

무기체계 시험평가의 신뢰성 향상방안

박종완[†]

육군본부 시험평가단

The Action of the Reliability Enhancement in Test and Evaluation of the Weapon Systems

Jong Wan Park[†]

Test and Evaluation group of the Army HQ

Test and Evaluation (T&E) have been verifying the level of its technological skill and the needed operational status of the development weapons. If the overall spectrum of test and evaluation is fulfilled substantially in the production & deployment, the needed level of the weapon system will be enhanced and also the reliability status will become higher considerably. We can know currently these issues through the mass media and all kinds of the news regarding the defense industry and programs. And so this article have studied the method of enhancing reliability of the test and evaluation, the 6 variables were selected through the discussion of the professional group. The the test and evaluation group needs consistently the professional training systems. After DT&E, we have to the event to verify the technical level of the development systems. We have to take the high level of the kinds of the environmental test. Scientific methods like system engineering will be adapted in process of the test and evaluation. The number of suitable test prototype in the test and evaluation is analysed more systematically. And we need to establish the standardization of the test and evaluation. If 6 variables are well analysed and adapted in the working field, the reliability of the test and evaluation will be considerably, the defense industry will take the chance to develop the future-oriented.

Keywords: Test and Evaluation, The Professional Training Systems, The Technical Level of the Development Systems, The Environmental Test, System Engineering, The Number of Suitable Test Prototype, The Standardization

1. 서론

현재의 무기체계는 첨단 과학기술의 발전추세를 반영하여 지속적으로 정밀화, 다기능화, 복잡화되고 있다. 조준경 및 사통장치가 장착되어 적을 보다 정확하게 감시 및 타격하는 개인화기부터 타격지역의 오차범위를 점점 줄여가고 명중률을 배가시키는 유도무기에 이르기까지 체계의 기능이 고도의 통합체제로 개발이 되고 있는 실정이다. 이렇게 개발되는 무기체계류에 대해 소요군의 요구수준에 도달했는지 성능 확인 및 검증하는 시험평가는 보다 정교하고 과학적인 절차

와 기법을 적용하는 것이 중요하다. 학생들의 학습능력이 나날이 향상되는 만큼 이를 평가하는 학교 및 기관의 시험방법과 수준도 배가되어야 하는 것과 유사하다고 할 수 있다.

시험평가를 통해 개발 무기체계의 성능 및 요구분야에 대한 완전한 검증은 일정, 비용 등의 현실적인 여건으로 제한되지만 무기체계의 성능충족도에 최적화되는 수준에 도달하도록 확인하고 있으며, 소요군에게는 신뢰성있는 개발장비를 제공해준다고 볼 수 있다. 신뢰성은 개발장비의 기능이 복잡화되고 대량생산을 통해 고장확률이 높아지기 때문에 장비가 구비해야 할 성질이라 볼 수 있다. 여기서 신뢰성(은 제품

[†] jwpark1206@naver.com

2015년 5월 3일 접수, 2015년 6월 3일 수정본 접수, 2015년 6월 8일 게재 확정.

1) 부품·소재전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법 제2조 4항에 신뢰성이라 함은 부품·소재의 품질·성능 등이 일정한 조건하에서 일정한 기간에 요구되는 수준을 갖추고 있는 것을 말한다. 법률 제11713호(2013. 3. 23) 인터넷 두산백과사전, “신뢰성은 제품이 갖추고 있어야 할 품질을 일정기간 유지하고 큰 사고에 이르는 일 없이 고객만족도를 확보하는 성질이다. 신뢰성 확보를 위해서는 내구성, 안정성, 설계 신뢰성에 대한 고려가 충분히 이루어져야 한다.”

기능의 시간적 안정성을 나타내는 개념으로 '소요군 사용자가 부여된 임무를 수행하는 동안 운용하는 무기체계 및 장비가 구비한 고유의 기능을 정상적으로 발휘하는 성질로 표현이 될 수가 있다. 신뢰성이 높은 장비는 고장 및 결함이 낮게 나타나서 사용자가 운용하는 무기 및 장비를 신뢰하여 안정적으로 부여된 임무를 완수할 수 있다고 본다

그런데 최근에 언론 및 매스컴에 여러 무기체계 및 장비들에 대한 내용이 많이 회자되고 있는데, 상당한 부분이 성능수준 및 하자에 관련된 것으로 시험평가 과정 및 절차에 의문을 갖게 하는 부분이 있다. 그리고 소요군의 입장에서 성능상에 문제가 발생한 장비는 신뢰성이 낮아 임무운용에 많은 부담감이 있을 것으로 판단되며, 또한 무기체계 성능을 확인하는 시험평가에 대해서도 낮은 신뢰성을 가질 수밖에 없다고 본다. 그동안 시험평가 업무는 획득관리체계와 연계하여 과학적인 방법과 절차를 적용하였고, 시험평가요원은 많은 시간과 노력을 투자하여 평가결과의 가치를 지속적으로 향상시키고 있는 실정이다. 그럼에도 작금에 나타난 무기체계의 성능에 대한 사례들을 고찰해 볼 때 시험평가 제도는 이전보다 높은 정교한 기법과 방법을 요구하고 있다고 판단된다 따라서 본 연구에서는 무기체계 개발간 시험평가 제도가 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 어떠한 제도 및 절차적인 개선이 필요한지를 검토하고자 하며, 시험평가를 중심으로 관련기관에서 수립된 의견을 연관된 변수로 설정하여 현상 및 개선방안을 제기하고자 한다

2. 선행연구

무기체계 신뢰성에 대해서는 협의의 의미인 RAM, 내구수명, 내구도 등을 중심으로 주로 연구가 되어 왔다. 김철·강보식(2005)은 신뢰성시험시 시험비용의 증가로 인하여 사용자 시험이 어렵더라도 기술적 측면이외에 운용적인 측면을 충분히 고려하여 시험평가를 해야 한다고 주장했다. 김광태(2007)는 국방신뢰성 업무의 발전방향을 정책과 제도분야에서 신뢰성분야에 대한 민·군 클러스터 필요성을 제기하였다. 송병석·조재립(2008)은 국방분야 무기체계에 신뢰성의 필요성과 민간분야에서 구축된 신뢰성 인프라를 국방분야에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 최석철·손문국(2008)은 무기체계 획득과정에서 신뢰도 업무의 전반적인 실태를 파악하여 신뢰도 향상방안을 모색하였고, 특히 시험평가단계에서 신뢰도 수준달성 여부를 확인하는 활동단계인데 체계 시험은 이루어지고 있지만 구성품에 대한 신뢰도 시험이 생략되어 양산됨으로써 예산이 낭비하는 현상이 발생한다고

분석하였다. 이에 대한 대안으로 국방신뢰성 센터 설립을 요구하였다. 권택만 외(2011)는 217PLUS 시스템 고장률모델을 이용하여 유도탄 고체추진기관의 신뢰도를 예측하였다. 김형의(2011)는 국산 방산시스템의 주요 고장사례를 중심으로 고장발생 원인을 분석하고 시험평가시 대응방안을 제시하였는데, 연구개발 종료기간의 탄력적 운용이 필요하고 종합품질보증을 위한 시험평가 규격개발을 제기하였고, 국산화 개발부품의 품질 객관성확보를 위해 제3자에 의한 시험평가 제도를 제안하였다. 황호성 외(2012)는 효율적인 체계통합시험의 테스트 케이스 설계를 위해 복합유도무기체계의 작전 운용모드와 체계기본성능을 확인하기 위한 교전시나리오 기반으로 시험항목을 설계방안과 Pairwise 기법을 도입하여 시험항목을 최소화하면서도 많은 수의 결함을 검출할 수 있는 테스트 케이스 설계방안을 제시하였다. 김명수 외(2013)는 신뢰도 목표 달성을 위해서는 고장모드와 원인을 분석하고 개선방안을 찾아 신뢰성이 향상되는 과정인 신뢰성성장의 중요성을 제기하였고, 유도무기와 같은 특정체계에 적합한 신뢰성성장 개념과 모델의 차이점을 제시하였다. 김희욱 외(2014)는 신뢰성성장 탐색개발을 완료하고 체계개발중인 차기중어뢰 체계에 적용한 신뢰도 할당방법과 결과를 사례로 제시하였고, 신뢰도할당은 시스템의 목표신뢰도를 달성하기 위한 필수적인 설계활동으로 매우 중요한 역할을 한다고 언급하였다.

