일한 순서로 영역을 확장하게 된다. 여기서 10,000ft 이상인 고고도가 차지하는 시험비중은 전체의 약 6% 수준이며, 이 중 절반이 하중시험이다. 고고도까지 영역 확장이 완료된 이후에는 고위험 시험을 실시하게 된다. 상기 순서를 요약하면 Table 3과 같다. 여기서 초기영역 확장시험은 1, 2단계와 3, 4단계의 일부를 포함하고 있다. 좀 더 구체

Table 3. Flight Envelope Expansion Procedure

단계	주요 내용
1	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor Tracking & Balancing 및 기타 항공기 점검 • IGE Hover, Slow Turns • 전/후/좌/우방향 저속 비행(최대 30kts) • 저속 전진배행(최대 50kts) • 지상운용 및 활주
2	<ul style="list-style-type: none"> • 비행 안전고도까지 상승(통상 2,000ft) • 속도영역 확장 • 낮은 각도의 선회 • HQ 및 Stability 확인 • High OGE • 일부 성능/하중 데이터 확인
3	• CG 영역 확장 후 2번 반복
4	• 중량(Mid → Max) 및 CG 확장 후 2번 반복
5	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 중량 및 CG 위치에서의 고도 확장 (5,000ft) 후 2번 항목 반복 • 상승 관련 일부 성능시험
6	• 5,000ft에서의 중량 및 CG 확장 후 2번 항목 반복
7	• 저고도 시험
8	• 10,000ft 이상 고고도 시험 및 최대고도 영역 확장
9	<ul style="list-style-type: none"> • 비상절차 / Critical Maneuvers • 항공기 운용제한 확인 • Full System Testing • Load Survey 완료 • 외부화물 시험 • 혹서기/혹한기 시험 등

적으로 살펴보면 초도비행은 지상활주와 약 30ft 이내의 IGE Hover로 구성된다. 초도비행 이후에는 활주로 위에서 제자리 선회 및 저속 전진비행을 점차 속도를 증가시켜가며 실시하게 된다. 다음으로는 활주로 상공에서 약 200ft까지 이착륙 시험을 2~3차례 반복한 후, 장주 및 표준선회비행을 수행한다. 이후에는 바람에 대한 자세 유지 가능여부를 확인하기 위해 약 20kts까지 측방 및 후방 비행을 실시한다. 이러한 단계를 거친 후 Table 3과 같이 속도 확장(약 130kts) 및 비행성 확인을 위한 낮은 수준의 기동을 수행한다.

나. 공력 데이터 보정시험(Air Data Calibration Test)

공력 데이터 보정시험은 대기자료 센서의 장착 위치 등에 의해 발생하는 속도 및 고도 오차를 보정하고, 개발규격서에 제시된 오차 요구도를 충족하는지 확인하기 위한 시험이다. 따라서 모든 비행시험의 근간이 되는 속도 및 고도 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 가장 우선적으로 실시된다. 본 시험에서는 비행시험 장비인 Nose-boom에 대한 보정 또한 포함하고 있다.

공력 데이터 보정시험은 Nose-boom과 Pitot probe의 정압 보정을 위해 활주로 인근에 Master pole을 세우고 활주로 상공에서 저고도로 비행하는 Low Altitude Fly-By(LAFB)와 Level, Climb, Descent, Side Heading, Dive 등 다양한 자세 및 기동조건에서 데이터를 획득하는 시험으로 구성되어진다.

다. 성능시험(Performance Test)

성능시험은 군 ROC 및 개발규격서에 제시된 성능 요구도를 입증하기 위한 목적뿐만 아니라, 감항인증 관점에서도 비행교범에 반영할 성능 데이터를 확보해야 한다는 점에서 매우 중요하다. 아울러 모든 성능 데이터를 비행시험을 통해 확보하기에는 현실적인 제한이 있음에 따라, 성능 예측 프로그램의 평가 및 보정 변수 도출을 위해서도 시험을 실시하게 된다. 성능시험의 주요 구성은 Table 4에 제시되어 있다.

