

복합유도방식이 적용된 유도탄의 탑재비행시험(CFT) 시스템 구성 및 검증

박인철^{*1)} · 허원영²⁾ · 이용호¹⁾ · 정세영¹⁾

¹⁾ LIG넥스원(주) 유도무기연구소
²⁾ 국방과학연구소 제1유도무기체계개발단

Captive Flight Test System Configuration and Verification for Multi-mode Guidance Missile System

Inchul Park^{*1)} · Wonyoung Heo²⁾ · Yongho Lee¹⁾ · Seyoung Jeong¹⁾

¹⁾ PGM R&D Center, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea
²⁾ The 1st Guided Weapon System PEO, Agency for Defense Development, Korea

(Received 26 November 2015 / Revised 10 August 2016 / Accepted 23 September 2016)

ABSTRACT

A Captive Flight Test(CFT) is used to verify the performance of missile component such as seeker and guiding algorithm of missile. Recently most of surface to air missile adapts multi-mode guidance method which include command guidance and active/passive guidance. A CFT system for missile system adapting multi-mode guidance method consists of pod equipment, command transmitting system and measuring system. In this paper, we proposed CFT system and testing method for missile which adapt multi-mode guidance, and system integration procedure by using distributed missile system integration method and procedure. The proposed CFT system and system integration method was applied to CFT of surface to air missile, and brought successful result.

Key Words : Captive Flight Test(탑재비행시험), Multi-mode(복합유도), Command Guidance(지령유도),
Distributed Weapon System(분산무기체계)

1. 서론

탑재비행시험(Captive Flight Test)은 대공 또는 대지 등의 유도탄을 포함한 무기체계 개발 시 비용절감, 개

발기간 단축 및 무기체계 개발 과정에서 발생 예상되는 위험요소를 사전에 검증하기 위한 목적으로 수행하며, 유도탄 구성품에 대한 성능 검증 및 알고리즘 검증을 위하여 개발 중인 유도탄 시험체 또는 주요 유도탄 구성품을 POD 형태로 제작하여 항공기에 장착하여 시험한다¹⁾. 국내에서는 KTX-1 항공기를 이용하여 항법장치, 센서, 유도조종장치, 통신장치 및 탐색

^{*} Corresponding author, E-mail: inchul.park@lignex1.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

기 등의 유도탄 구성품에 대하여 탑재비행시험을 통한 시험평가 방법이 제안되었으며, 유도탄 개발 과정에서 유도탄 구성품의 성능 및 알고리즘 검증에 탑재비행시험이 적용되고 있다^[2].

현재 개발되거나 개발 진행 중인 대공유도탄의 경우 탑재비행시험(CFT)은 초고주파탐색기, 열영상탐색기 등 유도탄 구성품의 성능입증에 중점이 맞추어져 있다. 최근의 대공유도탄은 초기 관성항법유도, 중기 지령유도 및 종말단계 탐색기를 통한 능동 또는 수동호밍유도를 단계적으로 적용하는 복합(Multi-mode) 유도방식이 적용되고 있으며, 탑재비행시험을 통해 유도탄 구성품에 대한 성능과 함께 유도탄 비행과정의 유도기법을 포함한 성능 검증이 필요하다.

복합유도방식이 적용된 유도탄에 대한 탑재비행시험은 항공기 장착용 POD와 지령유도를 위한 지상체계 및 시험 계측시설의 연동을 통하여 시험이 수행될 필요성이 있다. 이는 부체계간 유선 또는 무선 연동을 통한 정보 교환으로 기능을 수행하는 분산무기체계의 특성을 가지고 있기 때문이다. 따라서 탑재비행시험의 성공을 위해서는 지령유도 신호를 포함한 탑재비행시험 시스템의 체계통합 및 검증이 요구된다^[3].

본 논문에서는 지령유도를 포함한 복합유도방식이 적용된 유도탄의 탑재비행시험을 효과적으로 수행하기 위한 방법으로서 탑재비행시험용 POD의 점검, 지령유도 과정의 점검, M&S 기반의 가상 표적정보를 이용한 탑재비행시험 시스템의 통합 및 검증 방법을 제시하였고, 이를 통한 탑재비행 시험 결과를 보였다.

