

## 유도형 로켓탄의 시험평가 방법에 관한 연구

### Study on Methods in Test & Evaluation of the Guided Rocket Munition

안 만 기\*                      권 택 만\*                      황 운 희\*                      황 우 열\*

Mahn-Ki Ahn                      Tag-Mahn Kwon                      Un-Hee Hwang                      Woo-Yull Hwang

#### Abstract

This paper describes on methods in test and evaluation of the guided rocket munitions of the domestic new generation multiple launcher rocket system. We modified and refer to the present model of air-to-air missile(AAM) and surface-to-air missile(SAM). Also we suggested a method of surface-to-surface missile(SSM) based on the characteristics of the guided rocket in test and evaluation(T&E). According to this study, the suggested activity of T&E should be observed methods compatible with each item on the established model. Therefore, we expect that the proposed research material will be a good guide to the study of a surface-to-surface missile(SSM) installed GPS/INS integration navigation guidance & control systems in the future.

Keywords : Method, Test & Evaluation, Guided Rocket Munition, GPS/INS Integration Navigation Guidance & Control

### 1. 서론

미래전은 정보를 실시간 공유하고, 식별된 표적을 신속/정확하게 정밀타격 할 수 있어야 한다. 특히 국지 위협의 유형이 다양해지고 있어 화력무기체계도 새로운 투발수단 개발과 사격통제장치의 적용이 요구되고 있다. 포병대대의 화포/병력의 감소 및 사단/군단의 작전 책임지역 확장으로 인한 화력보강이 절실한 실정인어서 화력무기체계 중 미래 포병의 전력구조 및 화력보강을 위한 가장 유력한 무기체계로 다련장 로켓체계(MRLS)가 거론되고 있다. 또한 장사거리, 고 위

력 및 정밀타격이 요구되므로 유도장치의 장착(유도형 로켓탄)이 필수적이다.

본 논문에서는 시험평가 관련 미국의 공군규정, 육군규정, 및 태평양미사일시험센터(Pacific Missile Test Center) 관계자들이 저술한 유도탄 시험평가 방안 등을 참고하여 GPS/INS 통합항법 유도조종장치(GPS/INS Integration Navigation Guidance & Control System)가 장착된 지대지 미사일의 시험평가 시 적용할 수 있는 방법을 제안한다<sup>1~4)</sup>.

### 2. 차기 다련장체계 사업

#### 가. 차기 다련장사업체계 소개

차기다련장체계는 방위사업청 통합사업팀(IPT) 사업관리하에 정부투자 업체주관 연구개발사업으로서 5년

† 2010년 7월 23일 접수~2010년 10월 22일 게재승인

\* 국방기술품질원(Defense Agency for Technology and Quality)

책임저자 : 안만기(amk93@paran.com)

간 체계개발을 수행하여 ○○년 전력화 배치될 예정이다. 미래전장 환경에 부합하는 장사거리, 고위력 및 정밀타격이 요구되는 차기다련장체계는 발사대 및 탄약운반차, 유도탄 및 무유도탄으로 구성되어 있다. 특히, 장사정거리 정밀타격이 가능한 유도탄(유도형 로켓탄)은 위성항법과 관성항법을 통합 적용하여 위치 및 자세를 측정하고 카나드를 조종하여 목표점을 찾아가는 유도조종을 수행한다.

나. 유도형 로켓탄(유도탄)의 구성

유도탄은 Fig. 1과 같이 침두부, 유도조종부, 탄두부, 추진기관부, 후방날개조립체 등으로 구성된다. 최대/최소사거리 요구사항을 만족하기 위해서 유도조종부는 활공/하강유도조종기법을 사용한다. 활공 유도조종시 충분한 구동날개의 날개각을 고려하고, 하강유도조종시 충분한 구동장치의 토크가 생성되도록 설계되었다. 또한 발사 전에 GPS와 항법계산과 발사 후에 GPS 보정을 통한 통합항법으로 총유도탄 정확도(CEP)를 향상시킨다.