상기 시험항목에 대해 중량/CG, 고도, 속도 및 엔진 출력조건 등을 변경해가며 시험을 실시하며, 일부에 대해서는 항공기 형상 영향성을 확인하기 위해 수평비행에 대해서는 병력실 문을 개방하거나, 적외선감쇠기(IR Suppressor)를 탈거한 형상으로도 시험을 진행하게 된다.

Table 4. Performance Test Overview

No.	항목	시험 목적
1	Take-off	50ft 장애물 통과에 필요한 이륙 거리 확인 H-V 영역 회피를 위한 적정 이륙속도 정의
2	Landing	50ft 장애물을 넘어 착륙가능한 수평거리 및 속도 확인
3	Hover	IGE 및 OGE 조건에서의 제자리 비행 성능 확인
4	Forward Climb/Descent	가용한 상승률 및 강하율 확인 성능 보정계수 도출
5	Autorotative Descent	Autorotation 상황에서 최소 강하율 속도 및 최장거리 비행 속도 확인
6	Vertical Climb	수직 상승 성능 확인
7	Level Flight	최대수평속도, 최장거리 속도, 최대 순항속도 확인 및 요구 동력 산출
8	H-V Test	OEI(One Engine Inoperative) 조건에서 안전한 이착륙이 가능한 속도 및 고도 영역 확인
9	Endurance	기동조건 별 연료소모율 산출 및 항속시간 확인

라. 비행성시험(Handling Quality Test)

비행성 시험은 고도, 속도 및 중량과 무게중심 한계를 변화시켜가며, 항공기 개발규격서에 제시된 비행성 규격과 FAR-29를 기반으로 작성된 감항인증 기준의 비행성 요구도를 충족하는지를 확인하기 위한 시험이다. 이 시험은 비행성과 관련한 한계를 설정하는 것을 목적으로 한다. 아울러 비행성 시험은 ‘기본형상’, ‘외부화물 인양 형상’, ‘객실문 개방형상’, ‘기총 장착형상’과 같이 4개 형상에 대해 실시된다. 비행성 시험을 통해 확인하는 사항은 Table 5에 간략히 정리하였다.

마. 자동비행조종장치시험(AFCS Test)

AFCS 시험은 AFCS를 한국형 기동헬기 특성에 맞게 최적화하는데 필요한 데이터를 획득하고, 규격서에 제시된 성능을 평가하기 위한 목적으로 실시된다. AFCS의 경우 해외 체계업체인 Eurocopter사에서 인증을 책

Table 5. Handling Quality Test Overview

No.	항목	시험 목적
1	Control Position & Trim	출력 및 속도에 따른 조종간 위치 및 Control Margin 확인 Trim 특성 확인
2	Low Speed Translation	측/배풍 상황에서의 조종성 및 Control Margin 확인
3	Static Stability	항공기 종축 정안정성 확인 항공기 횡축 및 방향축 정안정성 확인
4	Cyclic Control Characteristics	종축 및 횡축 조종계통의 조종변위 대 조종력 비례 관계 확인
5	Controllability	조종입력에 대한 항공기 반응 확인
6	Dynamic Stability	외란에 대한 장주기 진동(10초 이상) 및 단주기 진동(10안정성 확인
7	Maneuverability	공기역학 선도 내에서 조종사의도에 따른 기동하중배수 달성 가능 여부 확인 장애물 회피능력 확인
8	AFCS Disengagement	AFCS off 상태에서의 비행성 확인
9	Simulated Engine Failure	한 엔진 또는 두 엔진이 순차적으로 꺼지는 상황에서 항공기 자세유지 가능여부 확인 Autorotation 시 비행특성 확인
10	Ground Handling & Miscellaneous	지상운용(활주 및 회전) 시 비행특성 확인
11	Take-off/Landing	경사지 이착륙 가능여부 확인 활주 이/착륙 특성 확인
12	Handling Quality Level Evaluation	ADS-33에 제시된 비행성 수준 평가

입지는 분야임에 따라, Eurocopter사에서 AFCS 튜닝 및 입증에 대해 요구한 시험조건 위주로 구성되었다.