2. 복합유도방식이 적용된 유도무기체계

복합유도방식이 적용된 대공 유도무기체계는 초기 관성항법유도, 중기 지령유도, 종말 능동 또는 수동호밍유도를 복합적으로 사용하여 표적과 교전한다.

초기 관성유도는 유도탄 발사 전 장입된 표적정보에 따라 유도탄의 관성항법을 통해 표적위치로 유도하는 방식이고, 중기 지령유도는 실시간의 표적 정보를 유도탄에 무선으로 전달하여 유도하는 방식이다. 종말 능동호밍유도는 유도탄의 초고주파탐색기를 통해 레이더신호를 조사하고 반사되는 신호를 이용하여 추적하는 방식이고, 수동호밍유도는 적외선 탐색기를 통해 표적에서 방사되는 열을 감지하여 추적하는 방식이며, 두 가지 유도방식을 함께 사용하기도 한다.

아래 Fig. 1에 지령유도를 포함한 복합유도방식이 적용된 SM-2 유도탄 운용 개념도를 보였다. SM-2 유도탄은 발사 후 초기 관성유도, 중기 지령유도, 종말단계에서 능동 또는 수동호밍유도 방식을 사용하여 표적과 조우한다^[4].

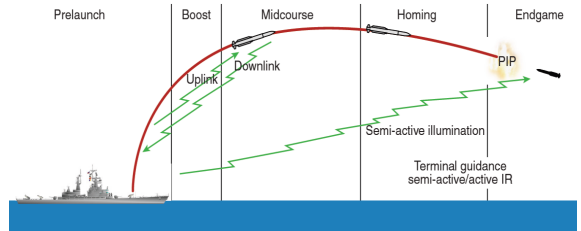


Fig. 1. SM-2 flight phase

지령유도방식이 적용된 일반적인 중장거리 유도탄을 운용하는 무기체계는 함정 및 지상체계 등 체계의 관성좌표계 기준으로 표적의 Bearing, Elevation, Range 및 각 Rate 정보를 유도탄에 무선 전송한다. 유도탄은 체계에서 탐지한 표적정보를 수신하여 유도탄 항법장치 좌표계, 유도탄 탐색기 김발 좌표계로의 좌표변환 과정을 통해 표적 방향으로의 김발 구동 각을 산출하여 표적 탐지에 적용한다.

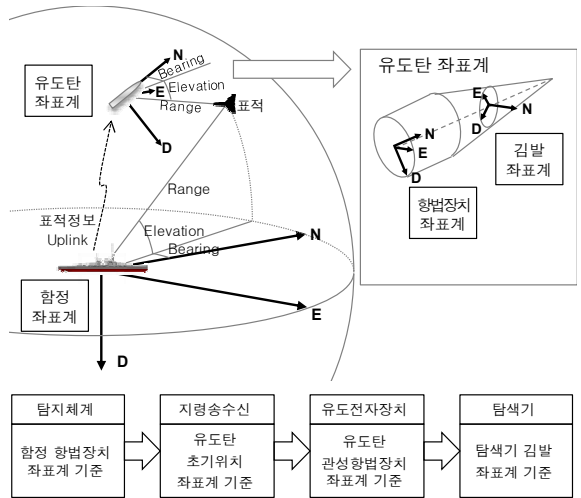


Fig. 2. Transformation of target coordinate

Fig. 2는 함정에서 탐지된 표적의 BER(Bearing, Elevation, Range) 및 BER Rate 정보가 지령유도를 통해 유도탄에서 수신되고, 유도탄 좌표계 기준으로 변

환 후 유도탄 탐색기 김발좌표계 기준의 구동명령으로 전달되는 과정을 나타낸다.

이와 같이 지령유도로 전송된 표적정보는 유도탄 내에서 여러 단계의 변환과정을 거쳐 유도탄 기준의 표적위치 표적 탐지 및 유도조종에 적용되며, 탑재비행시험을 통해 체계의 표적정보 생성과 송신, 유도탄의 표적정보 수신과 처리과정을 검증할 필요가 있다.

