JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 22, No. 2: 354~361, Feb. 2018

기동헬기 측면항법 알고리즘 구현 및 검증

김성우[1] · 고은경[2*]

Implementation and Verification of Lateral Navigation Algorithm for Korean Utility Helicopter

Sung-woo Kim[1] · Eun-kyoung Go[2*]

[1]Agency for Defence Development, Daejeon 34186, Korea
[2*]Agency for Defence Development, Daejeon 34186, Korea

요 약

본 논문은 비행제어 비행체 관리 시스템 대신 한국형 기동헬기 임무컴퓨터의 비행운용 프로그램에서 구현한 측면항법 알고리즘 설계 및 검증에 대하여 기술하였다. 구현된 측면항법 기능은 비행제어 시스템으로 롤 명령을 보내고 롤 명령 값은 임무컴퓨터의 제어 알고리즘에서 계산한다. 임무컴퓨터에서 제어 알고리즘 계산 시 항공기의 자세 및 위치에 대한 측정값을 이용한다. 이 입력 값들을 이용하여 임무컴퓨터에 탑재된 비행운용 프로그램은(선택한 비행계획 등)항법 요구를 롤 명령으로 자동조종으로 보낸다. 체계통합리그에서의 통합시험, 지상 및 비행시험을 통해 측면 항법 알고리즘을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper describe the Lateral Navigation algorithm design and verification that implementation on Mission Computer's OFP for Korean Utility Helicopter(KUH) instead of Auto Flight Control System(AFCS) Vehicle Management System. The LNAV function transmits Roll command into the AFCS System. The Roll command value will be calculated by control algorithms in MC. The Operational Flight Program(OFP) shall use for its calculations different measurements of the aircraft's attitude and place. Using these inputs, the OFP will translate a navigational demand(for example-to perform the selected flight plan) into Roll commands to the autopilot. By conducting integration test using SIL and ground test, flight test, it is confirmed that the introduced algorithm meets the requirements of the Mission Equipment Package(MEP) system. LNAV function is verified through the System Integration Laboratory(SIL) test, ground and flight test.

키워드 : 측면항법, 비행운용프로그램, 롤명령, 체계통합리그

Key word : Lateral Navigation, Operational Flight Program, Roll Command, System Integration Laboratory

Received 28 September 2017, **Revised** 10 October 2017, **Accepted** 24 October 2017

*** Corresponding Author** Eun-Kyoung Go(E-mail:goek@add.re.kr, Tel:+82-42-821-3437)
DAgency for Defence Development, Daejeon 34186, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.2.354 pISSN:2234-4772

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

1928년 항공기 계기에만 의존하는 계기비행 시험으로서 항공기 계기만으로도 안전한 비행 및 항법을 할 수 있다는 것이 증명된 이후 계기비행을 위한 기술 발전은 무지향성 무선 표지 (Non Directional Beacon)를 이용한 항법을 거쳐 현재의 초단파 전방향 거리탐지기 (VOR)를 이용하는 항법으로 발전되었다. 그러나 현재의 초단파 전방향 거리탐지기 기반의 항법은 통상적으로 해당 시설의 상공을 통과하는 방법으로 구성되어 운용적 측면에서 비효율적으로 항법지원시설의 유효 도달범위 내에서 항공기의 임의의 비행경로를 비행할 수 있는 항법이 지역 항법 (RNAV : Area Navigation)이 등장하게 되었다. 지역항법에 의해 공역의 효과적인 이용, 연료절감을 위한 직선경로의 설정, 헬리콥터 등의 운항에 적합한 비행경로 등의 설정이 가능하다. 그림 1은 지역항법 항로와 초단파 전방향 거리탐지기를 이용한 항법을 비교한 것으로 그림에서와 같이 VOR 항법은 각각의 VOR 시설을 통과하도록 설정되어 있지만 RNAV 항법의 경우에는 두 지점 간 직선으로 항로를 설정할 수 있으므로 VOR 항로에 비해 시간과 거리를 단축할 수 있다.

