

KA-32T 헬기 시뮬레이터 검증을 위한 비행시험

최형식*, 장재원**, 전대근***, 전향식****

KA-32T Helicopter Flight Test for Full Flight Simulator Validation

Hyoung-Sik Choi*, Jae-Won Jang**, Dae-Keun Jeon***, Hyang-Sig Jun****

Abstract

The objective of the KA-32 Helicopter Training Simulator Development Program, executed by the Republic of Korea Government, is to acquire a helicopter simulator which meets level C requirements in accordance with the FAA AC 120-63. The Korea Aerospace Research Institute (KARI) manages the development program and is supposed to develop and validate the flight dynamics model based on simulator design data and flight test data. The helicopter chosen for this project is the Kamov KA32T, operated by the Korean Forest Aviation Office.

This paper presents the test program and information about the installation and execution of the flight tests. The program consist of tests for the simulator qualification, additional tests for model data and additional tests for model validation. The flight trials were performed from 30 July to 31 August at the Iksan airbase of the Forest Aviation Office (FAO).

초 록

국토해양부 지원을 통해 수행되는 KA-32 훈련용 헬기시뮬레이터 개발 프로그램의 목적은, FAA AC 120-63의 레벨 C 요구규격을 충족하는 헬기 시뮬레이터를 개발하는 것이다. 한국항공우주연구원(KARI)은 개발 총괄 프로그램을 주관하고 있으며, 또한 비행 역학 모델을 개발하고 시뮬레이터 설계 데이터와 비행 시험 데이터에 기초를 충실도를 검증하는 업무를 담당하고 있다. 대상 헬기는 산림항공관리소에서 운용되고 있는 Kamov KA32T 이다. 비행시험은 7월 30일에서 8월 31일까지 익산 산림항공관리소에서 수행되었다. 본 논문은 시뮬레이터 검증을 위한 비행시험데이터 획득에 필요한 장비장착 및 비행시험에 대한 내용을 기술하고 있다.

키워드 : 헬리콥터(helicopter), 비행시험(flight test), 시뮬레이터(simulator), 검증(validation)

1. 서 론

한국항공우주연구원(KARI)은 국토해양부 항공선진화 사업 일환으로, 러시아제 KA-32T 헬기(국내 약 70대 보유) 조종사를 위한 정상/비정상 절차훈련과 산불진화와 같은 특수임무 훈련을 목적으로 한, 훈련용 헬기 시뮬레이터 개발 과제를 '04년 8월 13일(개발 기간: 4년)부터 착수하여 '08년 4월 현재 시스템 총 조립을 완료하고 시스템 통합 시험평가를 수행하고 있다. 한국항공우주연구원은 개발 총괄 프로그램을 주관하고 있으며, 또한 비행 역학 모델을 개발하고 시뮬레이터 설계 데이터와 비행 시험 데이터에 기초를 충실도를 검증하는 업무를 담당하고 있다. 대상 헬기는 산림항공관리소에서 운용되고 있는 Kamov KA-32T 이다.

시뮬레이터에 사용되는 비행역학 모델은 FAA AC 120-63 Level C를 충족할 수 있도록 개발하고 있으며 비행데이터와 비교하여 충실도를 검증할 계획이다. 본 논문은 시뮬레이터 검증을 위해 필요한 비행시험데이터 획득을 위한 비행시험을 수행한 내용에 대하여 기술하였으며 필요 데이터 항목 및 계측방법에 대하여 상세히 작성하였다. 비행시험은 익산 산림항공관리소의 항공기 및 정비시설의 지원을 받아 네덜란드 NLR과 협동으로 수행하였다.



그림 1. KA-32T 헬리콥터

2. 비행시험 준비

2.1 계측항목

AC 120-63의 비교에 필요한 데이터를 조사하였으며 대부분의 데이터는 FDR(Flight Data Recorder)에 기록되는 데이터를 활용할 수 있다.

각종 센서에서 출력되는 아날로그 신호를 DAU(Data Acquisition Unit)가 샘플링을 하여 FDR에 기록한다. 표 1은 FDR에 기록되는 데이터 목록을 나타낸다.