그동안 무기체계 신뢰도는 MIL-HDBK-217³⁾, PRISM 등의 관련규격을 개발체계 및 부품에 적용하여 고장률을 산출하거나 예측하는데 분석도구로 주로 활용해왔고, 연구논문들도 총 수명주기관리 차원에서 개발장비의 RAM과 관련한 목표값의 변화에 대해 주로 다루어 왔다. 국방분야에서는 신뢰도에 대해 중요도를 인지하고는 있지만 이를 운영하기 위한 조직 및 교육 등에 대한 체계적인 업무수행 여건의 미흡으로 국방전력발전업무 훈령에 RAM업무 위주로만 반영이 되어 있으며, 신뢰성에 대한 전반적인 정책에 대해서는 앞으로 지속적인 연구와 개선이 요구된다 또한 신뢰성은 양산이후에 단순평가에 제한적으로 수행되고 있고 고품질의 기술개발에 한계를 보이고 있는 상황에 따라 개발사업 전 단계에 걸쳐 체계적인 신뢰도를 향상시킬 프로세스를 정립할 필요가 있다. 그리고 시제품 제작 시 신뢰성평가를 통해 설계결함에 대한 시정조치를 하는 등 개발 초기에 신뢰성이 확보되도록 해야 한다.

신뢰성분야는 총 수명주기 관점에서 개발시작부터 양산까지 단계적으로 진행이 되어야 효율적인 성과를 기대할 수가 있다. 그런데 무기개발의 전반적인 분야에서 신뢰성분야를 다루기는 현실적으로 제한적이 면이 있고 성능을 확인 및 검

2) 국방부 공보실은 매일 각종언론 및 매스컴에 보도된 국방관련기사를 인터넷을 통해 군에 제공하는데 2014년 1월 1일~12월 31일까지 게재된 내용을 분석한 결과 무기체계와 관련된 보도건수가 약 400여 건으로 이중 180건 정도가 장비성능 및 기준 등과 관련된 내용이었다
3) 최석철·손문국(2008), 무기체계 신뢰도 향상방안 연구, 신뢰성응용연구 제7권, 제1호 pp. 44-45에서 MIL-HDBK-217은 일반적으로 전자부품에 대해 적용하고, 대부분 군사용 장비에 대한 신뢰도 분석도구로 활용이 되고 있다고 밝힘

증하는 핵심적인 과정인 시험평가단계에서 신뢰도 향상을 위해 개선이 필요한 분야로 조사하고자 한다.

3. 연구모형 및 방법

시험평가 신뢰성에 영향을 미치는 요인은 내외부로 나누어 볼 수 있는데, 내부요인은 시험평가 업무를 수행하는 조직 및 기관으로부터 발생하는 요소이며, 외부요인은 시험평가 업무외의 조직 및 기관에서 시험평가에 영향을 미치는 요소로 나타낼 수 있다. 이러한 관점을 갖고 내외부요인을 도출하기 위해 우선 방위력개선업무와 관련된 전문가 집단을 선정하였다. 내부요인 도출을 위해서는 육군 시험평가단 및 합참 시험평가부, ADD사업단을 중심으로 15명의 인원을 선정하였고, 외부요인 도출을 위해서는 육군 기참부, 방사청 IPT, 합참 전력기획부 등 12명의 대상을 협조하였다. 자료를 수집한 관계자들은 방위력개선업무에 최소 5년 이상은 근무한 경험이 있는 대상자들로, 작금에 언론매체에 보도되는 방산현안에 대한 실무적 지식을 구비한 요원들이다

선정된 전문가 집단을 대상으로 본 연구목적에 우선 알려주고 진행방향을 설명하였다. 육군 시험평가단은 직접 접촉하여 인터뷰를 하여 관련된 요인을 수렴하였고, 기타 부서 및 기관은 인트라넷을 이용한 웹메일 및 유선 등으로 연락을 하여 필요한 자료를 수집하였다.

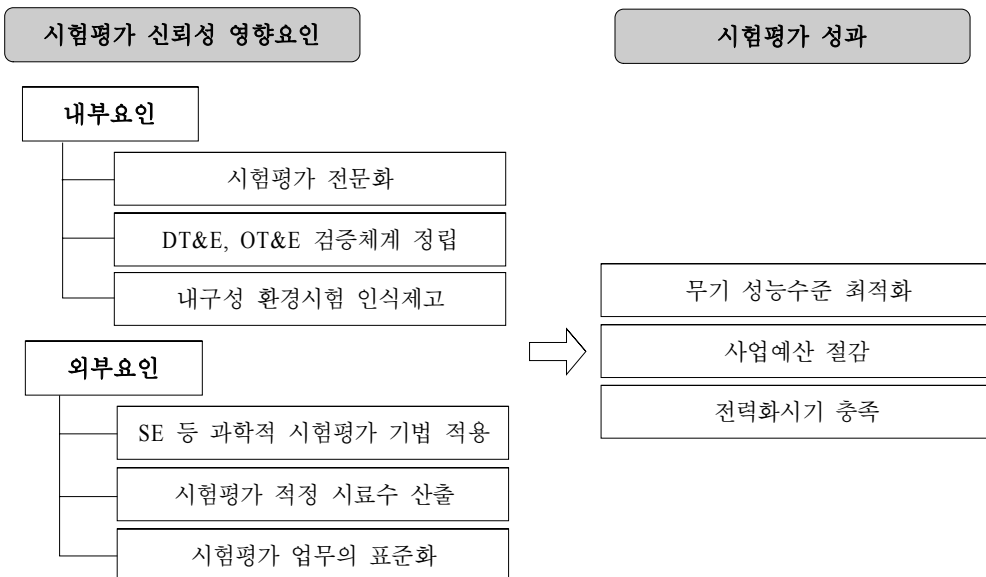
1차적으로 수집한 자료에 대한 유효성을 검토하여 항목별 빈도수를 산정하였고, 시험평가 업무수행간 제기된 각종 사업사례의 교훈을 반영하였다. 이런 과정을 거쳐 전문가를 통해 수렴한 의견을 종합한 결과 크게 6가지 항목이 시험평가 신뢰성에 영향이 있는 것으로 판단하였다. 해당되는 항목은

시험평가의 전문화, 개발시험 및 운용시험의 검증체계 정립 시스템엔지니어링 등 과학적인 시험평가 기법 적용, 장비 내구성을 위한 환경시험 제고, 시험평가 적정 시료수의 산출, 시험평가 업무의 표준화 등으로 설정하였고, 이와 관련된 연구모형은 <그림 1>과 같다. 시험평가가 내외부요인으로부터 신뢰성을 얻게 되면 소요군이 요구하는 개발 무기 성능수준을 최적화할 수 있고, 사업관리 예산을 절감가능하며, 운용부대에 전력화되는 시기를 적절히 충족시킬 수가 있다.

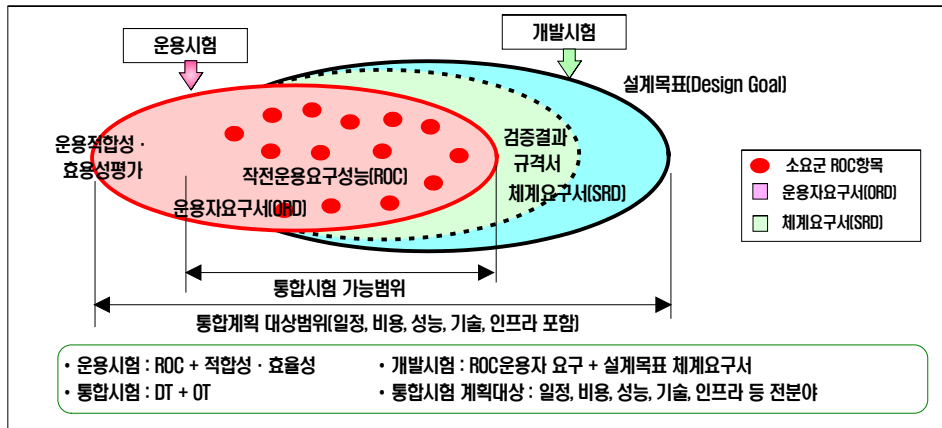
4. 시험평가의 역할 및 특성

무기체계 획득관리 체계상 탐색개발에서 체계개발단계로 전환하는데 요구되는 체계성능의 완성도 및 준비상태를 확인하기 위해 시험평가라는 과정을 통해 이루어진다. 시험평가의 주목적은 의사결정에 필요한 정보를 제공하는 것으로써 무기체계 개발과 획득 및 운영과정에서 정책결정자에게 적시적인 업무를 지원한다. 또한 시험평가는 체계개발 중에 중요한 성능요소와 관련된 사항을 검증하기 위해 사용하는 기술적 절차라 볼 수 있다. 소요군의 운용개념을 토대로 기본 및 상세설계를 하고 조립된 체계에 대해 검증 및 확인업무를 담당하는 시험평가는 이런 역할을 포함하고 있다고 본다.