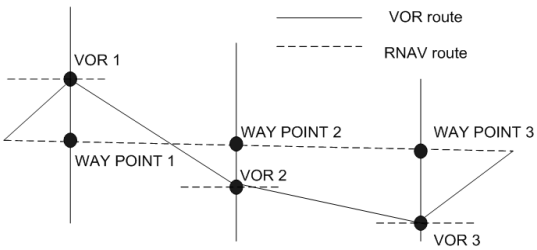

Fig. 1 Comparison of RNAV and VOR routers

2차원 지역항법 방법인 측면항법 (LNAV : Lateral Navigation)은 수평면상의 위도와 경도 또는 어느 초단파 전방향 거리탐지기에서의 방위와 거리로 설정되어져 있는 지리적인 위치로 결정되는 항로점 사이에서 자신의 방향 및 거리 정보를 제공한다. 측면 항법 정보 출력을 비행제어 계통과 결합하면 지역항법 루트를 자동 조정 비행할 수 있다.

한국형 기동헬기의 비행제어 개발업체인 유러콥터사에서 2007년 초에 수행한 비행제어-임무탑재장비 인터페이스 워크샵에서 비행제어 계통과 임무탑재장비 체계간의 연동신호 불일치 문제와 비행제어 정보 시현 처리 등이 주요 현안으로 제기되었다. 현안 사항들에 개선이 없을시 자동비행조종시스템의 기능 및 성능 제한과 체계 안전성에 문제가 있음을 유러콥터사가 제기하고 그 해결책으로 비행체 관리시스템을 제안하였다. 검토결과 비행체 관리시스템으로 제기된 현안사항들이 모두 해결되지 않으므로 많은 부분을 국내 독자 개발한 한국형 기동헬기 임무컴퓨터에서 수용하여 처리하는 것으로 정하였다. 본 논문은 임무컴퓨터에서 처리한 측면항법 알고리즘 구현에 대해 정리한 것이다.

Ⅱ. 비행체 관리시스템

유러콥터사는 비행체 관리시스템에서 측면 항법 알고리즘을 계산하여 측면 항법을 위한 롤 명령 바 시현과 자동 조정 비행을 위해 자동 비행제어 계통으로 롤 명령을 제공한다. 비행체 관리시스템 (VMS : Vehicle Management System)의 개념은 디지털 Fly-By-Wire 비행제어시스템에서 획득된 경험을 바탕으로 발전되어 왔으며, 주요 목적은 비행체를 제어하는데 필요한 모든 서브시스템(비행제어, 대기자료, 엔진 등)과 유틸리티 서브시스템(연료, 유압 등)을 기능적으로 통합하는 데 있다. 부가적인 목적으로는 통합 설계 구현으로 모든 비행체 비행관리 기능이나 유틸리티 서브시스템 기능의 제어기들을 물리적으로 통합하는 것이다. 따라서 비행체 관리시스템은 비행안전-필수 제어 기능이나 혹은 관리기능들을 포함할 뿐만 아니라 일부 비 비행안전-필수 기능들도 포함된다.

비행안전-필수 정보는 비행기본정보와 상황판단 정보로 구성된다. 비행기본정보는 속도, 자세, 고도, 슬립/스키드, 방위, 상승계, 엔진 성능(토크)이며 상황판단 정보는 비행조종 계통, 엔진, 연료, 경보시현 정보다. 한국형기동헬기의 국외 체계업체인 유러콥터사는 기성품 (Off-The-Shelf)으로 Cougar family에 사용한 그림 2와 같은 비행체 관리시스템을 제안하였는데 그림 2의 기능상 특징은 엔진, 연료, 로터 정보는 엔진 계기 시현기 (EID : Engine Instrument Display)에, 그리고 비행제어 정보는 smart MFD (Multi Function Display)에 시현한다[1].