3. 탑재비행시험용 POD 및 지상체계 구성

복합유도방식이 적용된 유도탄의 탑재비행시험용 시스템은 유도탄 구성품이 장착되는 탑재비행시험용 POD와 발사절차 수행 및 지령유도를 위한 지상체계로 구성된다.

탑재비행시험용 POD는 Fig. 3과 같이 복합유도방식의 검증을 위한 시험대상 유도탄의 구성품과 자료획득을 위한 부수장치로 구성하였다. 유도탄 구성품은 초고주파탐색기, 열영상탐색기, 유도조종장치, 지령수신기, 원격측정장치를 탑재하였고, 부수장치로 GPS 수신기, 전원장치, 인터페이스장치, 자료저장장치, 배터리 팩 등을 탑재하였으며, 탑재비행시험 시 항공기 이동 경로에 따른 탑재비행시험용 POD의 위치/자세 획득을 위한 GPS/INS 항법과 지상체계의 표적정보 전송을 통한 지령유도, 탐색기에 의한 능동/수동 호밍 유도 기능을 확인할 수 있도록 제작하였다.

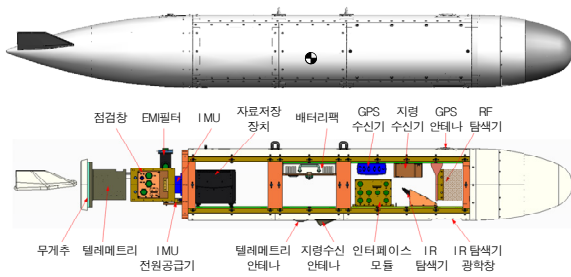


Fig. 3. Configuration of CFT pod

지상체계는 Fig. 4와 같이 사격통제장치 및 지령유도 송신장치, 표적모의기로 구성하였다. 사격통제장치 및 지령유도 송신장치는 복합유도방식이 적용된 유도 무기체계의 부체계를 사용하였다. 탑재비행시험 시 표적정보는 계측시설로부터 위도, 경도, 고도 형태로 표적모의기로 전송된다.

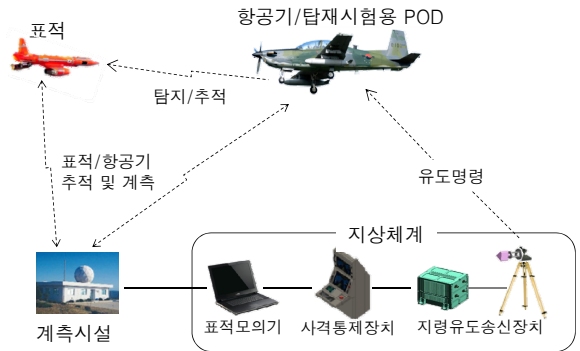


Fig. 4. Configuration of CFT system

표적모의기는 M&S를 적용하여 실제 탑재비행시험 시 계측시설로부터 수신하는 위도, 경도, 고도로 표현된 표적의 위치정보와 동일한 표적정보를 생성한다. 표적모의기는 상위체계 또는 레이더에서 사격통제장치로 전달되는 표적 탐지 정보를 모의하기 위하여 지상체계 및 표적의 위치 정보를 WGS84 지구모형을 고려한 ECEF 좌표로 변환하고, ECEF 좌표는 지상체계 위치에서 표현된 기준 NED 좌표로 변환하여 상위체계의 표적정보와 동일한 형태로 사격통제장치로 전송한다.

사격통제장치는 지상체계를 위치를 기준으로 표적의 상대적인 NED 위치벡터를 이용하여 BER과 BER Rate를 산출하고 지령유도송신장치를 통해 탑재비행시험용 POD로 무선 전송할 수 있도록 구성하였다.