시험평가를 통해 개발체계 성능을 완전하게 검증한다는 것은 시험인력 및 조건, 시험기간 및 예산 등의 여건으로 현실적으로 어려움이 있다. 가능한 개발체계의 성능수준을 최대한 확인하기 위해 IPT를 중심으로 관계기관 및 부서, 업체 등에서 나름의 노력을 배가하고 있는 현실이다. <그림 2>와 같이 시험평가 대상범위는 개발장비의 설계목표를 구현하고 확인하는데 있지만 정해진 규격서의 모든 내용을 시험평가



<그림 1> 시험평가 신뢰성 영향요인 도출 결과



<그림 2> 시험평가 대상범위



시험주체	• 개발기관(업체)	시험주체	• 소요군(시험평가단)
시험조건	• 기술적으로 조성된 환경(챔버 등)	시험조건	• 전장상황 고려, 실제 운용환경
시험중점	• 기본적 성능, 기술적 요구도 확인 • 기술 개발목표 달성 여부 확인	시험중점	• 군 운용 적합성, ROC 충족성 등 • 운용효과 달성 정도 확인
결과판정	• 기준 충족 또는 미달	결과판정	• 전투용(또는 군사용) 적합, 부적합

<그림 3> 개발시험평가 및 운용시험평가 분류

의 검증과정으로 전환하는 것은 많은 제한사항이 있다고 판단된다.

우리와 달리 미국은 시험평가를 성능요소에는 기술분야(개발시험평가), 효과도·적합성 및 생존성(운용시험평가), 취약성 및 치명성(실사격 시험) 등으로 분류하여 적용하고 있다. 탄약 및 미사일 등에 대해서는 1987년 국가방위수권법에 근거하여 반드시 실사격을 하여 성능을 검증하도록 법령화하고 있다. 이는 현재 우리나라의 시험장 여건이 상당히 열악하지만 무기개발을 검증하는 차원에서는 시사하는 바가 크다고 할 수 있다. 우리도 가능한 탄약 및 화력분야에 대해서는 실사격을 필수적인 코스로 반영이 되어야 한다. 그리고 개발시험부터 소요군 운용요원을 포함하여 개발장비의 성능수준을 증대시키고 있으며, 운용시험간에는 개발업체의 참여를 최대한 지향하여 운용의 완전성을 기하고 있다.

우리군의 시험평가는 일반적으로 개발시험평가(DT&E)와 운용시험평가(OT&E)로 구분하는데, 개발시험평가는 설계목표를 구현하기 위해 개발된 체계를 시제품이 각종 요구사항 및 규격과 상세기술 척도에 부합하는지를 검증하기 위한 기초자료를 제공하거나 기술을 확인, 위험을 예견, 운용시험진행을 위한 준비상태를 결정하기 위해 수행하고 있다.

운용시험평가는 소요군에 의해 작전운용성능 충족여부를 확인하고, 전장상황을 고려하여 실제 사용할 운용자가 적용해야할 작전환경 및 이와 동일하거나 유사한3계절의 조건에서 교리, 편성, 중합군수지원요소 등을 포함하여 군 운용의 적합성, 운용효과 달성 정도 등을 검증하고 있다.

5. 시험평가 신뢰성 영향요인 분석

5.1 시험평가 전문화

시험평가가 대내외적으로 신뢰성을 갖추기 위해서는 업무를 담당하는 부서 및 인원에 대한 전문화가 우선되어야 한다고 보고, 이를 구성하는 요소로는 조직 인력, 교육 등으로 나누어 볼 수 있다.

현재 우리군의 시험평가 업무를 담당하는 조직은 아래<표 1>과 같으며, 2014년 11월부터 방위사업법이 개정되어 시험평가 계획수립 및 판정 등의 업무가 시험평가의 객관성을 높이기 위해 방사청에서 국방부(합참)로 이관이 되었다. 그런데 국방부는 시험평가 담당요원이 2명으로 편성되어 있어 시험

〈표 1〉 시험평가 관련 조직 및 임무

구 분	부서	인원	업무
국방부	전력조정과	2명	<ul style="list-style-type: none"> • 시험평가 정책/계획 수립 • 시험평가 결과 판정 • 시험평가 예산의 확보 및 지원 등
합 참	시험평가부	27명	<ul style="list-style-type: none"> • 시험평가에 관한 제도발전 연구 • 시험평가 계획 수립 및 결과 판정을 위한 사전검토 • 시험평가 수행에 대한 조정·통제 • 시험평가 예산의 검토 및 집행 등
육 군	시험평가단	71명	<ul style="list-style-type: none"> • 지상 무기체계, 전력지원체계, 핵심기술 개발, 민·군 겸용 기술사업, 신개념기술시범사업(ACTD)운용시험평가 • 시험평가 기준·방법·절차에 관한 연구 • 시험평가 제도발전에 관한 업무 등
해 군	시험평가처	20명	<ul style="list-style-type: none"> • 함정 무기체계/전투체계/핵심기술 시험평가 • 시험평가 기준·방법·절차에 관한 연구 • 시험평가 제도발전에 관한 업무 • 함정 항공기 인수시운전업무 등
공 군	연구분석평가단 (시험평가과)/ 52시험평가전대	62명	<ul style="list-style-type: none"> • 항공기 무기체계/전투체계/핵심기술 시험평가 • 시험평가 기준·방법·절차에 관한 연구 • 시험평가 제도발전에 관한 업무 등

평가 정책 및 제도를 발전하고, 연 30~40개 사업에 대한 시험평가 결과판정을 하는데 질적인 업무개선 및 발전을 고려한다는 것은 여러 제한사항들이 있다. 합참은 각과별로 10여 명이내로 편성되어 있어 지상·해상·공중 무기체계에 대한 시험평가 업무를 조정 및 통제하고, 감사 및 국회 등의 대외적인 업무 등 대부분 관리적인 업무위주로 진행할 수밖에 없다. 그리고 무기체계중에 2개군 이상에 적용되는 사업에 대해서는 합참에서 합동군의 역할을 위해 시험평가를 해야 하는데 이를 수행하기 위한 업무조직이 편성이 안 되어 있다. 위성전군방공경보체계는 현 방공망을 군 위성을 이용하여 위성전군방공경보체제로 대체하기 위한 사업으로 육·해·공군 등 3군이 합동으로 운영하는 전군사업인 관계로 합참차원에서 시험평가를 하는 것이 적절한 방법이였다. 그런데 합참의 수행여건의 부족으로 육군이 주관하여 3군을 통합해서 시험평가를 실시했는데, 각군의 체계 요구사항이 다양하여 기능으로 전환시키거나 제반 의견조율이 어려워 평가진행상 많은 애로사항이 발생하였다.

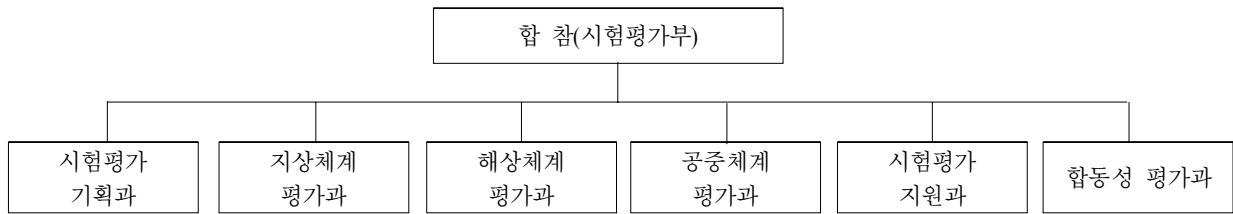
그리고 국내에는 시험평가에 소요되는 전문인력 소요창출, 양성 및 관리, 시험평가 기술자료 확보 및 관리, 전문시험장 및 시설확보, 중·장기적 시험능력 구비 등에 대한 종합적인 계획을 수립하고 시험평가 기반체계를 구축하기 위한 관리조직이 없다. 이는 무기체계 개발주기가 빠르고 첨단화됨에 따라 기술능력을 검증하는 시험평가 분야에 대한 효율적인 역할수행을 하는 것이 제한된다고 볼 수 있다.