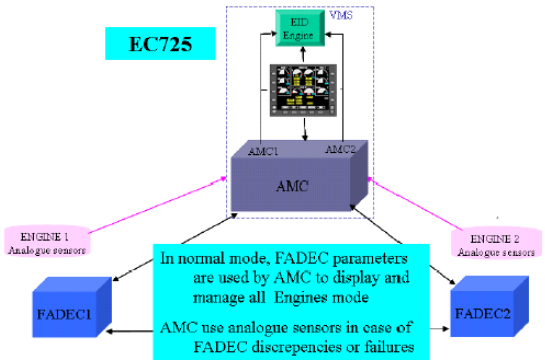

Fig. 2 Vehicle Management System

또한, 비행제어 계통과 임무탑재장비 체계간의 연동 신호 불일치 문제가 제기되었는데 비행제어 계통 개발은 유러콥터사에서 EC725의 기본 형상을 토대로 추진하며 임무탑재장비 체계는 국내 개발로 설계하였다[2]. 자동조종 장치 기능을 위해 임무컴퓨터와 비행제어 간 전용 인터페이스와 조종사가 자세방위 기준장치 1, 2의 데이터를 비교하고 수동으로 시스템을 재구성할 수 있는 기능, 자동 조종 시 자세방위 기준장치의 기수 및 자세 정보를 조종사에게 시현하는 것 등이 요구되었다[3][4][5]. 이를 해결하기 위해 그림 3과 같은 임무컴퓨터(MC : Mission Computer)와 비행제어(AFCS : Automatic Flight Control System)간 전용 인터페이스 설계가 요구되었다[3][4].

유러콥터사가 제안한 비행체 관리시스템과 인터페이스 현안을 검토한 결과 비행제어 계통의 비행안전-필수 정보의 시현을 위한 smart MFD의 조종석 장착 공간, 비용, 일정 등의 문제점이 식별되었다. 그 해결 방법으로 임무탑재장비 체계의 다기능 시현기 주요 비행정보 시현 (PFD : Primary Flight Display) 페이지에 비행제어 계통의 정보를 시현하고 엔진, 연료 및 항공기 체계 정보는 독립된 전용계기를 적용하여 시현하고 부가적으로 다기능 시현기에 시현하였다[5].

이를 해결하기 위하여 그림 4 좌측의 임무컴퓨터에서 그림 4 우측의 비행제어 계통 장비들의 ARINC-429 정보 등을 연동하도록 임무컴퓨터를 개조하였다. 또한 임무컴퓨터에서 수신한 비행제어 계통 장비들의 정보를 그림 5와 같은 다기능 시현기에 시현하였다[6].