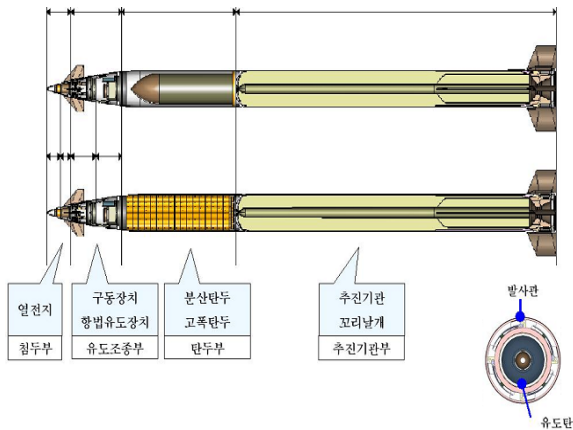


Fig. 1. 유도형 로켓탄 형상

3. 기존 유도미사일의 시험평가 모델

시험평가(T&E : Test and Evaluation)는 시험과 평가의 복합어로 무기체계의 기술적인 성능과 적합성, 운용 효과성을 판단하는 업무이다. 대표적인 형태는 개발시험평가(DT&E : Developmental Test & Evaluation)와 운용시험평가(OT&E : Operational Test & Evaluation)이다.

시험평가 모델은 획득 단계별 개발시험평가와 운용 시험평가에 대한 구체적인 요소, 평가지표 및 기준, 방법 및 자원, 그리고 과정으로 나타낼 수 있다. Fig. 2는 기존의 시험평가 모델로 체계 성숙도에 따라 시험평가 과정을 구체화하고 각 과정에서 필요한 시험평가 방법과 자원을 기술하고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 모델은 미 공군의 모델을 바탕으로 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[4,5]</sup>.

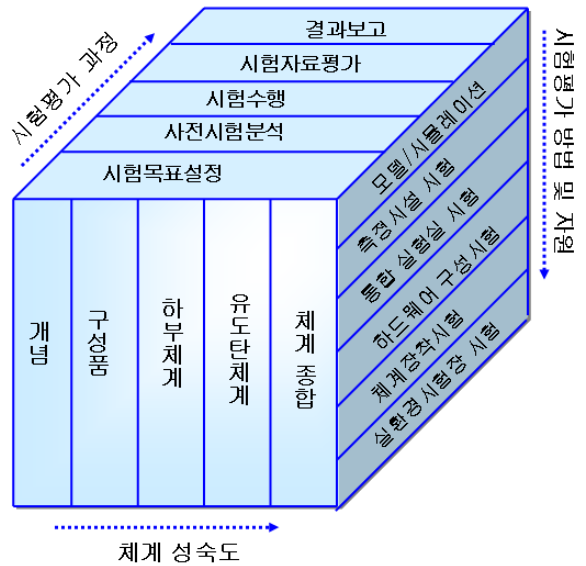


Fig. 2. 시험평가 모델

가. 체계 성숙도(시험평가 항목 및 기준)

1) 개념단계의 시험(Concept Phase Test)  
최적 설계안을 결정하기 위해 디지털모델과 컴퓨터 시뮬레이션 시험을 이용한 M&S(Modeling & Simulation) 연구가 수행될 수도 있다.

2) 구성품 시험(Component Test)  
구성품들이 하부체계에서 설계된 대로 수행하는가를 확인하는 것으로 하부체계 내에서 요구되는 충실도에 대한 구성품의 성능을 확인한다.

3) 하부체계 시험(Subsystem Test)  
설계요구도에 따라 얼마나 잘 기능하는지를 평가하고 또한 다른 하부체계와 얼마나 잘 통합되는지도 평가한다. 통합실험실 및 하드웨어 구성(HILS)시험에서 수행된다.

4) 유도탄체계(Missile System Test)

추진기관, 기체 안정성 등의 성능확인 및 공력자료를 획득하기 위한 무유도비행시험과 조종컴퓨터, 구동장치, 조종(Autopilot)기법 등의 성능을 확인하는 계획유도비행시험, 유도조종장치, 신관 및 탄두 등을 포함하여 전체적인 유도성능을 확인하는 종합유도비행시험을 수행한다.

5) 체계종합 시험(Integrated System Test)

가능한 실제와 유사한 운용환경 조건하에서의 체계시험을 수행한다. 효율성시험 및 적합성시험 등으로 야전 운용환경과 유사하도록 시험한다.

나. 시험평가 과정(Process) 및 절차(Procedure)

M&S를 활용한 사전 시험 분석능력의 향상을 통하여 사전 시험분석 단계와 사전 시험결과와 실시시험 결과에 대한 비교분석 등을 포함하여 Fig. 3과 같이 5단계 과정으로 구분될 수 있다.