그리고 시험평가 직무교육은 현재 방위사업청 및 국방대학원에서 전·후반기 각 1회씩만 진행되고 있으며, 시험평가

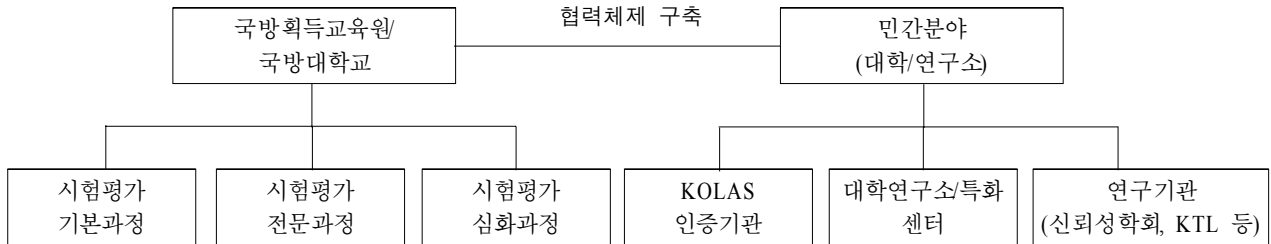
관련 기초적인 내용 위주로 교육을 하고 있고, 시험평가 업무를 담당하는 직원들에 대한 전문적이고 심화적인 교육과정은 편성이 안 되어 있는 실정이다. 따라서 무기체계의 기술개발 수준은 높아지고 개발주기는 빠르게 진행이 되는데 이를 적절하게 평가할 시험평가관의 평가 및 교육수준은 연계성이 부족하다는 것이다.

이러한 조직, 인력 및 교육상의 제한사항을 개선하고 시험평가 전문화를 위해서는 우선 조직적인 측면에서 임무수행의 완전성을 구비하고 있어야 한다. 현재 정책부서인 국방부와 합참이 시험평가 업무를 분담하고 있는데, 국방기획관리 및 획득관리체계의 효율성차원에서 한 개 부서가 전담하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 합참은 개발시험평가 및 운용시험평가 업무를 전반적으로 담당하기 때문에 시험평가 정책 및 제도 지침수립, 감사 및 국회 등의 업무소통 창구를 위해서 시험평가 기획과의 신설이 필요하다. 그리고 무기체계 특성 및 국내 연구개발의 활성화 등을 고려하여 지상체계평가과, 해상체계평가과, 항공체계평가과, 정보화체계(기반/응용체계) 평가과 등의 편성이 되어야겠다. 또한 연구기관, 방위산업체 등이 보유한 시험시설, 장비의 통합관리, 시험평가 전문인력 양성 및 관리업무 등 시험평가 지원을 위한 관리조직이 있어야겠다. 그리고 무기체계별로 합동성을 확인하고 3군의 공통적인 장비에 대해서는 시험평가를 주관하는 부서가 있어야 하고, 실질적인 통합시험평가를 수행하기 위한 부서가 편성되어야 한다.

그리고 장기적으로는 개발된 무기체계의 국외수출을 위해서는 국내에서 검증된 성능에 대한 인증권한을 부여할 수 있



<그림 4> 합참 시험평가부 개선 조직



<그림 5> 시험평가 교육체계 개선 조직

는 시스템이 구축되어 있어야 한다. 이는 항공기 감항인증 등과 같이 대외적으로 개발장비에 대한 신뢰도를 갖추기 위해 선진국이 추진하고 있는 기법이다 사업초기부터 요구도 개발관리, 형상관리 및 요구사항 추적을 통한 면밀한 검증과 시스템엔지니어링 기법에 의한 분석 및 검토가 체계개발 목적에 부합되도록 사업관리가 선행된 후에 합참은 정부를 대신하여 이를 검증하고 기준에 적합할 경우 인증서를 발행할 수 있도록 한다. 이렇게 정부가 개발된 무기체계에 대한 신뢰도를 인정함으로써 방산수출이 활성화될 수 있으므로 국가경제의 발전에 적극적인 기여여건을 조성해야 한다.

그리고 각군은 개발시험평가 과정에 참여하고 그 결과물 토대로 운용시험평가 계획을 수립하는데, 현실적으로 개발체계 및 구조의 각종 기술적인 전문지식에 접근하기가 상당히 제한된다. 그래서 운용시험평가를 하는 과정에서 발생하는 개발장비의 기술적인 하자에 대해 효과적인 대응을 할 수가 없다. 따라서 개발되는 무기체계에 대한 각종 기술의 전문적인 지식축적 및 관리, 지원을 해줄 수 있는 ‘기술개발관리과(가칭)’의 편성이 필요하다. 미국은 개발시험평가가 양산 단계에까지 이어져서 개발체계에 대한 기술적인 관리 및 보완이 충분히 되고 있는데, 우리나라는 개발시험평가 종료 후에는 연구개발 주관기관의 역할이 상당히 감소하고 있는 실정과 개발시험평가의 충분한 검증이 이루어지지 않은 상태에서 발생하는 기술적인 문제에 대해 체계적인 대응이 부실할 수밖에 없다.

조직의 개선과 병행하여 시험평가 전문가로써 능력을 지속적으로 유지할 수 있는 교육체계의 수립 또한 절실한 사항이다. 우선 국방대학원 및 방위사업청이 수행하는 교육체계를 일원화하여 종합적인 관리 및 유지가 되고 <그림 5>와 같

이 방위력개선사업의 전반적인 교육을 담당하는 국방획득교육원의 신설이 필요하다. 현재 국방부 방위사업혁신F에서 방위력개선 업무개선을 위한 종합적인 검토를 하고 있는데 교육체계에 대해서도 국방획득원 등과 같은 통합화된 교육원 신설을 검토하고 있는데, 효율적인 안이 도출이 되도록 해야 한다.

시험평가 업무담당자는 기본 및 전문과정을 받도록 하고 무기체계별로 특성을 고려하여 평가기법 및 방법 선진화된 평가교육 등을 반영한 심화과정을 편성한다. 그리고 민간분야 대학 및 연구소와 업무협력체계를 구축하고 KOLAS 인증 교육기관에서 시험평가관들의 국제기준에 부합하는 정밀 측정 및 측정 불확도 추정 등과 같은 인정제도의 운용능력을 갖추도록 한다. 그리고 대학별 연구소나 특화센터, 한국신뢰성학회, KTL(한국산업기술시험원) 등과 같이 민간 연구학회사 기관들의 전문적인 특성을 고려하여 해당 무기체계에 대한 시험평가 검증 및 인증능력을 제고시키도록 한다.

5.2 DT&E의 OT&E 전환을 위한 검증체계 정립

작금에 언론에 보도된 각종 개발무기의 문제점들을 알아 보면⁴⁾ K11복합형소총은 탄약 신관 폭발사고로 공중폭발탄 결함 등이 발생했고, K2전차는 방어체계 시스템간 충돌이 일어나고, 파워팩(엔진+변속기)의 개발간 갖은 결함이 나타났다. 홍상어 및 청상어는 중요 시험과정을 생략하고 시험발사에 실패하였고, F-35A는 도입무기체계이지만 미국에서 개발과정에서 엔진 결함 등 개발 미완료 전투기로 예산부족으로 인해 무장 절반만 구입하는 것으로 되어있다.

연구개발사업은 기존에 없는 장비를 대부분 새롭게 만들

4) 동아일보(2014. 10. 21., A02면), K2전차 방어장비 개발하고도 못달아, 경향신문(2014. 10. 22. 004면), 수습 배 부풀린 값 주고도 성능미달 제대로 쓰지도 못해의 내용을 참고로 요약 정리하였음.