표 1. KA32T FDR/DAU 데이터 목록

순번	기호	데이터 항목
1	V_{IAS}	Flight indicated airspeed
2	W_x	Ground speed component around axes x
3	W_y	Ground speed component around axes y
4	W_z	Ground speed component around axes z
5	H_{pr}	Flight pressure altitude
6	H_r	Radio Altitude
7	Ψ	Magnetic course angle
8	δ	Angle of Roll
9	σ	Angle of Pitch
10	n_y	Vertical acceleration (y: kamov axis)
11	n_x	Longitudinal acceleration (x: kamov axis)
12	n_z	Lateral acceleration (z: kamov axis)
13	X_{cp}	Collective pitch control lever position
14	X_{ped}	Pedal position
15	δ_{cp}	Rotor collective pitch
16	δ_{dif}	Rotor differential pitch
17	$\delta_{cycl,long}$	Rotor longitudinal cyclic pitch
18	$\delta_{cycl,lat}$	Rotor lateral cyclic pitch
19	$N_{gg,left}$	Left engine gas generator speed
20	$N_{gg,right}$	Right engine gas generator speed
21	N_{mr}	Main rotor speed
22	l	Total fuel quantity
23	V	JB bus 27V DC voltage

FDR 데이터는 DAU에 입력되는 아날로그 신호를 분기하여 GIS(Generic Instrumentation System)에 기록하는 방식을 사용하며 구성은 그

림 2와 같다. FDR 데이터 이외의 필요데이터는 추가 계측장치를 장착하는데, 추가적인 계측 항목은 다음과 같다.

OAT(Outside Air Temperature), EPR(Engine Pressure Ratio), Cyclic Stick Position, Trim Button, Gas Turbine Inlet Temperature(TIT).

여기서 Gas Turbine Temperature는 화재의 위험성이 제시되어 엔진부근에 온도센서를 장착하지 않고, 매우 느린 반응을 보이는 항목이므로 비행시험 시 계기에 나타나는 값을 Test Card에 기록하는 방법으로 대체하였다.

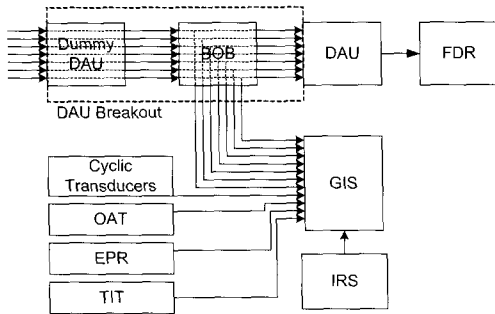


그림 2. 데이터 획득 경로

2.2 계측장치 장착

2.2.1 GIS, IRS 장착

IRS(Inertial Reference System)는 인증 받은 민항기에 사용되던 장치를 활용한 것으로 비행시험 항공기의 자세에 대한 기준자료를 제공한다. GIS는 DAU BoB(breakout box) 데이터 및 추가 장착 데이터를 수집하고, FTE(Flight Test Engineer)가 비행 중에 입력하는 Event Marker 및 Flight Test Number를 기록한다. Event Marker는 비행시험 중에 특정이벤트를 표시하기 위한 것으로 조종입력적용 시점, 엔진시동버튼 누르는 시점 등을 들 수 있다. Flight Test Number는 스위치를 On/Off하는 방식으로 입력하며 착수 홀수로 기록된다. 비행시험을 위해 한번 이륙하면 통상 비행시험항목 10~15가지를 2~3시간 동안 수행하는데, 그 동안 저장장치를

끄지 않고 비행데이터를 모두 기록한다. 따라서 착륙 후 비행데이터 분석에 용이하도록 하는 것이다. 홀수일 경우는 비행시험항목을 수행중임을 나타내고 짝수일 경우는 다음 비행시험항목으로 이동 중임을 나타낸다. 그림 3은 GIS, IRS의 장착 모습을 나타낸다.