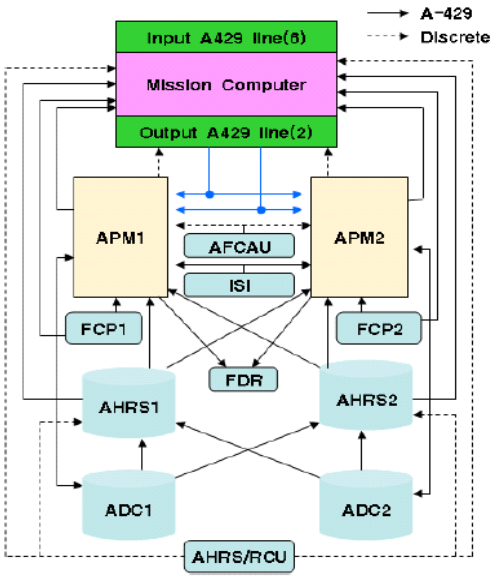

Fig. 3 MC/AFCS Interface

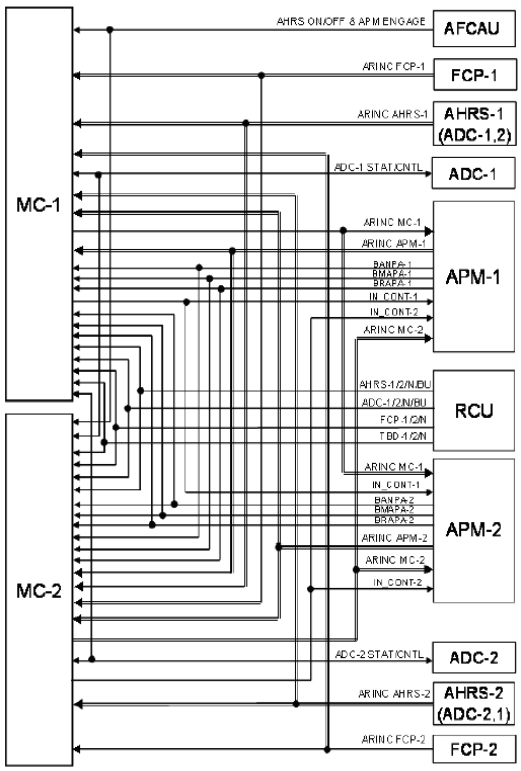

Fig. 4 Modified MC-AFCS Interface

Fig. 5 Primary Flight Display Page

또 다른 현안 문제로 비행조종계통과 임무탑재장비 간의 인터페이스 검증 방안도 제기가 되었다. 항공기 장착 전에 통합시험장비 환경에서 비행조종계통과 MEP 체계 간 통합에 따라 구현되는 기능에 대한 검증과 비행조종 계통과의 호환성 및 관련 기능의 사전 검증이 요구되었다. 이 문제는 비행필수기능 동적시험 등으로 해결하였다[7].

Ⅲ. 측면항법

양수 롤 명령 (Positive Roll Command)는 시계방향 (우측) 롤을 위한 명령, 음수 롤 명령 (Negative Roll Command)는 반 시계방향 (좌측) 롤을 위한 명령이다. 따라서 계획된 비행경로가 시계방향일 때는 양수 항로 편차(Ψ)이고, 계획된 비행경로가 반 시계방향일 때는 음수 항로 편차(Ψ)이다.

측면 항법 구현을 위한 파라미터들은 표 1과 같으며 값들이 정의되어 있어야 한다.

Table.1 Parameters

Parameter	Description	unit
a	Dynamic parameter of Helicopter	none
$CTRL_{N1}$ $CTRL_{N2}$ $CTRL_{N3}$	Numerator of gain factor Decided by roll position	none
$CTRL_D$	Denominator of gain factor	none
Cycle_Time	Cycle time of Algorithm	sec

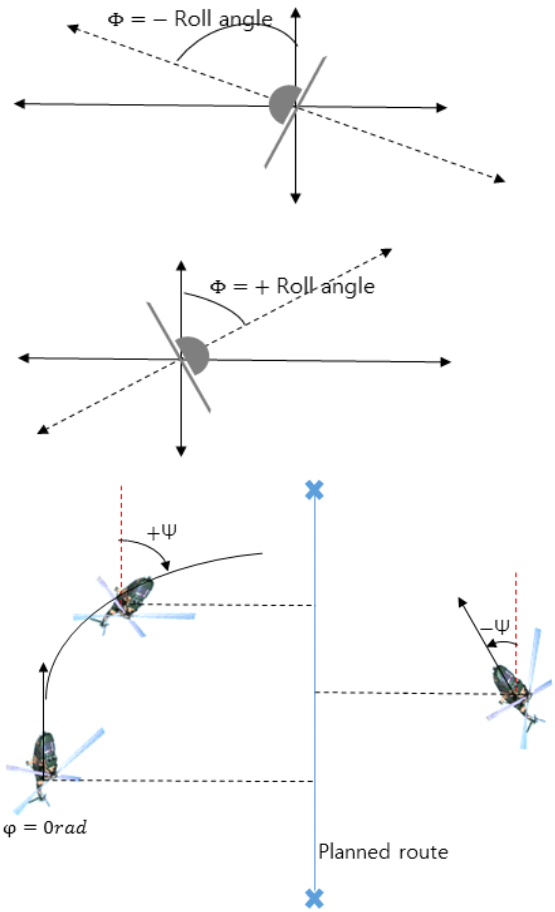

Fig. 6 Example of variable for roll command calculation

측면항법을 위한 파라미터 값은 그림 7과 같은 통제 시현장치의 측면항법 페이지에서 입력 및 시현한다.