〈표 2〉 운용시험평가 단계 전환시 검증도표(예)

구 분	확 인 항 목	수 준
운용시험평가 수준	· 운용시험계획 수립의 실현가능성 및 충족성	
	· 시험관련 부서 및 기관과의 협의 충족성	
	· 시험평가간 위험요소 분석 및 대안수립 정도	
	· 일정별 시험평가 항목수행의 적절성	
	· 시험준비 시료 및 시제수 적절성 성능발휘 수준 등	
체계설계 및 성능	· 개발평가 결과 개선 및 보완사항의 조치 완료수준	
	· 체계적용기술의 성숙도 ⁵⁾	
	· 운용시험장비의 성능 발휘수준	
	· 체계 및 소프트웨어의 안전성	
	· 장비 결함발생 및 보완사항 발생시 조치계획	
	· 시험측정 및 보조장비 등의 인증여부 등	
	· 시험평가 지원 인프라 현황 및 관리정도	
시험자산 및 지원	· 시험장(사격장) 사용 여건, 시험의 적절한 준비	
	· 개발업체의 지원준비 수준 및 참여여건	
	· 시험지원부대 교육수준 및 지원여건의 적절성	
	· 시험평가 지원협약, 계약자 지원 등의 수준	
	· 주/보조장비 정비지원, 포장, 취급, 수송 등의 적합성 등	

어 가는 과정으로 무엇보다도 기술적 수준 및 구현 가능성이 개발성공의 중요한 척도가 된다. 따라서 개발과정간 부품 및 구성품들의 기술 성숙도가 점점 높아져야 다음단계로 전환을 위한 자격을 갖추게 된다고 볼 수 있다. 따라서 개발시험평가는 체계기술의 완전성 있는 수준을 확인하는 것으로 기술상의 하자가 최소화되어야 소요군의 운용시험을 위한 여건을 조성하게 된다. 그런데 연구개발주관인 ADD 및 국내 방산업체의 기술수준은 선진국 대비 상당히 낮는데 소요자는 방산선진국과 동일한 수준의 무기를 요구함으로써 개발단계에 많은 어려움이 존재할 수밖에 없다. 또한 개발시험평가는 연구개발주관이 수행하고 합참 시험평가부가 판정을 하는데, 기술관련 전문적이고 방대한 내용에 대해 합참 시험평가부 한명의 담당이 검토를 한다는 것은 사실상 불가능한 것이다. 이것은 연구개발주관기관이 시험문제도 제출하고 제출한 시험문제를 본인이 보는 것과 같은 시스템으로 되어 있어 개발시험간 도출된 하자에 대해 신뢰성있는 분석 및 보완이 이루어진다고 볼 수가 없다.

그래서 최근에 언론에 보도되는 각종 장비의 문제점들은 대부분 기술적인 관련내용으로 개발시험단계에서 기술적인 수준 및 구현 정도 등이 충분히 검증이 안 되었다고 판단되며, 기술적인 하자가 완전하게 개선이 안된 상태에서 운용시험평가로 전환이 됨으로써 장비 운용간에 지속적인 악영향으로 연결되고 있는 것이다.

따라서 연구개발주관기관의 개발수준들이 점점 높아지는 과정에서 개발시험평가의 기술적인 수준을 명확하게 검증할 필요가 있다. 개발시험평가 결과를 효율적·전문적으로 확인 및 검증할 수 있는 시스템 구축을 통해 운용시험평가의 안정적인 전환을 유도하도록 해야 한다. 개발시험평가가 종료된 후 소요군·합참·방위사업청·기품원 등의 전문가 회의체를 무기체계별 특성 및 여건을 고려하여 편성하고 <표 2>와 같이 운용시험평가 전환조건을 설정하고 후 운용시험준비 및 수행을 위한 효율적이고 과학적인 검증기반을 구축하는 것이 필요하다. 이것은 무기체계의 기술수준이 충분히 갖추어져서 운용시험단계로 전환되어 개발 및 운용간 발생할 수 있는 각종 위험관리 및 예측의 단초를 제공하고, 성능 발휘를 위한 완전성을 보장하기 위한 것이다.

5.3 내구성 환경시험 인식 제고

환경시험은 개발 무기체계가 군의 운용요구도를 갖춘 상태에서 수명주기 중 노출될 수 있는 제반 환경조건에서 견딜 수 있는 내구성을 어느 정도 가지고 있는지 평가하기 위한 시험이다. 환경시험은 일반적으로 잘 알려진 시험규격들이 있어 기업들이 해당 개발품을 시험하는 것처럼 군이 사용하는 각종 무기체계도 운용환경 및 여건을 고려하여 국제 및 국가별 시험규격을 보다 엄격하게 적용을 하고 있다.⁶⁾

5) 미국 2005년 회계감사원(GAO)은 미성숙기술의 경우 연구개발비는 41%, 획득단가는 21% 각각 증가하였고, 획득기간은 13개월이나 지연되었다고 발표, 최성빈, “미국의 국방획득절차 개선방향 소개 및 시사점, KIDA, 2012.

6) 김철 외(2006), MIL-STD-810F의 Tailoring 개념, 신뢰성응용연구 재권, 제1호, pp.2~5.에 MIL-STD-810F는 군용장비를 개발할 때에 여러 가지 환경요소를 고려하여 장비를 설계하고 시험하기 위하여 만들어진 표준서이고, 이 표준서에는 24개 환경요소에 대한 시험방법이 표준화되어 있어 일반 민수물자보다 엄격하게 환경시험을 수행하고 있다.



<그림 6> K2전차의 환경시험 현황(김형의, 2011)

언론에 보도된 개발무기체계는 대부분 제조상에 문제가 없는 것처럼 보여 야전에서 운용하였으나, 고장나는 원인 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 설계과정에서 충분히 고려하지 못한 환경에 노출되는 경우이다. 최근 개발제품의 사용 환경범위가 넓어지고 새로운 환경에 노출되면서 예상치 못한 고장이 발생할 가능성이 높아지고 있다.

설계과정에서 사용환경에 대한 조사 및 검토와 내환경성 설계가 과거보다 더욱 요구되고 있으며, 이에 따라 환경시험의 중요성도 커지고 있다. 그러나 무기체계 개발기관이나 방산업체들이 갖는 환경시험의 중요성에 대한 인식은 충분히 형성되어 있으나 최근에 시험성적서 조작 등의 사례를 보면 그 수준은 그렇게 높지는 않다고 판단된다.⁷⁾ <그림 6>은 K2 전차 개발간 적용한 내환경성 시험현황을 제시했는데, 이러한 각종 환경성의 영향을 면밀히 파악하여 기술적 보안을 해야만 장비의 신뢰성이 높아진다고 볼 수 있다.

무기체계는 전장임무수행 여건을 고려하여 전천후 환경에서도 임무수행이 가능하도록 내환경성을 이겨내야 한다. 이는 장비의 신뢰성을 갖고 전투에 임하는 전투원의 생명과 직결되기 때문이며, 군의 전승보장을 위한 기반을 조성하기 때문이다. 방산물자를 개발하는 국내업체들이 내환경시험에

대한 의식은 많이 개선되었으나, 환경시험 수행을 위한 구체적인 지침이나 방법이 사실상 정립이 안 되어 있는 관계로 이에 대한 개선이 필요하다. 그리고 방산업체 및 개발주관기관은 OMS-MP(임무운용 개요) 및 ORD(운용요구서) 등을 토대로 개발장비가 운용하는 환경을 고려하여 체계적인 시험항목을 도출하는 절차가 있어야 한다.

그래서 방위사업청이 ‘미국 환경기준의 한국화 프로젝트⁸⁾를 수행하면서 환경시험 표준적용 가이드라인에 대한 일반적인 절차를 수립했는데 이를 활용하면 개발업체는 획득 수명주기동안 개발제품의 운용경로간 적용할 환경시험 항목을 단계적으로 도출할 수 있고, 시험범위 및 순서도 체계적으로 판단할 수 있을 것으로 예상된다.