AFCS 시험은 피치, 롤, 요, 콜렉티브 입력에 대한 안정화 특성 및 트림 특성을 확인하기 위한 기본안정화 모드시험, 속도유지, 방향유지, 고도유지 및 Navigation Coupling, Auto ILS Approach 등의 기능을 확인하기

위한 Upper mode 시험, 조종간에서 손을 떼었을 때 항공기가 정해진 범위(속도, 출력, 고도 등) 내를 유지하는지 확인하기 위한 Carefree Handling 시험, AFCS 고장 상황에서도 비행안전에 위협하는 수준으로 조종사에게 과도한 임무부하를 유발하지는 않는지 확인하기 위한 Degradation and Failure 평가시험 등이 있다.

바. 하중시험(Load Survey and Demo Test)

하중시험은 크게 하중개관시험과 구조건전성 입증시험으로 구분된다. 여기서 하중 개관시험은 동적 구성품의 피로수명평가를 위한 비행하중 데이터를 획득하기 위한 시험이며, 구조건전성 입증시험은 정하중 요구조건에 의해 설계된 기체 구성품들의 정적강도 마진을 평가하고 항공기의 정적 하중한계를 확인하기 위한 시험이다. 단, 하중개관시험에도 추후 구조건전성 입증이 필요한 가혹한 기동조건을 식별하고, build-up 과정을 진행하기 위한 시험조건이 포함되어 있다.

하중시험의 경우 속도 및 하중배수 측면에서 운용한계를 확인하는 역할을 수행함에 따라, 이러한 조건에서도 로터 및 수평미익 등에서 공탄성적 불안정현상의 발생유무 및 조종사에게 불안감을 안겨줄 수 있는 과도한 진동이 발생하는지 여부를 함께 확인하게 된다.

사. 진동 및 지상/비행공진시험

(Vibration, Ground/Air Resonance Test)

KUH 항공기의 진동시험은 크게 2가지로 구분된다. 첫 번째는 항공기 개발규격서에 제시된 진동요구수준을 충족하는지를 확인하는 시험이다. 통상의 헬기 진동요구도는 수평비행상태를 기준으로 함에 따라 본 시험은 수평비행상태에서 중량, CG, 고도를 변화시켜가며 진동수준을 확인하게 된다. 다음으로는 헬기가 운용되며 겪게 되는 대표적인 기동조건에서 과도하게 진동이 증가하거나, 예상치 못한 이상진동이 발생하는지를 확인하는 시험이 있다. 이 시험은 통상적으로 하중시험이나 비행성시험과 함께 실시된다.

지상공진 현상은 지상에서 기체의 1st regressive lead-lag mode와 기체의 roll mode 또는 pitch mode의 진동수가 근접하여 발생하게 된다. 따라서 지상공진 시험에서는 아래와 같이 항공기의 다양한 운용조건을 고려하게 된다.

- 중량(MTW~MTOGW) 및 CG(Fwd~Aft)
- AFCS On/off

- Ground surface stiffness(Concrete, Grass, Sand)
- Nose wheel orientation
- Temperature(Hot/Cold)
- Malfunction(Main L/G Tire, Oleo Strut, Combination)
- Taxi on uneven surface

지상공진시험은 상기 조건들을 변화시켜가며 로터 회전방향으로 약 3Hz 정도의 조종입력을 주는 방식으로 진행된다. 아울러, 엔진출력조건을 이륙 직전 상황까지 점진적으로 높여가며 시험을 반복한다.

비행공진 현상은 지상공진과 유사하게 로터의 리드-래그(Lead-lag) 모드와 기체의 펜듈럼(Pendulum) 모드가 연계되어 나타나는 현상이다. 시험방법 또한 지상공진과 유사하게 인위적인 조종간 입력 후 기체진동 및 주로터 리드-래그 댐퍼 변위의 수렴 여부를 확인하여 비행공진 안정성을 판정하게 된다. 한국형 기동헬기에서는 조종간 입력(Longitudinal/Lateral Doublet, Steering) 후 항공기 진동이 절반 이하로 줄어드는데 소요되는 시간이 0.5sec 이내이면 비행공진 현상이 발생하지 않는 것으로 판정한다. 아울러, 하중 및 성능시험과 함께 고온/고고도/고중량 및 고속조건에서 최대 선회각으로 선회 시 불안정 현상이 발생하는지를 확인하는 방식이다. 단, 이 경우에는 비행안전 문제로 인해 조종간에 별도의 가진을 주지는 않는다.