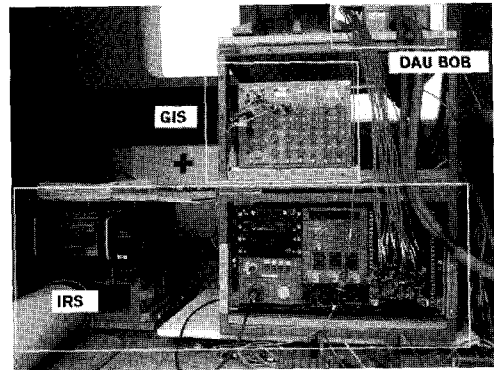


그림 3. GIS, IRS 장착 모습(캐빈내부)

2.2.2 DAU breakout

앞의 내용 같이 대부분의 데이터는 DAU로 들어가는 아날로그 신호를 분기하여 획득하며, BoB(Breakout Box)는 DAU로 입력되는 아날로그 데이터를 분기하는 장치로서 DAU가 장착되는 위치에 기존의 DAU와 동일한 커넥터를 가진 Dummy를 장착하여 데이터를 DAU와 BoB로 연결하는 방식으로 구성된다. 그림 4는 기존 DAU와 Dummy DAU의 장착위치를 나타낸다.

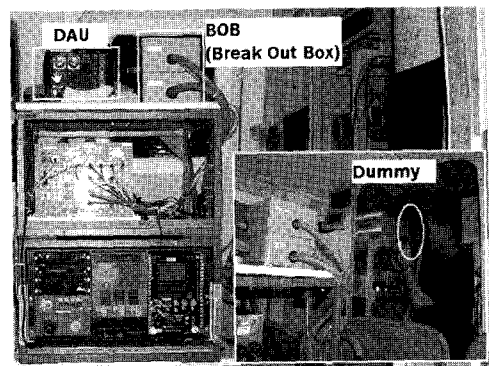


그림 4. DAU Breakout

2.2.3 OAT 센서 장착

엔진의 성능과 관계되는 외기 온도(Outside Air Temperature)를 측정하기 위한 센서는 기수 부분 Landing Light 위치에 장착하였다. 그림 5는 장착된 위치를 나타낸다.

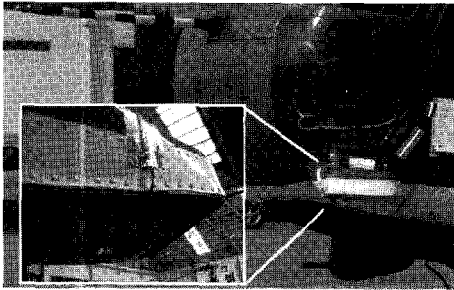


그림 5. OAT센서 장착 모습

2.2.4 EPR breakout

엔진의 동력상태를 나타내는 EPR(Engine Pressure Ratio)는 계기로 입력되는 아날로그 신호를 분기하여 GIS에 기록하는 방법을 사용한다. 그림 6은 계기판 뒷면 장착된 위치를 나타낸다.

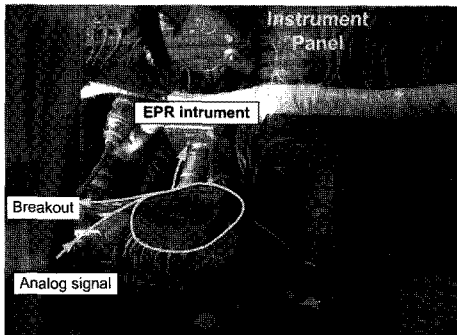


그림 6. EPR 계기 Breakout(계기판)

2.2.5 Cyclic transducer

DAU로부터 콜렉티브 스틱 위치 X_{cp} 와 페달 위치 X_{ped} 가 출력되지만 사이클릭 스틱의 위치는 입력되지 않으므로 사이클릭 입력과 실제 블레이드의 피치의 연관관계를 찾기 위하여 Control Rod에 다음과 같은 광학 측정 장치를

사용하여 Control Rod의 움직임을 기록한다. 사이클릭 스틱과 Control Rod, 블레이드의 피치변화에 대한 보정은 다음 장에 나타나 있다. 그림 7은 광학 측정 장치를 부착한 사진이다.