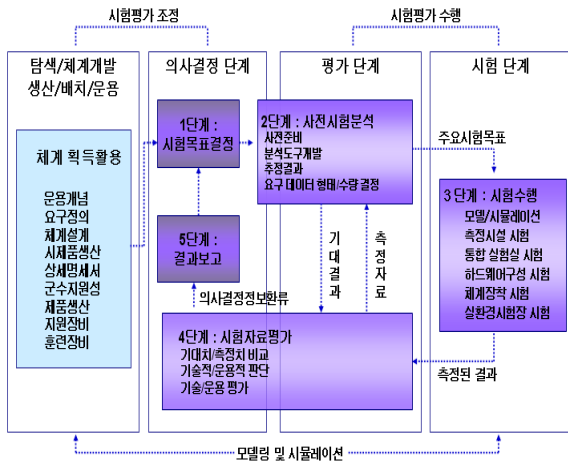


Fig. 3. 시험평가 수행과정

다. 시험평가 방법(Method) 및 자원(Resource)

1) 디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험(Digital models and Computer simulation Test)

디지털모델은 탄도분석, 안정성/제어/유도성능, 열-조직 반응, 추진성능, 표적취약성 및 탄두효과분석 등의 특성을 다각도로 다룬다.

2) 측정시설 시험(Measurement Facility Test)

공기역학적 저항, 정확도 등을 측정하기 위해 시제

품 하드웨어가 측정시설 시험에 포함될 수 있다.

3) 통합실험실 시험(Integration Laboratory Test)

개별 유도탄 구성품 혹은 다중 구성품 등이 통제된 환경에서의 상호작용을 평가하기 위해 수행된다. 다양한 컴퓨터 시뮬레이션 및 시험장비 활용은 구성품에 대한 신뢰도, 안전성, 기능적 성능을 시험하기 위한 시나리오와 환경을 생성하는데 활용된다.

4) 하드웨어 구성시험(Hardware-in-the-loop Simulation Test)

하드웨어 구성시험 시뮬레이션은 개념탐구/정의, 시연/확인, 엔지니어링/제작개발 수행 중에 유도탄체계의 성능검증을 위해 활용된다.

5) 체계장착시험(Installed Systems Test)

전반적인 유도탄과 체계와의 통합을 포함하여 통합성능을 평가하기 위해 수행된다. 비행시험 전에 유도탄체계의 초기화에서부터 표적탐지 등의 성능요구사항을 비파괴적인 환경에서 검증할 수 있다.

6) 실 환경시험장 시험(Open Air Range Test)

실 환경 운영 조건하에서 유도탄을 평가 및 정보를 수집한다. 지상시험은 실패적과 위협에 대한 유도탄 사격을 포함한 실제 환경에서의 현상을 제공한다.

4. 제안하는 유도형 로켓탄 시험평가 방법

본 논문에서는 Fig. 2의 시험평가 모델 중 여섯 개의 시험평가 방법 및 자원의 범주(Categories)를 바탕으로 현재 국내 업체자체 개발 중인 유도형 로켓탄의 각 구성품별로 시험평가 방법을 제안해 본다<sup>[6~8]</sup>.

가. 유도조종부(GUIDANCE & CONTROL Section)

자이로와 관성측정기(IMU), GPS 수신기 및 안테나, 4개의 독립 카나드 구동장치, 유도조종 컴퓨터 및 항법 컴퓨터, 열전지를 포함한 INS/GPS 통합형 항법유도장치가 장착된다. 고폭탄두 및 분산탄두 유도탄에 호환이 가능하다.