아. 항전 및 임무/생존장비시험(Avionics, MEP/ASE Test)

항전분야 시험은 비행에 필수적인 전자장비 시험 이외에도 군 운용을 위한 임무장비에 대한 시험을 포함하고 있다. 또한 전시 운용을 고려한 레이더 경보장치(RWR), 레이저 경보장치(LWR), 미사일 경보장치(MWR) 및 방어장비(CMDS)로 구성된 생존장비 시험을 포함하고 있다.

첫 번째로 항전장비 통합시험은 항공기 상태 데이터(엔진, 로터, 트랜스미션, 유압, 전기 등)의 IVI 시험, 주요 비행정보(고도, 속도, 자세, 상승률 등)의 정확한 통합예비계기(ISI) 시험, 각종 경고/주의정보의 MWP(Master Warning Panel) 및 CWP(Caution Warning Panel) 시험 등이 정상적으로 이뤄지는지를 확인하는 시험이다.

두 번째로 임무장비 통합시험은 각종 항공기 상태 정보, 비행정보, 항법정보, 전자지도, 생존계통 위협정보 및 운용정보, 전방적외선 감시장비(FLIR)를 통한

적외선 영상, 항공기 점검절차 및 비상절차 등이 임무 컴퓨터를 통해 MFD(Multi Function Display)에 정상적으로 시현되는지를 확인하는 시험이다. 아울러 CDU 및 MFD의 베젤키와 MPP/CCP/ECP 등의 각종 제어패널, HOCAS에 설치된 각종 스위치를 통해 MFD 화면 시험, 전자지도, 통신/식별계통장비 등을 정상적으로 제어할 수 있는지를 함께 확인하게 된다.

세 번째로 임무장비 시험은 한국형 기동헬기에 장착된 각종 임무장비(인터콤, 무전기, FLIR, GPS/INS, 전파고도계 등)의 기능 및 성능을 평가하는 시험이다. 이 시험은 임무장비 통합시험과 함께 실시된다.

마지막으로 생존성시험은 각종 위협신호의 정확한 탐지 및 시현여부와 위협으로부터 항공기를 방어하기 위해 체크/플레이어가 정상적으로 발사되는지를 확인하는 시험이다.

자. 엔진통합시험(Engine Integration)

엔진통합시험은 크게 엔진장착계통시험, 화재/소화장치시험, 비틀림안정성시험, 온도시험, 엔진진동시험으로 구성되어 있다. 이 중 엔진장착계통시험은 비행 중 엔진계통의 전반적인 기능점검 및 항공기와의 적합성을 확인하는 시험이다. 세부 시험항목으로는 기능 및 운용 적합성 확인시험, 엔진 흡입구 공기 온도 및 압력측정시험 등이 있다. 엔진통합시험의 또 다른 분야인 화재/소화장치시험은 화재발생 시 화재감지 능력과 소화장치의 소화능력을 만족하는지 확인하는 시험이다. 비틀림 안정성시험은 엔진 및 동력전달계통의 동적 안정성을 확인하는 시험이다. 다음으로 온도시험은 엔진장착계통의 냉각성능을 확인하는 시험이다. 이 시험은 기후시험 중 혹서기시험과 함께 실시된다. 마지막으로 엔진진동시험은 항공기 체계가 장착된 엔진(GE T700-701K)의 진동 요구도를 만족하는지 확인하는 시험이다. 항공기에서 유발되는 진동이 엔진이 견딜 수 있는 진동수준을 초과할 경우, 엔진 수명이 감소하거나 고장이 발생할 수 있음에 따라 반드시 확인되어야 하는 사항이다.

차. 기타(Etc.)