4. 탑재비행시험 시스템 검증 방안

복합유도방식이 적용된 유도탄 탑재비행시험 시스템은 크게 표적 정보의 탐지 및 지령유도 기능을 수행하는 지상체계와 유도탄의 기능을 수행하는 탑재비행시험용 POD로 구성되며, 지령유도를 포함하여 운용되는 분산무기체계의 특성을 가지고 있다^{3,5)}.

본 논문에서는 탑재비행시험 시스템 통합을 효과적으로 수행하기 위한 방안으로 분산무기체계의 체계통합 및 시험에 적용되는 구성품 단위점검, 부체계간 연동점검, 체계통합의 단계적인 시스템 통합 과정을 적용하였으며, 검증을 위한 시험에서 필수적으로 요구되는 표적 정보는 M&S를 활용한 가상 표적정보를 생성하여 적용하였다. Fig. 5에 복합유도방식이 적용된 유도탄의 탑재비행시험 시스템에 적용된 체계통합방

법을 도시하였다. 탑재비행시험의 체계통합은 단위기능점검, 지령유도연동점검, 지상체계통합의 3단계로 진행하였다.

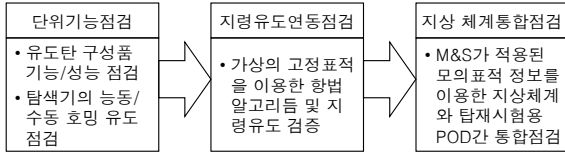


Fig. 5. CFT system integration process

4.1 단위기능 점검

탑재비행시험용 POD의 단위기능 점검은 유도탄 구성품상태와 기능을 확인하는 과정으로서, 초고주파탐색기에 의한 능동유도 기능과 열영상탐색기에 의한 수동유도 기능 및 유도명령 수신 기능, 기록장치/부수장치의 정상동작을 확인하는 목적으로 수행한다. 세부 점검 항목은 Table 1과 같다.

Table 1. Functional test for CFT pod

점검항목	점검내용	점검 방법
유도탄 구성품 상태 점검	전원인가 BIT	<ul style="list-style-type: none"> 유도탄 주전원을 인가 BIT 명령을 전송 후 결과를 확인
초고주파 탐색기 기능 점검	초고주파 탐색기 Pilot 추적	<ul style="list-style-type: none"> 초고주파탐색기에 Pilot 추적 명령 전송 탐지/추적 전환 및 추적 유지 상태를 확인
	초고주파 탐색기 공간방사	<ul style="list-style-type: none"> 초고주파 탐색기 일반 예열 표적위치 지정 및 송신 명령을 전송 송신 시 전류소모량과 송신파형, 펄스 주기, 송신출력을 확인
열영상탐색기 기능 점검	열영상 탐색기 추적	<ul style="list-style-type: none"> 고정된 표적 좌표로 유도명령을 송신 해당 지점에서 열원을 사용하여 열영상 탐색기의 탐지/추적 상태를 확인
지령수신기 기능점검	유도명령 수신	<ul style="list-style-type: none"> 점검용 지령송신기로 유도명령을 송신하고 지령수신기의 수신데이터와 비교하여 수신 Sequence, 수신레벨을 확인
관성측정장치 기능 점검	자체정렬	<ul style="list-style-type: none"> 관성측정장치를 5분간 자체정렬하여 항법모드로 진입 탑재비행시험용 POD의 움직임에 따른 자세정보 변화를 확인
텔레메트리 기능 점검	원격측정 데이터 수신	<ul style="list-style-type: none"> 원격측정수신기로 텔레메트리 신호를 수신 후 디코딩하여 내용 확인

탑재비행시험용 POD의 단위기능 점검 시 구성은 탑재비행시험용 POD, 점검장비, 열영상탐색기용 열원 등으로 Fig. 6과 같이 구성하였다.