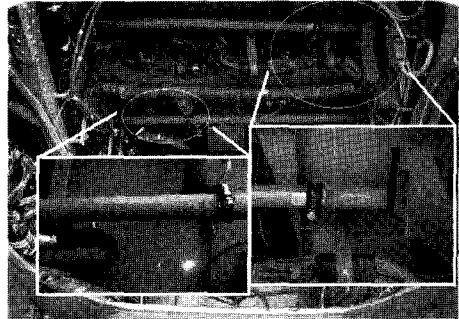


그림 7. Cyclic transducer 장착(기수 하부)

2.3 계측데이터 보정

2.3.1 DAU 해독기

기존 DAU와 동일한 커넥터를 가지는 Dummy로부터 데이터를 받아서 BoB로 DAU와 GIS로 데이터를 분기하는 방법을 사용하므로, 이때 Break out이 정확하게 이루어졌는지를 판단하기 위해 DAU 해독기를 통한 데이터 점검을 수행하였다. DAU를 원래 부착위치에 부착시키고 데이터를 해독한 다음 BoB를 통해 출력되는 DAU데이터를 해독하여 동일한 결과가 출력되는지 확인하였다. 그림 8은 BoB를 통해 출력되는 DAU데이터를 해독하는 경우의 모습이다.



그림 8. DAU 해독기 시험

DAU의 출력데이터는 count로 출력이 되는데 변환공식으로 값을 해독한다. 변환공식은 FDR 정비교범을 참조하였다.

2.3.2. 조종계통 보정

Cyclic의 경우 스틱의 위치는 DAU로부터 출력되지 않으므로 Control Stick, Control Rod, Blade Pitch 와의 상관관계를 측정한다.

순수한 종방향 스틱입력에 대한 시험을 수행하기 위해 Control Lock Pin 으로 다른 축에 대한 Control Rod의 움직임을 고정하고 시험하였다. 그림 9는 동체 상부에 위치한 조종계통으로서 Lock Pin을 고정한 모습이다.

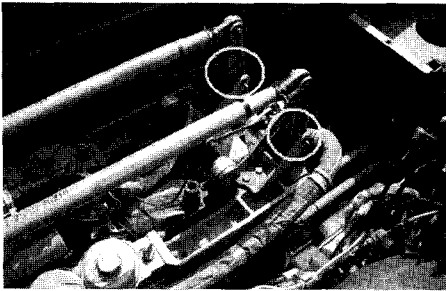


그림 9. Control rod Lock pin(동체상부)

그림 10은 스틱 및 블레이드에 장착된 각도 측정 장치를 나타낸다. 조종입력을 최소, 최대로 움직여 그에 따른 변화를 기록한다.



그림 10. Cyclic stick 및 블레이드 각도 측정

하부 로터 및 상부로터에 동일한 시험을 수행하며 횡방향사이클릭도 같은 방법으로 수행한다. 그림 11은 페달입력에 대한 러더의 변위를 측정하기 위해 장치를 장착하는 모습이다.



그림 11. Rudder 각도 측정 장치

2.4 무게 및 무게중심 측정

연료량에 따른 무게 및 무게변화에 대한 시험을 수행하였다. 빈 연료 중량에서 시작하여 연료를 증가시키는 방식으로 수행하는데, 연료를 공급한 다음 연료 탱크 간 연료이동을 돕는 연료펌프를 동작시켜 비행 중 연료 소모로 인해 남은 잔량의 상태와 동일하게 만들고 측정하였다.

로터 블레이드는 장착한 상태에서 측정하였으며 향후 블레이드 무게를 뺀 값을 사용한다. 측정은 로드 셀을 이용하여 측정하며 동체기준선을 수평으로 두고 측정한다. 이때 IRS의 초기화를 동시에 수행한다.

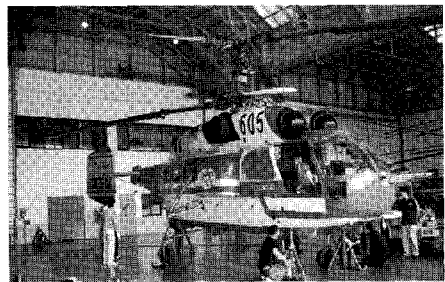


그림 12. 무게 및 무게중심 측정

3. 비행시험 수행

3.1 비행시험 항목 정의

AC-120 63 Level C에서 요구하는 검증항목을 충족할 수 있도록 비행계획은 다음과 같이 구성하였다.