유러콥터사 비행제어 계통을 위한 상수 (constant)로 요구된 알고리즘 이득요소는 다음과 같으며 여기서 g는 중력가속도이다.

$$CTRL_{K_\phi} = \left(\frac{CTRL_{N1}}{a}\right) - 1 \quad (1)$$

$$CTRL_{K_\psi} = \left(\frac{CTRL_{N2}}{a \times g}\right) \quad (2)$$

$$CTRL_{K_{xt}} = \left(\frac{CTRL_{N3}}{a \times g}\right) \quad (3)$$

$$CTRL_{K_{int}} = \left(\frac{CTRL_{N3}}{a \times g \times CTRL_D}\right) \quad (4)$$

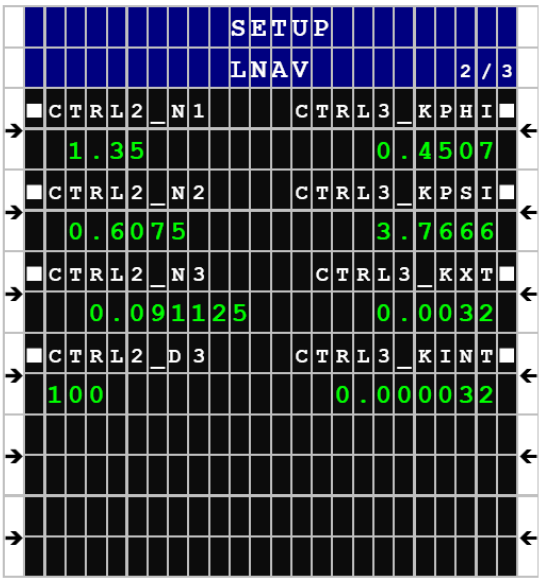

Fig. 7 CDU LNAV page

그림 6과 같이 헬리콥터의 위치가 활성화 구간의 우측에 있고 헬리콥터가 좌회전이 필요한 경우 X는 양수(Positive)로 설정한다. 헬리콥터의 위치가 활성화 구간의 좌측에 있고 헬리콥터가 우회전이 필요한 경우 X는 음수 (Negative)로 설정한다. 계획경로 상의 항적 방향 L과 이와 관련한 롤 Φ와 지상항적과 L 간의 의 각도 차 Ψ를 이용하여 롤 명령 R은 다음과 같이 계산된다.

$$R1 = CTRL_{K_\Phi} \times \Phi \tag{5}$$

$$R2 = CTRL_{K_\Psi} \times V \times \Psi \tag{6}$$

$$R3 = CTRL_{K_{xt}} \times X \tag{7}$$

$$R4 = CTRL_{K_t} \times \sum_{n=0}^{N} X(nT) \times T \tag{8}$$

T : OFP가 알고리즘을 계산하는 사이클 타임
n : 항법소스가 선택된 이래부터 OFP 사이클 수
N : 항법소스가 선택된 이래부터 현재 순간의 OFP 사이클 수

$$R = -(R1 + R2 + R3 + R4) \tag{9}$$

롤 명령 포화 값 R_{sat}은 아래 식과 같다. 롤 명령 포화 값은 속도와 관련한 최대 뱅크 값이다.

$$R_{sat} = 0.15 \times IAS(knots) \tag{10}$$

롤 명령 포화 값을 적용한 롤 명령 R 은 다음 식과 같이 계산한다.