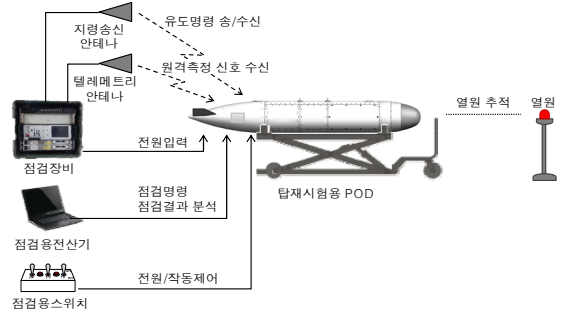


Fig. 6. Configuration for functional test of CFT pod

4.2 지령유도 연동점검

지령유도연동점검은 지상체계에서 송신된 표적정보가 탑재비행시험용 POD로 전송되어 유도전자장치 내 유도 알고리즘에 의해 유도탄 관성좌표계 기준의 표적정보로 변환된 후 초고주파탐색기 김발 좌표계 기준의 구동명령으로 전달되는 지령유도의 과정을 검증할 목적으로 수행한다.

유도탄 발사 후 유도탄의 유도조종장치는 지령수신기에서 수신하는 지상체계 기준의 BER 및 BER Rate 정보를 표적의 ECEF 위치벡터 정보로 변환하고, 유도탄 기준의 NED 좌표계 기준의 표적 위치벡터를 산출한다. 유도탄의 BODY 좌표에서 바라본 표적의 상대적인 위치벡터를 이용하여 BER과 BER Rate를 산출하여 초고주파탐색기로 김발 구동명령을 전달하고 열영상탐색기로 표적 위치를 전달함으로써 표적을 탐지할 위치를 지정한다.

탑재비행시험용 POD에 적용된 GPS/INS 항법 알고리즘과 지령유도로 전송된 표적정보의 변환과정에 대한 적절성 검증을 위하여 Fig. 7과 같이 차량에 탑재비행시험용 POD와 점검장비를 탑재하고, 가상의 고정된 표적 정보를 탑재비행시험용 POD로 전송할 수 있도록 구성하였다.

차량을 이동함과 동시에 가상의 고정된 표적정보를 전송하고, 탑재비행시험용 POD의 위치/자세 변화에 따라 유도전자장치에서 초고주파탐색기로 전송되는 표적 위치 지정(Target Designation)과 김발구동 명령의 변화를 확인함으로써 지령유도에 의한 표적정보 변환과정을 확인한다.

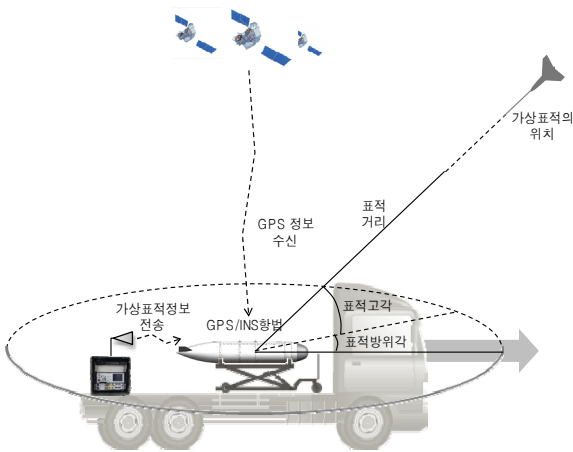


Fig. 7. Configuration for command guidance test of CFT pod

4.3 지상 체계통합점검

지상 체계통합점검은 Fig. 8과 같이 표적모의기, 사격통제장치, 지령유도송신장치로 구성된 지상체계와 탑재비행시험 POD 간 연동을 통해 탑재비행시험 시 시험궤적의 표적정보를 이용하여 실제 체계와 탑재비행시험용 POD 간 지령유도 과정을 검증할 목적으로 수행한다.

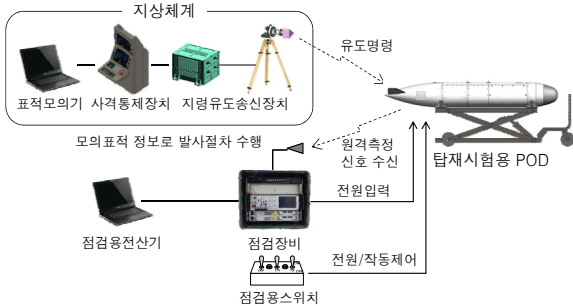


Fig. 8. Configuration for ground-based system Integration test of CFT system

탑재비행시험용 POD는 자체점검, 항법정보 입력 및 정렬, 유도탄 장입정보 입력 후 유도탄 비행 상태로 전환하여 대기한다.