<그림 7>에 MIL-STD-810G 설계프로세스를 도해로 제시했는데, 1단계는 대상 무기체계의 수명주기 중 예상경로를 파악하고, 2단계는 대상 무기체계의 성능에 영향을 미칠 수 있는 환경인자를 선택한다. 3단계는 선택된 환경인자별로 장비 운용간 노출될 수 있는 범위를 선정하고, 4단계는 환경시험 항목 및 조건을 선택하고, 5단계는 시료수 및 합격기준을 결정하며, 6단계는 최종적으로 항목별 시험순서를 정하게 된다.

MIL-STD-810G을 적용하는데 있어 중요한 고려요소는 환

7) 국민일보(2014. 3. 18. 009면), 군 핵심무기에 불량 부품 시험성적서 2749건 조작에 기품원은 2007~2013년까지 군납품업체가 제출한 공인기관의 시험성적서를 조사한 결과 241개업체의 위·변조 2749건을 적발한 것으로 밝혔고, 이는 해당 주장비의 내구도와 신뢰도 등에 악영향을 미칠 수 있어 해당품목을 전량 정상품으로 교체 또는 하자 구상조치를 진행한다고 밝혔다.

8) 방위사업청 분평국(2013년 당시)은 국제적으로 통용되는 시험표준을 선정 번역 및 필요시 적용 guide line연구를 통하여 국내 무기체계 연구개발 시험 기준, 방법 및 절차에 대한 표준제정 기반을 마련하기 위해 중·장기계획을 수립하여 2011년은 신뢰성 평가(MIL-HDBK-781A), 고장률 설정 시험표준(MIL-STD-690D), 장갑 재질 방호(MIL-STD-662F), ‘12년은 기후/기계적 환경시험(MIL-STD-810G), 전기/전자적 환경시험(MIL-STD-461F, 464C) 등을 실시했다.

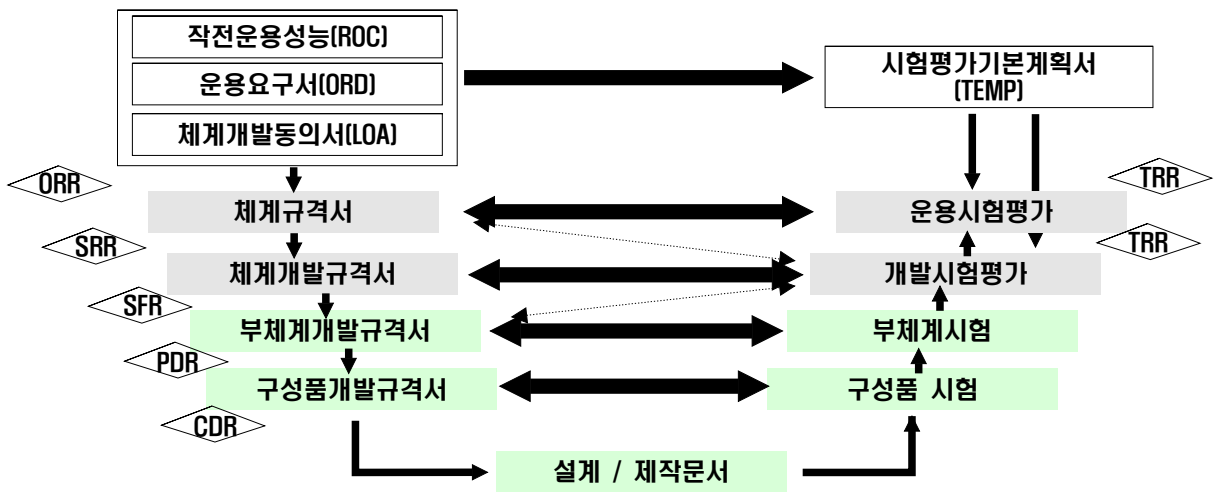


<그림 7> MIL-STD-810G 단계별 적용절차 및 방법

경시험 항목별 도입부분에 언급된 ‘Tailoring’ 부분이다.9) 무기체계가 운용하는 환경 및 여건 기상 등이 매우 다양하기 때문에 일률적으로 동일하게 적용하는 것은 어렵고 불필요하다는 것이다. 따라서 미국도 MIL-STD-810를 1962년에 규격서 성격으로 도입해 운영하다가 1983년에 MIL-STD-810D 부터 Tailoring 개념을 적용하면서 설계 및 시험기준을 도출하는 성격으로 전환을 하였다(김철 외, 2006). 우리도 이러한

환경기준을 적용시 반드시 각종 환경데이터 등을 근거로 전문가 그룹과 토의 및 Tailoring를 실시한 후에 개발 및 설계에 진입하도록 해야 한다. 또한 항목별 시험순서는 일반적으로 수명주기 중 노출되는 환경의 과정에 따라 시험항목의 순서를 정하는데 특별한 목적이 있거나 장비 물성치 등을 고려하여 해당순서는 조정을 할 수가 있다. 그리고 손상이 적다고 판단되는 환경시험을 초기에 적용하거나 시너지 효과를 최

9) DEPARTMENT OF DEFENSE TEST METHOD STANDARD ENVIRONMENTAL(31 October 2008), ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTS, 501.5-1 High Temperature에 “NOTE: Tailoring is essential. Select methods, procedures, and parameter levels based on the tailoring process described in Part One, paragraph 4.2.2, and Annex C. Apply the general guidelines for laboratory test methods described in Part One, paragraph 5 of this standard”로 명시되어 있다.



<그림 8> 체계공학 과정에서 시험평가 분야와 연계된 검증활동 현황

대화하기 위해 항목들을 조합하는 방법들을 고려해 볼 필요가 있다.

5.4 SE(systems engineering) 등 과학적 시험평가 기법 적용

국방획득사업의 슬로건은“for better, for cheaper, for faster”로 표현이 되는데, 이러한 목적을 달성하기 위해 국방부 및 방위사업청은 전문적 사업관리기법을 활성화하기로 하였다 이에 방위사업청은 2009년 초에 방위사업관리규정에”체계공학의 절차적용¹⁰⁾“항목을 신설하면서 모든 무기체계 획득 사업에 시스템 엔지니어링 절차 적용을 의무화하면서 지금에 이르고 있다.

현대의 무기체계는 개발기간이 최소 6년 이상의 장기간이고, 부품수도 K2전차 및 K9자주포는 2만여 개, 헬기는 10만여개, UAV는 30만 여개, 잠수함은 50여만 개 등으로 복합무기체계(system of systems)이기 때문에 몇 명의 기술자가 개발하는 시대는 지나갔다. 그리고 개발체계의 기술수준 및 범위도 보다 심층적인 지식을 요구하기 때문에 과거와 같은 단순한 관리기법으로는 관련된 제반요소들을 효과적으로 통제할 수가 없다. 따라서 이런 속성을 가진 개발체계를 검증하는 시험평가 분야도 재래식 방법을 벗어나지 않으면 기술 및 운용수준을 면밀하게 확인할 수 없는 것이다

체계공학은 오늘날 대규모의 복잡한 체계를 개발하는 과정에서 사업관리 조직과 개발자, 그 외 다수 이해관계자들의 관심사항과 체계의 기술적 요구사항을 충족시킬 수 있는 합리적이고 균형된 해결책을 찾는 과정이며 절충을 통해 제대로 된 설계를 갖도록 하기 위한 절차 중심의 접근방법으로 일부 공학전문가들의 영역이라기보다는 보편적인 사업관리 활동의 일부로서 이해를 해야 한다(방위사업청, 2012).

<그림 8>은 개발간 체계공학을 적용하여 생산단계별로 검증하는 시험평가 활동을 나타냈는데, 기술수준이 높거나 사업규모가 클수록 검증활동이 체계구조별로 보다 복잡하게 진행이 된다. 그런데 시험평가 과정상 체계화된 시스템엔지니어링을 적용하는 중요성은 인식하고는 있으나 현재 인력 및 조직, 교육, 기법 등의 기반체계가 많이 부족한 현실이다 따라서 이에 대한 개선은 중장기적인 계획을 수립하여 단계적으로 추진이 필요하며, 본고에서는 우선적으로 필요한 시험평가 프로세스 통합관리차원에서 데이터를 정리하고 평가단계별로 적용해야 할 시스템엔지니어링활동을 알아보고자 한다.