Table 1. 유도조종부 시험항목

구 분	시험 항목
디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○안정성 및 제어(Stability and Control)</li> <li>○하강/활공 유도조종기법, 탄착 입사각 확인</li> </ul>
측정시설 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유도/조종 정확성(Accuracy)</li> <li>○초기 정렬(Initial Alignment)상태 확인</li> <li>○열전지 성능 확인</li> </ul>
통합실험실 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○소프트웨어 통합(Software Integration) 시험 : PILS(Program in the Loop Simulation)</li> <li>○소프트웨어/하드웨어 상호 연동성 확인(Software/Hardware Interface)</li> <li>○유도조종부 종합성능(Functional Performance) 시험</li> </ul>
하드웨어 구성시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○성능 검증(Performance Verification)</li> <li>○유도제어장치/관성항법장치/GPS 상호 운용성 (Guidance &amp; Control Unit/Inertial Measurement Unit/GPS Interoperability)</li> <li>○발사대와의 상호 운용성 (Interoperability With Launcher)</li> </ul>
체계장착 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유도조종 통합연동 시험 (G&amp;C Integration)</li> <li>○유도제어장치/관성항법장치/GPS 상호 운용성 (Guidance &amp; Control Unit/Inertial Measurement Unit/GPS Interoperability)</li> </ul>
실 환경시험장 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유도/제어/항법의 정확성(Accuracy)</li> <li>○GPS 추적여부 확인 (GPS Tracking state)</li> </ul>

Table 2. 기체/추진기관 시험항목

구 분	시험 항목
디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○기체형상 설계/검증 (Airframe Design/Verification)</li> <li>○추진기관 단면형상(Cross Section Models)분석</li> <li>○3차원 유체역학 코드(3-D Hydrodynamic Codes)분석 : 계산상 유체역학(Computational Fluid Dynamics) : 풍동모의시뮬레이션(Wind Tunnel Simulation)분석</li> </ul>
측정시설 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○추진기관 단면형상 분석 (Cross Section Models)</li> <li>○기체 구조(Structural)분석 : 열적/기계적 특성</li> <li>○공기열역학(Aerothermodynamic)분석 : 비행 중 공기마찰력 시험</li> <li>○추진기관 연소/추력시험(Rocket Motor Burn/Thrust) : 열반응 특성</li> <li>○에너지 관리능력 확인 (Energy Management)</li> <li>○비파괴검사/시험 (Non-destructive Inspection/Test)</li> </ul>
통합실험실 시험	○추진기관 점화 및 연소(Motor Ignition and Burn)시험
하드웨어 구성시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○공력시험 및 분석</li> <li>○탄형상 및 크기에 따른 MOI, 동특성, 공탄성시험</li> <li>○구동장치 구동각/토크 분석</li> </ul>
체계장착 시험	○기계적/전기적 적합성 확인 (Mechanical/Electrical Fit Checks)
실 환경시험장 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○비행안정성(Flight Stability)</li> <li>○완속/급속가열시험 : 온도(고온, 저온) 시험(저장시, 서서히 가열되는 열적 환경 변화의 취약성 평가)</li> </ul>

다. 신관 장치(Fuze)

감지센서와 전자장치로 구성된 고폭탄두와 분산탄두의 무게, 크기 등을 비롯하여 이중안전기능, BIT기능 등을 검증할 수 있도록 각 단계별 시험항목을 설정하였다.

나. 기체/추진기관(Airframe/Propulsion)  
기체구조 및 추진기관(충전체, 노즐조립체, 점화기, 점화기마운트)의 성능요구조건을 검증하도록 각 단계별 시험항목을 설정하였다.

Table 3. 안전장전장치 시험항목

구 분	시험 항목
디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전자기 적합성(EM Compatibility)분석</li> <li>○ 상호 운용성(Interoperability)</li> </ul>
측정시설 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기폭관(점화기) 성능 (Initiator Performance)</li> <li>○ 환경 조건하 시험 : 충격/진동/습도/온도</li> <li>○ 타이머 성능(Timer Performance)</li> <li>○ EM 적합성(EM Compatibility)</li> <li>○ 충격(Impact)/지연효과 분석</li> <li>○ 관통능력(Penetration)분석</li> <li>○ 생존성(Survivability) 또는 견고성 시험</li> <li>○ 자탄 보조전지 성능 확인</li> <li>○ 분산탄두 자탄신관 자폭기능/제한 시험</li> </ul>
통합실험실 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전기적 성능(Electronic Function)</li> <li>○ 기계적 성능(Mechanical Function)</li> <li>○ 신관 취급, 보관에 따른 안정성 (Safety) 시험</li> </ul>
하드웨어 구성시험	N/A
체계장착 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ EMI/EMC 시험</li> <li>○ 장전기능(Arming function) 확인</li> </ul>
실 환경시험장 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시간지연 기능(Delay Function)</li> <li>○ 탄두 점화(Warhead Initiation)</li> <li>○ 충격기능(Impact Functioning)</li> </ul>

라. 고폭 및 분산 탄두(Warhead)

탄체와 주장약으로 구성된 탄두에 대한 무게, 살상 반경, 관통력, 안정성, 자탄 성능(자폭기능, 자폭시한, 분산효과 등)을 검증할 수 있도록 각 단계별 시험항목을 설정하였다.