앞 서 제시된 바와 같이 전체 비행시험에서 많은 비중을 차지하는 주요 시험분야 이외에도 많은 시험분야가 있다. 이 중에는 연료, 동력전달, 환경제어, 착륙장치, 전기계통 등 항공기를 구성하는 주요 계통의 정상 작동여부를 확인하는 시험이 있다. 이 시험은 통

상적으로 다른 시험을 실시하는 동안에 함께 확인함에 따라 별도의 시험소요가 많지는 않다.

기타 시험분야에서 시험조건은 많지 않더라도 상당히 의미 있고 중요한 시험들이 있다. 이러한 시험 중 대표적인 것이 기후시험과 Limitation 시험이다. 기후 시험은 강우시험, 강설시험, 혹서기시험, 혹한기시험으로 구성되어 있으며, 각각의 가혹한 환경조건에서 항공기 체계가 정상적으로 운용 가능한지를 확인하는 시험이다. 기후시험의 경우 시험 특성 상 주변 환경에 영향을 많이 받음에 따라 실제 시험을 수행하기는 상당히 난해한 시험이다. 예를 들어 강우시험의 경우 시간 당 수십 mm 이상의 폭우를 조우해야하며, 강설시험은 가시거리가 400m 이내인 폭설 상황에서 시험이 수행되어야 한다. 혹서기 및 혹한기시험 또한 국내 여건 상 목표로 한 온도조건에서 시험을 실시하기가 쉽지 않다.

Limitation 시험은 비행교범에 반영할 항공기의 각종 운용한계를 확인하는 시험이다. 이를 위해서는 마진을 확보하기 위해 교범에 제시되는 한계(Placard Limit)를 초과하여 시험을 수행해야 함에 따라 전 비행시험 과정에서 가장 난이도가 높고 마지막에 실시되는 시험이다. 예를 들어 항공기 제한속도(VNE : Never Exceed Airspeed)를 확정하기 위해서는 모든 중량에서 1.11VNE 까지 시험이 실시되어야 한다. 특히 이 때 로터 회전 속도 또한 최소 및 최대회전속도가 조합된 상태에서 실시되어야만 한다. 또 다른 예로 엔진 정지 시 로터의 운용한계를 설정하는 시험은 비행교범에 제시되는 저속한계의 95% 및 고속한계의 105%까지 시험이 실시되어야 한다. 이러한 시험들은 헬기 감항인증을 위해 반드시 필요한 시험이다.

3. 비행시험 결과

KHP사업에서 비행시험은 2010년 3월 초도비행을 시작으로 2011년 12월에 끝마칠 예정이었다. 그러나 혹한기시험, 하중시험, Limitation 시험 등 계절적인 영향을 받는 시험들과 항공기 운용한계에서 실시되어야 하는 시험들이 완료되지 못하였다. 그리고 진동문제 등으로 인해 항공기 로터 형상변경 소요가 발생하여 약 4개월가량 지연된 2012년 4월에 개발비행시험이 종료되었다. 이 기간 동안 실시된 비행시험은 약 2,030소티이며 주요 구성은 Table 6과 같다.

Table 6. Accomplished Flight Test Sorties

번호	구분	비행 소티
1	계획 시험	유효 소티
2		재시험 소티
3	비계획 시험	고장탐구
4		조종사 훈련
5		기타
합계		2,030

Table 6에서 제시된 바와 같이 상세비행시험계획서의 시험조건을 위해 실시된 시험은 약 860소티이며. 이 중에서 약 140소티는 획득된 시험데이터에 문제가 있거나 항공기 형상이 중간에 변경되어 재시험을 실시하였다. 재시험이 가장 많이 실시된 분야는 하중, 항전 및 AFCS 분야이다. 하중시험의 경우 초기에 예상하지 못했던 동적실속(Dynamic Stall) 문제 등이 발생하였으며, 동적구성품의 피로수명과 관련한 시험데이터 획득 방법 및 평가기법과 관련하여 감항인증기관과 많은 재논의가 있었다. 이러한 이유로 하중시험은 시험데이터를 추가 확보해야 하는 경우가 많았다. 항전분야는 비행시험 중 결함이나 성능이 기준을 충족하지 못하는 사례가 많았으며, 이로 인해 개선조치 후 재시험을 수행한 경우이다. 마지막으로 AFCS 분야는 대부분 특별한 문제는 없었으나 일부 비행시험 데이터가 AFCS 튜닝 및 인증에 적합하지 않아 재시험을 실시한 경우이다.