$$\text{if}\{|R| < R_{sat}\} then\, R = R(rad) \tag{11}$$
$$\text{if}\{0 < R \geq R_{sat}\} then\, R = R_{sat}(rad)$$
$$\text{if}\{R < 0 \text{ and } |R| \geq R_{sat}\} then\, R = -R_{sat}(rad)$$

측면항법의 비행제어 항법 연동 운용절차는 그림 8과 같이 다기능시현기 주요 비행정보 시현 페이지의 항법 소스를 선택하고, 비행조종패널의 NAVCPL 버튼을 누르면 PFD 페이지에서 선택된 항법소스에 따른 자동 비행이 작동/해제된다.

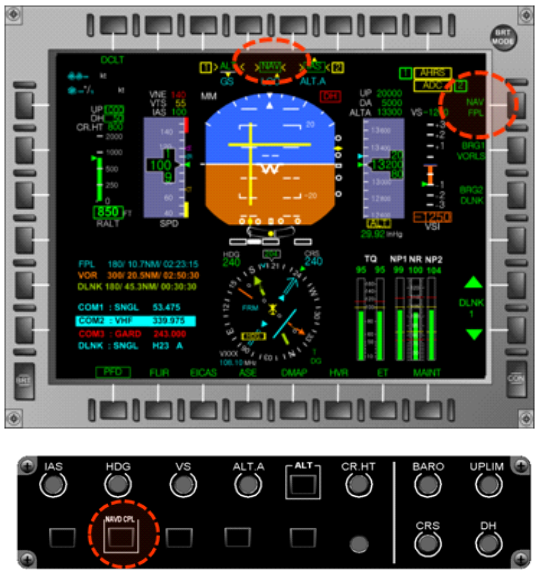

Fig. 8 Enable/disable automatic flight based on navigation source

Ⅳ. 인증시험

임무컴퓨터에서 측면 항법 알고리즘을 구현하여 주요 비행정보 시현 페이지의 자세계 계기 상에 그림 9와 같은 롤 명령 바를 시현하고 자동 비행제어 계통으로

롤 명령을 제공하는데 롤 명령 흐름도는 그림 9와 같다. 주요 비행정보 시현 페이지의 항법 소스가 비행계획, HOME 모드일 때 자세계 계기 상에 바 형태로 시현하며 임무컴퓨터가 측면항법 알고리즘에 의해 비행제어 컴퓨터에 값을 제공한다. 항법 소스가 VOR 모드일 때 자세계 계기 상에 바는 시현하지 않으며 임무컴퓨터가 측면항법 알고리즘에 의해 비행제어 컴퓨터에 값을 제공한다[8].

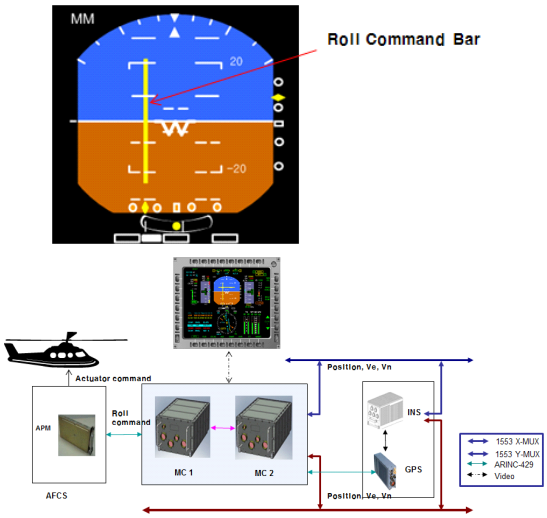

Fig. 9 Roll Command Flow Chart

항법 소스가 비행계획, HOME, VOR 모드이며 수동비행일 때, 롤 명령 바가 정상적으로 시현되는 지를 확인하였다. 또한, 항법 소스가 비행계획, HOME 모드이며 자동비행일 때, 롤 명령 바가 정상적으로 시현되는 지를 확인하였으며 이때 비행제어 계통에서 이 정보를 사용하여 자동비행하는 것도 검증하였다. 즉, 롤 명령 소스에 따라 롤 명령을 계산하여 수동 및 자동비행에서 이 롤 명령에 따라 헬리콥터가 기동하는 것을 검증하였다.