마. 유도탄 종합시험(ALL-UP-ROUND)

최종 시험평가 단계로 비행시험을 위한 각종 시스템 (원격측정, 레이더 계측, 광학측정, 기상측정)이 요구

Table 4. 탄두 시험항목

구 분	시험 항목
디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탄두 성능(Warhead Performance) 분석</li> <li>○ 파편 분산 패턴(Fragmentation Dispersing Pattern) 분석</li> <li>○ 자탄 분산 패턴(Grenade Dispersing Pattern) 분석</li> <li>○ 속도 및 충격 패턴(Velocity and Impact Pattern) 분석</li> <li>○ 3차원 유체역학 코드(3-D Hydrodynamic Codes)</li> <li>○ 운동에너지 관통력(Kinetic Energy Penetration) 분석</li> <li>○ 탄체 구조 안정성(취약성, 내충격) 분석</li> </ul>
측정시설 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탄두 관통력시험 : 파편의 속도, 충격 형태(Fragment Dispersion Pattern, Velocity, Impact Pattern)</li> <li>○ 신관체계 조립성(Fuze Integration) 확인</li> <li>○ 비파괴 검사/시험(Non-Destructive Inspection/Test)</li> <li>○ 자탄 안정장전 확인</li> </ul>
통합실험실 시험	○ 탄두성능(Functional Performance)시험
하드웨어 구성시험	N/A
체계장착 시험	N/A
실 환경시험장 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 폭압/파편의 취약성(Lethality Blast/Fragmentation Weakness)</li> <li>○ 완속/급속가열시험 : 온도(고온, 저온)시험(저장시, 서서히 가열되는 열적 환경 변화의 취약성 평가)</li> <li>○ 폭발 고도, 자탄 불발율 측정</li> <li>○ 관통능력 및 기능시험(Penetration Survivability and Functioning)</li> </ul>

되며, 실 환경시험장에서 비행시험 단계별 시험목적에 부합되도록 각종 고려사항을 검증해야 한다.

Table 5. 유도탄 종합시험 시험항목

구 분	시험 항목
디지털 모델 및 컴퓨터 시뮬레이션 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 3, 4, 5, 6자유도(3,4,5,6 DOF Performance) 분석 : 자유도별로 거리/정확도/비행궤적/발사 관분리(Range/Accuracy/Trajectory/Separation)</li> <li>○ 군수지원(Logistics Support) : 신뢰도분석 등</li> <li>○ 정적/동적 하중(Static/Dynamic Loads) 분석</li> <li>○ 안정성 및 제어(Stability and Control) 분석</li> <li>○ 설계 적합성 확인(Fit Check)</li> <li>○ 표적특징(Target Signature) 분석</li> <li>○ 최종단계 치명도(Endgame Lethality) 분석</li> <li>○ 전자기 적합성(EM Compatibility) 분석</li> <li>○ 무기체계 효과도(Weapon System Effectiveness) 분석</li> </ul>
측정시설 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 구조(Structural) 시험</li> <li>○ 공기열역학(Aerothermodynamic) 시험 : 공기마찰력에 따른 영향분석</li> <li>○ 기체 형상(Signatures-Configuration) 확인</li> <li>○ 체계 환경(Environmental) 시험</li> <li>○ 체계 안정성(Safety) 확인</li> <li>○ 발사순서 확인(Launching Firing Sequence Check)</li> <li>○ 정적/동적 하중(구조강도) (Static/Dynamic Loads)</li> <li>○ 전자기 적합성 시험(EM Compatibility)</li> <li>○ 중량, 균형, 물리적 특성 확인(Weight, Balance, Physical Characteristics)</li> <li>○ 기체구조 분석평가 : 고유진동해석</li> <li>○ 탄 수송용기 시험</li> </ul>
통합실험실 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 종합 성능(Functional Performance) 시험</li> <li>○ 시스템의 안정성(Safety) 확인</li> <li>○ 탑재형 소프트웨어(Embedded Software)의 성능확인</li> </ul>
하드웨어 구성시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탑재형 소프트웨어(Embedded Software) 성능확인</li> <li>○ 발사대와의 상호운용성 확인(Interoperability with Launcher)</li> <li>○ 모의비행시험(HILS) 유도탄 구성품의 체계조립전 비행성능 모의 : 6-자유도 검증(6-DOF verification)</li> <li>○ 유도탄 동특성(Modal) 시험</li> <li>○ 체계성능검증(System Performance Verification) : 유도/치명도/무기체계 효과도(Guidance/Lethality/Weapon System Effectiveness)</li> <li>○ 발사순서 확인(Launching Firing Sequence Check)</li> </ul>
체계장착시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발사대와의 통합시험(Launcher Integration)</li> <li>○ 체계/운용자/탄두/추진기관에 대한 전자기 위협분석</li> <li>○ 체계 이동능력 확인</li> <li>○ 발사체계와의 데이터링크/유도탄 구성품 간의 데이터링크 성능(Data Link Performance)</li> <li>○ 발사관에서의 분리(Launcher Ejection) 확인</li> <li>○ 발사순서(Launching Sequence) 확인</li> </ul>
실 환경시험장 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ EMI/EMC 적합성 시험(EMI/EMC Compatibility Test)</li> <li>○ 무장체계 효과(Weapon System Effectiveness)</li> <li>○ 실사격비행시험(Live Fire Flight Test) : 무유도 비행시험(FFT, Free Flight Test) - 유도탄 초기 안정성확인 : 계획유도비행시험(PFT, Programed Flight Test) - 프로그램된 비행궤적성능시험 : 종합유도비행시험(GFT, Guidance Flight Test)</li> <li>○ 종합군수지원 평가</li> </ul>