상세비행시험계획서에 계획된 시험조건 중 유효한 것으로 판단된 약 720소티에 대한 개략적인 비율을 Fig. 2와 같이 정리하였다. 여기서 Fig. 1의 비행시험 조건 비율과 비교하였을 때 초기영역 확장, 엔진통합, 진동 분야는 상대적으로 비율이 낮아지고, 성능, 항전, 및 기타분야의 비율이 높아진 것은 각 분야별 시험의 성격과 난이도가 상이하기 때문이다. 예를 들어 성능 시험의 경우 교범에 반영할 데이터를 확보하기 위해서는 하나의 시험조건을 수차례 반복해야 하는 경우가 있다.

한국형 기동헬기의 경우도 여타의 항공기 개발사례와 같이 비행시험 과정에서 수많은 결함 및 설계개선 사항이 발견되었다. 항공기에서 발생한 이상현상의 원인을 파악하고, 설계변경에 따른 효과를 확인하기 위

해 약 1,050소트의 비행시험이 실시되었다. 이는 상세 비행시험계획서의 시험조건을 위해 실시된 시험보다도 훨씬 많은 숫자이며, 헬기를 처음 개발함에 따른 시행착오도 한 몫 하였다. 특히 헬기 진동과 관련한 고장탐구에 상당한 시간 및 임무 소트를 소비하였다.

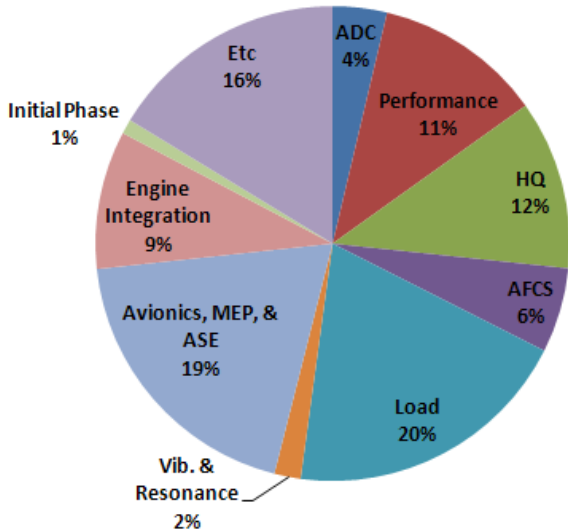


Fig. 2. Percentage of Accomplished Flight Test Sorties

한국형 기동헬기에서 발생한 진동문제는 크게 두 가지로 나뉘볼 수 있다. 첫 번째는 1/rev 또는 4/rev 진동과 같이 로터를 회전시켜야 하는 헬기 특성 상 불가피하게 발생하는 진동으로서, 그 크기를 일정수준 이하로 저감시켜야 하는 문제이다. 다음으로는 통상적으로 헬기에서는 발생하지 않아야 하는 이상진동 문제가 있다. 이 중 첫 번째인 n/rev 진동문제는 조종사의 편의성 및 임무부하에 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 개발기간 중 다양한 설계 변경(고유진동수 회피 등) 및 진동저감장치(Vibration Absorber 등) 장착 연구가 필요하다. KHP사업에서도 진동문제는 개발비행시험을 시작하는 시점부터 문제로 제기되었으며, 수많은 형상변경 및 고장탐구를 통해 2012년 4월에 가서야 최종적으로 기술관리기관의 확인을 받을 수 있었다. 이 기간 동안 진동저감을 위해 조치된 사항으로는 계기 Isolator 재설계, 구조 보강, 조종실 Absorber 설계/장착, 좌석 유격 최적화, 좌석 Absorber 설계/장착, 조종간 고유진동수 회피 설계, 병력실 Absorber 설계/장착, 착륙장치 공진회피, Dome Fairing 장착, 주로터 중량 변경, 주로터 블레이드 동