MEP 체계 인증시험은 임무탑재장비와 설계된 임무컴퓨터의 소프트웨어의 기능을 임무탑재장비 체계 통합리그(SIL) 에서 통합하고 MEP 체계 인증을 위한 기능시험과 통합시험을 한다. PFD 기능 시험은 그림 10과 같이 비행제어 계통의 정보를 다기능시현기의 주요 비행정보 시현(PFD) 페이지에 시현한 PFD 화면에서 자동 조종 시 자세방위 기준장치의 기수 및 자세 정보를 조종사에게 시현하는 것 등의 시현정보 검증과 비행제어 계통의 연동을 검증한다[9].

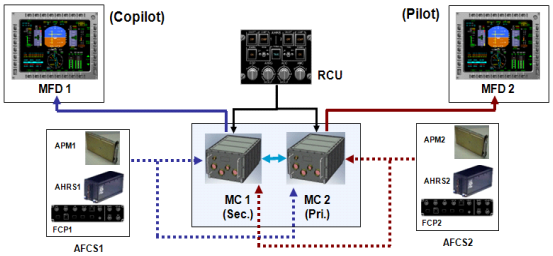

Fig. 10 PFD function test

또한, PFD 기능 시험은 그림 11과 같이 주요 비행정보 시현 페이지에서 자세방위 기준장치 센서 1, 2의 데이터 비교 확인 기능 검증 등을 위한 2대의 임무컴퓨터와 비행제어 이중 구성품들 간의 상호점검 기능 검증을 수행한다.

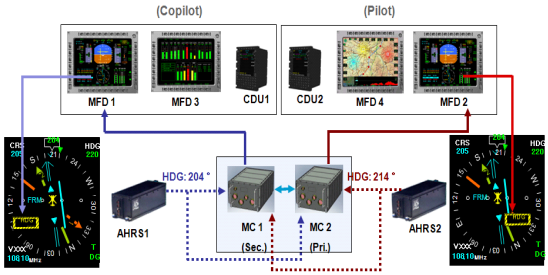

Fig. 11 Function test for discrepancy of dual sensor

측면항법 기능 시험은 PFD 자세계 계기 상에 롤 명령 바 시현과 PFD 항법 소스가 비행계획, HOME, VOR 모드일 때 비행경로를 수렴하는지를 검증한다.

측면항법 기능 시험은 그림 12와 같이 임무탑재장비 체계 통합시험장비에서 비행 시뮬레이터를 이용한 항공기 궤적을 통해 검증을 한다[10].

MEP 체계 인증시험 수행 결과 PFD 기능, 측면항법 기능시험 등이 성공적으로 종료되었으며 지상시험과 2010. 3. 10의 KUH 초도비행시험, 이후 비행시험을 통하여 비행제어 계통과의 연동 및 측면항법 알고리즘의 적절성 등이 검증되었다[11].