시험평가를 수행하기 위해서는 먼저 평가항목을 선정하는데 가장 기준이 되는 작전운용성능의 요소를 근간으로 부체계별 개발규격을 정하며, 규격설계를 위한 기준들이 제시되어 있다. 부체계별 개발규격은 개발시험평가지 평가항목으로 연결되고, 이어 작전운용성능 및 개발규격은 운용시험평가를 수행하기 위해 연관된 항목으로 도출을 한다 <그림 9>와 같은 시험평가 항목의 RTM이 시험평가 업무준비 단계부터 작성을 하여 계속 관리 및 유지하여 체계적인 평가항목 수립을 위한 기초가 되도록 해야 한다.

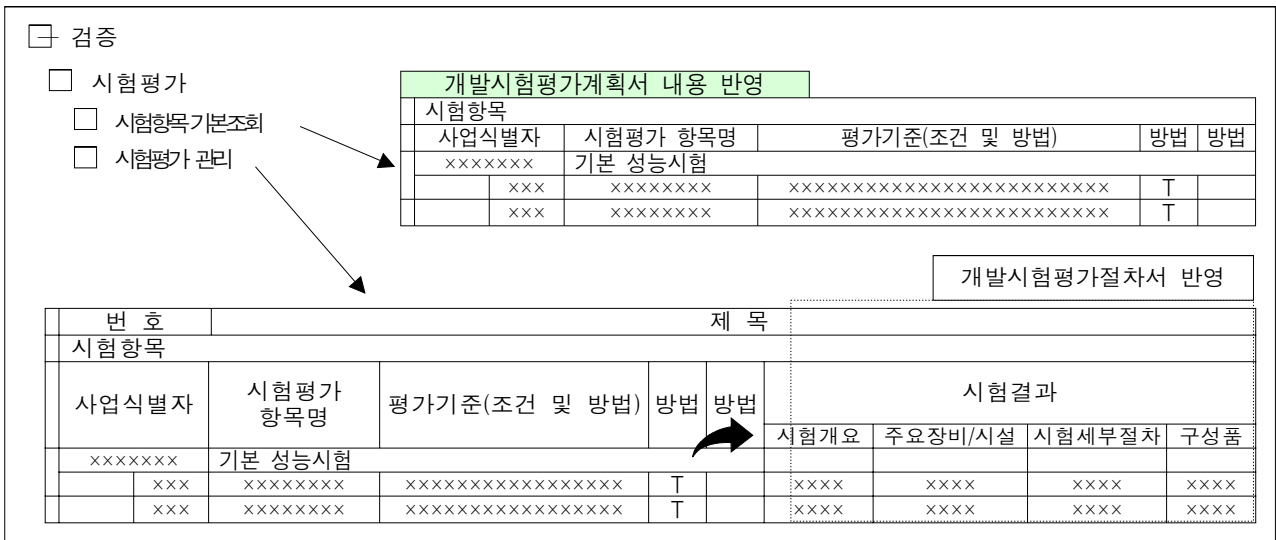
통합 데이터베이스 관리의 목적은 개발체계의 전체적인 수명주기와 연계된 시험평가 프로세스를 관리하기 위한 것이며, 기본설계, 상세설계, 제작 및 구현, 시험평가, 규격화로 진행되는 과정에서 요구사항을 검증 추적관리한다. 그리고 시험평가 단계별 업무수행지원을 위한 사용자 인터페이스를 구현하는데 시험평가 계획~수행~결과 산출물을 연계해서 관리하고, 시험평가 통계 데이터의 자동산출을 통해 신속한 의사결정을 지원하며 데이터간 추적표를 생성하고 업무에 활용하도록 지원한다.

시험평가 계획 수립시 시험항목 및 시험절차를<그림 10>

10) 방위사업청(2014), 방위사업관리규정훈령 319호), 제96조에 “통합사업관리팀장 및 연구개발주관기관은 효율적인 연구개발을 위하여 대상 무기체계에 대한 모든 이해관계자와 전체 수명주기(life cycle)를 고려하여 체계공학에 관한 절차를 적용”하라고 명시되어 있다.

작성운용성능			개발규격 (부체계)			개발시험평가			운용시험평가					
시험자	차별	내용	개발규격 식별자	목적	내용	개발시험평가 (RTM) 식별자	시험평가 항목명	평가기준 (조건 및 방법)	시험결과	운용시험평가 (RTM) 식별자	시험평가 항목명	평가기준	시험결과	
1	ROG.1.1	채널대역폭	최대 채널대역폭은 0094MHz 이상이다.	555.1.1	채널대역폭(정비A)	정비A는 일관성 채널대역폭을 최대 0094MHz 대역폭으로 설정해야 한다.	DT.1.1	채널대역폭(정비A)	조건 0094MHz 이상으로 설정되었는지 확인한다.	1.기준유족	OT.1.1	채널대역폭	최대 채널대역폭: 0094MHz 이상	1.기준유족
				555.1.2	채널대역폭(정비B)	정비B는 일관성 채널대역폭을 최대 0094MHz 대역폭으로 설정해야 한다.	DT.1.2	채널대역폭(정비B)	조건 0094MHz 이상으로 설정되었는지 확인한다.	1.기준유족	OT.1.2	채널대역폭	최대 채널대역폭: 0094MHz 이상	1.기준유족
				555.2.1	고온조건	고온 00도에서 성능 저하없이 정상으로 작동되어야 한다.	DT.2.1	고온 동작	주장비용 대비로써, 009-000MHz 운용 시 성능 저하 없이 정상 동작을 확인한다.	1.기준유족	OT.2.1	운용온도	00도~00도	1.기준유족
				555.2.2	저온조건	저온 00도에서 성능 저하없이 정상으로 작동되어야 한다.	DT.2.2	동작 온도(고온)	주장비용 대비로써, 009-000MHz 운용 시 성능 저하 없이 정상 동작을 확인한다.	1.기준유족	OT.2.2	동작 온도	00도~00도	1.기준유족
				555.2.3	저온조건	저온 00도에서 성능 저하없이 정상으로 작동되어야 한다.	DT.2.3	저온 동작	주장비용 대비로써, 009-000MHz 운용 시 성능 저하 없이 정상 동작을 확인한다.	1.기준유족	OT.2.3	저온 온도	00도~00도	1.기준유족
				555.2.4	동작 온도(저온)	주장비용 대비로써, 009-000MHz 운용 시 성능 저하 없이 정상 동작을 확인한다.	DT.2.4	동작 온도(저온)	주장비용 대비로써, 009-000MHz 운용 시 성능 저하 없이 정상 동작을 확인한다.	1.기준유족	OT.2.4	동작 온도	00도~00도	1.기준유족
2	ROG.2.1	운용온도	00도~00도 이상이다.	555.2.5	시스템 난방능력	주장비용 대비로써, 일관성 성능을 유지하며, 00도 이상으로 작동되어야 한다.	DT.2.5	시스템 난방능력	주장비용 대비로써, 일관성 성능을 유지하며, 00도 이상으로 작동되어야 한다.	1.기준유족	OT.2.5	시스템 난방능력	00도~00도	1.기준유족
				555.2.6	전면표시창	전면표시창은 온도조건 만족할 수 있는 00도 이상 00도 이하로 작동되어야 한다.	DT.2.6	전면표시 창 온도조건	표시창은 작동시 작동규격서 또는 제조사 자료(온도)를 확인하여 온도조건을 00도~00도 범위를 유지하여 00도 이상 00도 이하로 작동되어야 한다.	1.기준유족	OT.2.6	전면표시 창 온도	00도~00도	1.기준유족

<그림 9> 시험평가 항목의 추적도(RTM: Requirement Tracking Measure)



<그림 10> 시험평가 항목 및 데이터베이스화

과 같이 데이터베이스화하여 관리하도록 한다 그리고 시험 평가가 진행되면서 일일단위로 수행되는 시험결과를 관리하기 위한 환경을 구성하는데 시험계획대비 실시현황에 대한 파악이 가능하고, 시험항목별 결과의 연속적인 관리를 하고, 결과 성적서가 첨부되고, 개발시험평가 결과의 통계현황 등이 유지가 된다.