적 밸런싱 기준 강화, Spring Plate 변경 등이 있다. 다음으로 이상진동과 관련해서는 주로터 및 이와 연결된 주기어박스가 약 12Hz 진동수로 진폭이 급격히 증가하는 문제가 있었다. 이 ‘12Hz 이상진동’ 문제는 로터 불안정현상의 일종으로 비행안전을 심각하게 위협함에 따라 최우선적으로 해결해야 하는 문제였다. 특히 이 현상은 2010년에 1차로 발생하였으며, 구조 보강 및 AFCS 소프트웨어 개선 등 약 3개월에 걸친 고장탐구를 통해 해결한 듯 보였다. 그러나 2011년 6월에 다시 발생하였으며, 진동저감을 위해 장착한 팬들럼이 원인인 것으로 파악되었다. 이 문제는 팬들럼을 탈거하는 방식으로 해결하였다.

진동 다음으로 고장탐구에 많은 시간이 소요된 분야는 항전분야이다. 통상적으로 항공기 체계를 개발할 때는 기 입증된 장비를 장착하도록 되어 있으나, KHP 사업에서는 또 다른 사업 목적상 핵심구성품 개발이 병행되었다. 결과적으로 한국형 기동헬기에는 개발 중인 임무장비 및 생존장비가 장착되었으며, 한국형 기동헬기가 이들을 위한 일종의 Test bed 역할을 하였다. 결과적으로 완성되지 않은 항전장비의 결함을 해결하고, 설계변경 결과를 확인하기 위해 많은 비행시험이 소요되었다.

다른 항공기와 마찬가지로 한국형 기동헬기도 모든 부분이 계획대로 개발되지만은 않았다. 일부는 기술적인 절충이 있었으며, 일부는 완벽하게 확인되지 않은 사항도 있다. 이러한 사항들은 항공기 안전을 위해 운용제한사항으로 반영하였으며, 기술관리기관인 동시에 감항인증 주관기관인 국방과학연구소 KHP 기술관리단의 확인을 거쳐 2012년 6월에 군 감항인증을 획득하였다. 일부 운용제한사항에 대해서는 이를 해제하기 위해 국내외에서 추가적인 시험이 예정되어 있다.

4. 결론

본 논문에서는 한국형 기동헬기 감항인증 및 개발 요구도 확인을 위해 실시된 비행시험 전반을 간략히 요약하여 제시하였다. 개발 비행시험을 위해 34종의 상세 비행시험계획서가 작성되었으며, 비행시험 전 기간 동안 기술관리기관, 개발주관기관 및 시험비행 조종사 간에 약 20여 차례의 검토회의를 통해 지속적으로 보완되었다. 고장탐구 시험을 제외한 모든 비행시

험은 철저하게 상세비행시험 계획서에 의거하여 실시 되었으며, 이러한 비행시험 결과는 총 7,500 페이지 분량의 분야별 비행시험 결과보고서로 정리되었다. 이를 토대로 감항인증기준의 773개 항목에 대한 적합 여부를 확인하였으며, 일부 운용제한사항을 전제로 군 감항인증을 획득하였다.

References

- [1] Engineering Design Handbook, Helicopter Engineering, Part Three, Qualification Assurance, AMCP 706-203, United States Army Materiel Command, 1972.
- [2] Engineering Design Handbook, Helicopter Performance Testing, AMCP 706-204, United States Army Materiel Command, 1974.
- [3] Aeronautical Design Standard Handbook, Rotorcraft and Aircraft Qualification(RAQ) Handbook, ADS-51-HDBK, United States Army Aviation and Troop Command, 1996.
- [4] FAA Federal Aviation Regulations, 14 CFR, Part 29, Airworthiness Standards : Transport Category Rotorcraft(Amendment 53), 2011.
- [5] AC 29-2C Certification of Transport Category Rotorcraft(Change 3), Federal Aviation Administration, 2008.