## 5. 제안한 시험평가 방법의 분석

본 논문은 기존의 공대지, 지대공 유도탄 시험평가 방법 및 분석의 모델을 변형하여 지대지 유도형 로켓탄 시험평가 시 로켓탄 특성에 맞는 시험항목을 선정 및 변형하였다. 특히, 고유특성을 가진 유도조종부(하강/활공 유도조종기법, 탄착 입사각 확인, 열전지)와 고폭 및 분산 탄두(자탄 성능)의 성능 및 기능 등을 기존의 유도탄의 시험항목에서 추가하였으며, 그 외 공통적인 시험항목을 적용하도록 하였다.

## 6. 결론

본 논문은 정부투자 업체주관 연구개발사업인 차기 다련장체계에서 GPS/INS 통합항법 유도조종장치를 장착한 유도형 로켓탄의 시험평가 시 적용할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 레이더 계측, 기상측정, 광학 측정 등 시험체계 관련 사항은 제외하고 유도탄과 관련하여 기존의 시험평가 모델을 바탕으로 유도형 로켓탄의 고유 특성을 고려한 시험평가 방법을 기술하였다. 이는 향후 개발완료 및 시험평가 시 반드시 적용되어야 할 필수적인 시험항목으로 판단되며 국내 유사 무기체계에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

## Reference

- [1] US Airforce, AF Manual 99-104 : Armament/Munitions Test Process Direction and Methodology for Testing, Chapter 2, pp. 4~20, 1995.
- [2] US Army Pamphlet 73-2 : Test and Evaluation Master Plan Procedures and Guidelines, Chapter 2, 3, pp. 1~16. 1996.
- [3] Emil J. Eichblatt, Jr., Test and Evaluation of the Tactical Missiles, Volume 119, pp. 13~202, 1989.
- [4] 최성균외 4인, 정밀유도미사일 시험평가 모델, 과정 및 절차 개발, 국방기술품질원/방위사업청 정책 연구보고서, pp. 64~98, 2009.
- [5] 조기홍, 국내 차기 다련장 로켓 개발방안에 대한 고찰, 한국군사과학기술학회, Vol. 11, No. 6, pp. 21~29, 2009.
- [6] 방위사업청 다련장사업팀, 차기다련장체계 하드웨어설계기술서(HDD), 2010.
- [7] 손재열외 3인, 유도형 다련장 로켓체계의 시험평가, 제7회 한화 기술심포지엄, pp. 259~263, 2007.
- [8] 이현식외 2인, 유도형 다련장 로켓체계의 실시간 모의비행시험, 제6회 한화 기술심포지엄, pp. 209~213, 2005.