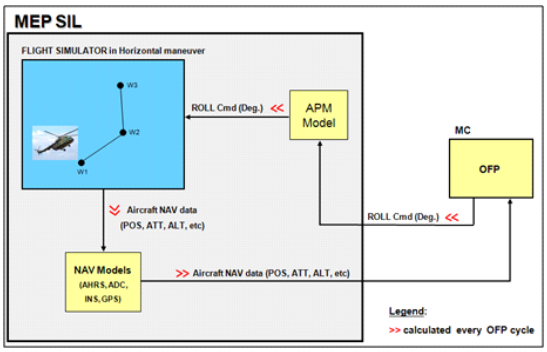

Fig. 12 LNAC function test

Ⅴ. 결 론

국내에서는 높은 IT 기술 경쟁력에도 불구하고 국내 개발 항공기 플랫폼이 빈약했고 항공기개발/생산에 앞서 항공기에 장착되는 구성품은 선 개발이 완료되어야 하고장착 이전에 어떤 형태로든 성능에 대한 입증이 선행되어야 한다는 점 때문에 대부분의 국내 개발 항공기는 국내 개발 항공전자 장비 장착 여부를 염두에 두지 않았으며, 항공기 개발이라 하면 우선 항공기 기체를 비롯한 플랫폼에 대한 개발 성공여부가 관건이었다 [12]. 그러나 금번 KUH를 통해 개발된 임무컴퓨터는 비행제어-임무탑재장비 인터페이스 현안 문제점들을 국내기술로 해결할 수 있었고 추후 연속성을 갖는 성능 개량이 가능할 것이며, 미래전 임무환경 변화에 따라 최적의 형태로 개량 및 운용이 가능할 것이다. 비행체 관리시스템 대신 임무컴퓨터의 OFP에서 구현 처리한 측면항법 알고리즘 등은 임무탑재장비 체계 통합시험 장비 환경, 지상시험, 비행시험을 통해 적절성이 검증되었다.

REFERENCES

[1] S. W. Kim, E. K. Go, B. H. Lee, “Design to Integrated Display and Caution Function fir KHP,” *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 45, no.6, pp. 481-489, Jun. 2017.

[2] S. J. Lee, H. S. Choi, K. J. Seong, “Automatic Flight Control System Development for Optionally Piloted Vehicle,” *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 42, no.11, pp. 968-973, Nov. 2014.

[3] P. Hellio, “AFCS Safety Requirements to MEP,” *EC Technical Reports*, vol. 4, no.1, pp.1-4, Oct. 2013

[4] J.M. GUILLEMIN, “AFCS AVIONIC ARCHITECTURE INTERFACE REVIEW,” *EC Technical Reports*, vol. 10, no. 3, pp.1-7, Nov. 2013

[5] Marius, “EC review of KUH avionics architecture issue,” EC *Technical Reports*, vol. 11, no. 2, pp.1-5, Dec. 2013

[6] S. W. Kim, “Operational Requirement Specification for KUH Mission Equipment Package,” *Agency for Defense Development Report*, vol. 11, no. 2, pp. 20-70, Feb. 2014

[7] Y. W. Yu, T. Y. Kim, W. H. Jang, S. W. Kim, J. B. Lim, “Design on Flight-Critical Function of Mission Computer for KUH,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 313-221, Apr. 2011.

[8] S. W. Kim,. “Functional Requirement Specification for KUH Mission Equipment Package,” *Agency for Defense Development Report*, vol. 12, no. 3, pp. 1-50, Feb. 2014

[9] Y. K. Kim, M. C. Kim, W. W. Choi, W. S. Oh, “Development of the MEP Integration Test Environment for Surion,” *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 39, no. 7, pp. 666-673, July 2011.

[10] S. W. Kim, B. H. Lee, Y. W. Yu, J. H. Lee, J. B. Yim, “Design and Verification of Survivability Equipment for Utility Helicopter,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 16, no. 2, pp.146-153, Apr. 2013.

[11] Junesung Choi, Kwangho Kook, “Secure Coding Rule Selection Optimized on the Army Fire Control Computer,” *Journal of Security Engineering*, vol. 11, no. 2, pp.187-194, Jun. 2014.

[12] Kyoungchoon Park, Jungbae Seo, Jongmin Bae, Hyunsyug Kang, “Requirement management program for the Development of the Avionics Operational Flight Program,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* vol. 15, no. 2, pp.2050~2058, Sep. 2011.

김성우(Sung-Woo Kim)
전자공학과 학사
※ 관심분야 : 유인-무인기 협업, 유인-무인기 공통 아키텍처 설계

고은경(Eun-Kyoung Go)
전자공학과 석사
※ 관심분야 : 신호처리, 항공전자