1. Start Operation
2. Engine& Rotor speed governing
3. Ground operations
4. Take-off, landing, balked landing
5. Hover performance
6. vertical climb performance
7. Level flight performance
8. Climb/Descent performance
9. Hover & Low speed Trimmed control positions
10. critical azimuth
11. Hover control response
12. Fwd flight longitudinal/lateral/directional control response
13. Longitudinal Static Stability
14. Long Term Dynamic Stability
15. Short Term Dynamic Stability
16. Maneuvering Stability
17. Static Lateral-Directional Stability
18. Lateral-Directional Oscillation
19. Spiral Stability
20. Adverse/proverse Yaw
21. Temperature limiter test
22. Throttle / collective test
23. Longitudinal Cyclic input without depressing TRIM button
24. TRIM TAB annunciator test
25. Rotor Engine Shutdown / Engine Start / Shutdown
26. Engine accel test
27. Steady state engine performance
28. Ng at opening closing bleed valve
29. Performance with AIS on, DPD on, Aircon off
30. Engine Dry Crank
31. Running landing
32. Ground effect
33. Level acceleration / Level deceleration
34. Autopilot hover hold
35. Hover turn in wind
36. Hover collective step to climb / descent
37. Steady turn in cruise, collective fixed
38. On ground collective input
39. On ground longitudinal / lateral input

조종입력의 좌우 방향, AP(Autopilot) On/Off, 비행속도(저속,중속,고속), 연료조건(low, middle, high) 등의 조건변화에 대한 시험으로 세분화되어 약 200여개의 비행항목으로 조합된다.

비행시험항목을 다시 크게 분류하면 지상시험, 저고도시험, 중고도 시험으로 분류할 수 있다. 비행시험은 2007년 8월 한 달 동안 수행하였으며, 초반부에는 중고도 성능시험, 지상시험과 같은 다소 안정적인 시험으로 시작하여 비행시험에 익숙해질 수 있도록 하였다. 200여개의 비행계획항목을 엑셀로 작성하여 오전비행과 오후비행에 대

한 비행계획을 이틀 전에 세워두고 급작스럽게 변하는 여름철의 기상변화에 대처하였다.

FTE(Fight Test Engineer)가 비행시험항목에 대한 시험 중에 엔진온도, 시각, 특이사항 등을 기록하는 Test Card는 비행시험계획 엑셀파일로 부터 자동 생성한다.

3.2 지상시험

지상시험은 주로 엔진의 성능과 관련된 시험 및 착륙장치의 지상선회 특성에 대한 시험이 이루어진다. 엔진의 시동과 정지의 특성을 데이터로 기록함과 동시에 계기의 반응을 기록할 수 있도록 비디오 촬영을 동시에 수행하였다.

그림 13은 STCL(Separated Throttle Control Lever) 위치에 대한 엔진의 성능(엔진 온도, Ngg, Nmr, EPR)을 기록하는 시험을 나타낸다. <Ngg, Nmr 표 1 참조>

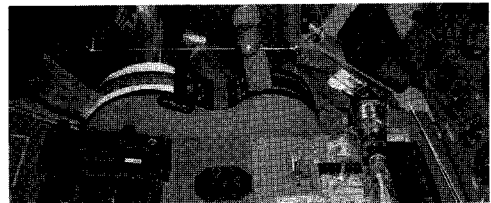


그림 13. STCL 시험(조종석)

3.3 저고도 비행시험

저고도 저속비행시험으로는 호버링 성능 및 안정성, 측면 비행, 후진비행, 저고도 급가속/급정지 기동 등이 있다. 측면 비행 시 일정한 각을 유지하며 일정한 속도로 비행하여야 하므로 지상 참조점이 있는 넓은 공간이 필요하고, 주변대기의 흐름을 측정한다. 익산 산림항공관리소에서는 호버링과 관련된 항목을 수행하고, 인근 전주비행장의 협조를 받아 활주로 상에서 수행하였다. 전주비행장에서 수행한 비행항목은 추가적으로 이착륙 정상절차를 포함하는 장주비행, Running Landing 등이 있다. 그림 14는 저속비행시험 및 외곽에 설치한 대기 측정 장치를 나타낸다.