표적모의기로 탑재비행시험 시 계측시설로부터 수신하는 위도, 경도, 고도의 표적정보와 동일한 표적정보를 시험 궤적에 따라 생성하고, 지상체계 위치에서 표현된 기준 NED 좌표로 변환하여 사격통제장치로 전송

한다.

사격통제장치는 시험 시나리오의 표적 궤적에 따라 비행하는 시뮬레이션 표적에 대하여 표적지정 및 할당, 유도탄 발사절차 수행, 유도명령 송신의 교전절차를 수행하여 지상체계 기준의 표적 BER 및 BER Rate를 유도명령 송신체계를 통해 탑재비행시험용 POD로 무선 전송한다.

탑재비행시험용 POD는 수신된 지상체계 기준의 표적정보를 GPS/INS 항법에 따른 탑재비행시험용 POD의 BODY 좌표 기준으로 변환하고 표적의 상대 위치를 계산하여 초고주파탐색기 김발을 구동한다. 표적의 접근에 따른 탑재비행시험용 POD의 탐지/추적 수행을 확인함으로써 지상체계에서 생성된 유도정보가 탑재비행시험용 POD까지 전송되는 지령유도 과정을 검증한다.

5. 탑재비행시험 수행 및 결과

항공기 탑재비행시험용 POD와 지상체계의 통합점검을 통해 시험 전 기능 및 성능을 검증하였고, 시험 시나리오에 따라 탑재비행시험을 수행하였다.

표적은 무인기를 사용하였고, 항공기는 탑재비행시험용 POD를 장착한 상태로 표적과 고도차를 두고 표적 진입방향으로 비행하였다.

지상체계는 계측시설로부터 수신한 표적의 위치정보를 이용하여 발사절차를 수행하고, 지령유도송신장치를 통해 표적정보를 탑재비행시험용 POD로 송신하였다.

아래 Fig. 9, 10은 항공기와 표적 조우 시 지령유도에 의해 지정된 표적의 방위각/고각과 초고주파탐색기의 추적 방위각/고각으로서, 지령유도 정보에 의한 표적 위치에서 표적을 정상적으로 탐지/추적하였음을 보여준다.

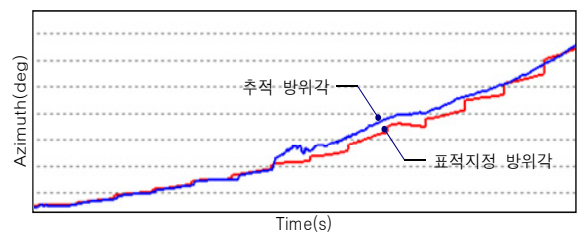


Fig. 9. Designated and tracked target azimuth

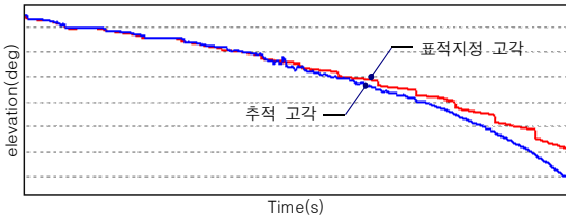


Fig. 10. Designated and tracked target elevation

아래 Fig. 11, 12, 13에서 보어사이트 에러가 0도에 수렴하고 초고주파탐색기의 SNR이 증가하는 것은 표적 접근 중 초고주파탐색기의 표적 추적 및 능동호밍 유도가 정상 수행되었음을 나타낸다.

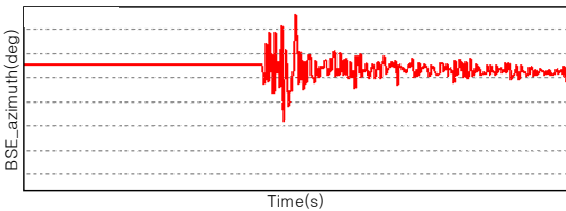


Fig. 11. Azimuth bore-sight error

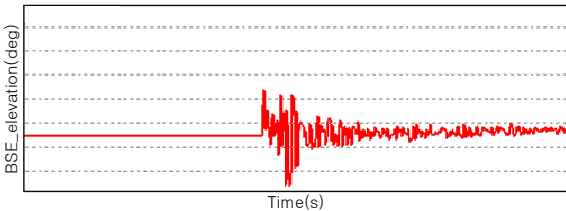


Fig. 12. Elevation bore-sight error

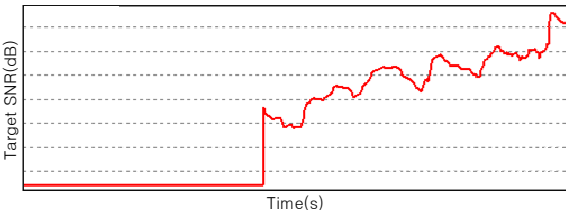


Fig. 13. Target signal to noise ratio

아래 Fig. 14는 본 탑재비행시험 시 초고주파탐색기의 표적 추적 위치에서 종말단계의 열영상탐색기의 탐지/추적 상태이며, 종말 수동호밍유도가 정상 수행되었음을 보여준다.



Fig. 14. Tracking of IIR seeker

6. 결론

최근의 초기 관성유도, 중기 지령유도 및 종말단계 탐색기를 통한 능동 및 수동 호밍유도방식이 복합 적용된 유도탄에 대한 탑재비행시험을 수행하기 위해서는 탑재비행시험용 POD 단위의 기능 및 성능 검증과 더불어 관성유도, 지령유도 및 능동/수동호밍 유도방식이 적용된 유도기법의 검증 및 체계통합과정이 필수적이다.

본 논문에서는 이와 같은 복합유도방식이 적용된 유도탄의 탑재비행시험 시스템 통합을 효과적으로 수행하기 위한 방안으로서 탑재비행시험용 POD의 단위기능점검 및 지령유도 연동점검, 탑재비행시험 시스템의 지상 체계통합점검의 단계적 체계통합 방안을 제시하였다. 또한 제시된 단계적 체계통합 방안을 적용하여 검증된 탑재비행시험 시스템에 대한 실제 탑재비행시험 수행 결과를 통해 지상체계의 표적탐지, 표적할당, 발사절차 수행, 유도명령 송신 기능과 유도탄의 지령유도 및 능동/수동 호밍 유도 기능이 정상적으로 수행됨을 확인하였다.

본 논문에 제시된 탑재비행시험 시스템의 단계적 통합 방안을 적용하여 탑재비행시험 시 발생할 수 있는 구성품 단위의 오류, 유도 과정의 오류, 탑재비행시험용 POD와 지상체계 간 연동 오류를 사전에 식별 및 배제함으로써 복합유도방식이 적용된 유도탄의 성공적인 탑재비행시험을 위한 탑재비행시험 시스템의 통합 및 검증에 적용 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] Hyeong-Seop Yeom, Jong-Hoon Oh and Myung-Seong Kim, "Application of Captive Flight Test to Weapon System Development," Fall Conference of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 2, 2010.
- [2] Sung-Mhan Lee, Su-Chang Lee, Hyun-Shik Oh and Duck-Yong Sung, "Test and Evaluation of Onboard Equipments for Guided Missile via Captive Flight Test," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 35, No. 1, pp. 73-78, 2007.
- [3] Kyoung-Hwan Jo and Gwan-Beum Choi, "System Level Test & Evaluation for Command Guided Missile System," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 14, No. 6, pp. 1031-1036, 2011.
- [4] Clifton E. Cole Jr, "Missile Communication Links," Johns Hopkins Apl Technical Digest, Vol. 28, No. 4, pp. 324-330, 2010.
- [5] Inchul Park, Mooyong Ryu and SangWon Kim, "Study on System Integration and Test Method for Distributed Weapon System," Advanced Guided Weapon System Conference, pp. 92-95, 2007.