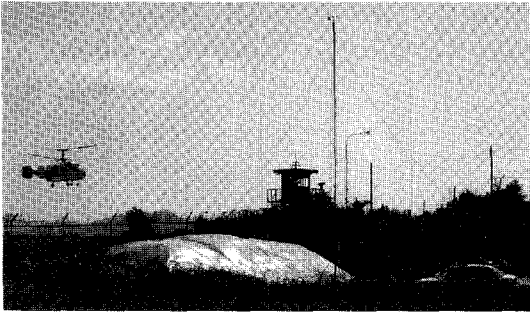


그림 14. 대기측정 장치 및 저고도 비행시험

부터 계측장치를 장착하고 7월 30일부터 8월 31일까지 익산산림항공관리소와 전주비행장 등지에서 200여개 비행항목에 대해 총 30여 비행시간에 걸쳐 수행되었으며, 본 비행시험으로 획득된 비행시험 데이터는 KA-32T 헬기 특성해석, 성능평가 및 튜닝을 위해 직접적으로 사용될 뿐만 아니라, 과제 이후에는 국내 헬기 연구 개발 분야에서 다양하게 활용 될 것이다.

후 기

본 과제는 국토해양부 항공선진화 사업의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

3.4 중고도 비행시험

중고도 비행시험은 크게 정상상태 데이터 측정을 위한 성능 시험과 동적 특성을 측정하기 위한 동안정성 시험으로 구성된다. 성능 시험은 통상 비행하는 방식으로 비행하므로 조종사에게는 크게 부담이 되지 않는 시험으로서 비행시험 기간 초반에 수행하여 비행시험에 임하는 조종사에게 부담감을 줄이도록 하였다. 동안정성 시험은 AP On/Off의 조건에 대해 조종입력을 스텝 또는 더블릿으로 수행하며 속도조건 변화에 대해 여러 번 수행하여야 한다. 저고도 호버링 시험도 동일한 시험이 있다.

이때의 시험은 매우 집중이 필요한 시험으로 특히 AP Off의 경우에 대한 스텝 또는 더블릿은 측정된 데이터의 조건이 좋지 못하여 여러 번 반복하여 시험을 수행하여야 했다. 즉 정상상태를 수 초간 유지한 다음 스텝입력을 적용하고 그대로 유지하여야 하지만, 정상상태가 아닌 시점에서 적용한 경우, 스텝이 유지되지 않은 경우, 다른 조종입력이 섞인 경우 등을 들 수 있다. 전체 비행시험 중 동안정성 시험이 가장 어려웠던 부분이다.

4. 결 론

산림청 산림항공본부의 협조 하에 수행된 KA-32T 비행시험은 시뮬레이터 개발을 위한 국내 최초의 헬기 비행시험으로서, '07년 7월 16일

1. Federal Aviation Administration Advisory Circular, "Helicopter Simulator Qualification," FAA AC 120-63, October 1994.
2. Anon., "U.S. Naval Test Pilot School Flight Test Manual, Rotary Wing Performance", USNTPS-FTM-No. 106, Naval Air Warfare Center, Patuxent River, Maryland, 31 December 1996.
3. Anon., "U.S. Naval Test Pilot School Flight Test Manual, Rotary Wing Stability And Control", USNTPS-FTM-No. 107, Naval Air Warfare Center, Patuxent River, Maryland, 31 December 1995.
4. 최형식, 장재원, 전대근, 전향식, "KA-32T 헬기 시뮬레이터 검증을 위한 비행시험 수행 지침서", KARI-AFT-TM-2007-004, 2007.
5. "Airborne Flight Data Recorder TYP-1 Maintenance Manual", 6P1.500.023 P3, KAMOV.