그리고 수행된 시험의 판정결과 항목에 대해서 현황이 입력되고, 시정조치 사항에 대한 세부속성(조치일자, 내용, 담당자, 관련 보고서 첨부 등)을 기록하여 관리하도록 하며, 시험항목별로 입력된 결과속성을 기준으로 시험항목이 자동으로 통계표를 통해 산출을 해서 주간 및 월간단위의 누적결과를 집계하도록 한다. 이렇게 자료를 데이터베이스함으로써 시험평가 항목선정부터 결과까지 누락됨이 없이 체계적으로 관리가 가능하며, 시험평가를 포함하여 전 수명주기 동안 체계공학 업무기능을 통합적으로 지원하도록 한다.

5.5 시험평가 적정 시제수 산출

체계를 개발하는 과정에서 중요한 결정요소중 하나가 시험장비의 시제수를 어느 규모로 정할 것인가인데 이는 개발 체계의 성능을 검증하는 데 필요한 표본을 추출하는 것으로 적정의 규모가 설정이 되도록 판단을 해야 한다 그러나 개발 장비가 대형체계로 1대에 수십억에 달하거나 정밀유도무기와 같이 1발에 10억 이상의 고가의 탄약을 시험평가하기 위해 많은 시제수를 산정하는 것은 현실적으로 어려운 실정이다

<그림 11>은 언론에 보도된 국가별 정밀유도무기 시험발사 횟수를 보여준 것으로 외국과의 제반여건을 고려하지 않고 단순 비교하는 것은 무리지만 우리의 시험발사 횟수는 상대적으로 낮은 수준이다 이런 수준은 결국 개발체계의 신뢰성에 상당한 영향을 미칠 수가 있고 대군뿐만 아니라 특히 방산수출시 다른 국가의 무기와 비교시 경쟁력우위를 확보



<그림 11> 국가별 정밀유도무기 시험발사 횟수¹¹⁾

하기는 쉽지 않다는 것이다. 군은 그동안 시험평가시 시제수를 선정하는데 규정화된 기준 및 원칙이 없었으며 주로 예산 부족과 시험장 여건을 빌미로 소량의 시제수를 선정하고 있는 실정이다.

소요군은 연구개발 주관기관과의 협의를 통해 최소수량을 산정하여 요구명중률 대비 단순한 산술평균값 충족 여부에 따라 합격 및 불합격 여부를 판정하고 있다.

그러나 무기체계가 점점 첨단화·정밀화·복잡화된 성능을 갖추면서 이를 검증하기 위한 시험평가 수준도 병행해서 높아져야 하고, 평가시 활용하는 시제수도 많아져야 성능의 확실적인 정규분포도를 보일 수 있고 무기성능 검증의 신뢰성 있는 수준을 갖춘다고 볼 수 있다 또한 방산수출이 창조국 방경제의 주요정책 수단으로 자리매김 하기 위해서는 많은 시제수로 검증된 신뢰성 있는 시험결과는 다른 국가의 무기체계 성능에 비해 우위를 점할 수 있다고 판단된다. 여기서는 주로 시험평가간 쟁점이 되어온 유도무기 시험 발사횟수와 개발체계의 시제수 선정방법에 대해서 알아보도록 하겠다.

우선 정밀 유도무기체계는 다른 무기체계와 달리 목표물 파괴를 위해 단 한번 발사되는 제품이고, 저장을 포함하여 장기간 고신뢰성을 가져야 한다. 또한 폭발물, 전지, 추진체 등의 시한성 부품이 많고 안전요구가 높은 폭발특성이 있는 물질을 가지고 있어 요구성능 및 품질확인의 수단으로는 사격시험이 가장 유효한 수단이라 볼 수 있다.

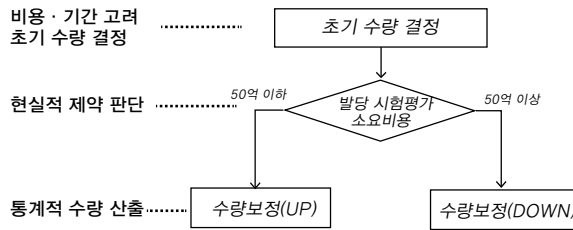
시험평가 수량 결정에 대한 절차를 제시하면 <그림 12>와 같은데,¹²⁾ 첫째 비용 및 기간을 고려한 초기 수량설정 단계이다. 사업비 규모별 시험수량의 경향성을 기준으로 시험평가간 명중률 검증을 위한 운용시험평가의 실발사 시험수량을 최초로 6~7발로 설정하는 것이다. 이러한 초기수량은 현재 성공적으로 야전 배치·운용중인 기존 체계들에 의해 평가간 검증된 수치이므로 적용의 타당성이 있다고 볼 수 있다.

둘째는 현실적인 제한사항 판단 과정이다. 발당 시험평가에 소요되는 비용, 즉 체계시제 제작비용, 표적 및 계측장비 준비 비용, 시험장 및 제반시설 확보 비용 등을 종합적으로 판단했을 때 규모가 커진다면 첫 번째 단계에서 설정한 시험

11) 동아일보(2014. 11. 5. A05면), 홍상어 4발 쏘고 합격...뒤늦게 결합 발견의 기사에서 발췌하였음.

12) 홍상어 등 품질인증가격시험 실패이후 국회 및 언론 관심사항으로 정밀 유도무기에 대한 시험평가 발사탄 수량의 적절성이 대두되고, 선행연구 및 사업추진 기본전략 수립단계에서의 시험평가 수량검토를 위한 가이드라인 제공의 필요성이 제기되어 방위사업청 주관하여 2014년에 심네트 및 국방대학교가 연구용역을 실시한 "정밀유도무기 시험평가기준 기준정립 및 절차 연구"에 제시된 내용을 정리해서 제시하였으며 자세한 연구결과는 행정자치부에서 제공하는 www.prism.go.kr에서 본 보고서를 참고하기 바람.

수량만큼 시험사격을 하는데 현실적인 어려움이 따를 것이다 이러한 최소시험수량을 따르기 위해 추가적인 예산확보 등의 정책적 조치를 취하는 것보다 더욱 낮은 수준의 시험수량을 통계적 산출범위 내에서 보정하는 것이 더욱 적절한 것이다



<그림 12> 시험수량 절차 개념도

셋째, 시험수량 보정단계이다. 보정의 기준은 <표 3>에서 제시한 ‘신뢰수준 및 검정력 비율별로 적용하도록 한다. 발당 시험횟수의 주요한 판단요소중 하나인 시험비용의 가용재원 여건을 최대한 고려하여 요구되는 신뢰수준 범위를 선정하고 이를 통해 시험수량 선정을 보다 타당한 근거를 확보하도록 하기 위한 것이다.

시험평가의 기본 목적은 설계결함 및 위험요소를 조기에 식별하여 감소시키거나 제거하는 것이므로, 개발초기 단계에서 개념 및 가능성을 확인하고, 위험을 평가하여 대체 설계안을 찾아내고, 취사선택의 요소들을 비교분석하여 ROC의 만족여부를 예측할 수 있어야 한다. 그리고 신뢰성있는 시험발사를 위해서는 사업수행 초기에 기본요건인 적절한 사업예산 확보를 위해 중기계획 및 당해연도 예산이 적절히 반영될 수 있도록 IPT 및 관련부서의 적극적인 관심이 요망된다

<표 3> 발당 시험평가 비용을 고려한 적정 시험발수 (심넷 및 국방대학교, 2014)

발당 시험 비용	신뢰수준/검정력	시험발수	유의수준
10억 원 미만	70%	12~17발	$\alpha = 0.3$
10억 원~20억 원 미만	68%	9~13발	$\alpha = 0.32$
20억 원~30억 원 미만	66%	8~10발	$\alpha = 0.34$
30억 원~40억 원 미만	64%	5~7발	$\alpha = 0.36$
40억 원~50억 원 미만	62%	4~6발	$\alpha = 0.38$
50억 원 이상	60%	3~4발	$\alpha = 0.4$

다음은 개발체계의 시제수 선정방법으로 우선 무기체계 운용부대의 최소편제를 고려해야 한다. 시험평가는 최종적으로 소요군의 야전부대에 개발무기를 전력화하기 위한 과정이라 할 수 있으며, 이는 운용부대의 성격을 고려하여 적합한 평가가 이루어져야 한다는 것이다. <표 4>는 기능별 부대의 최소편제 현황을 제시했는데, 예를 들어 ○○소총의 운용부대가 보병부대(소대)급이라면 분대(소대)에 전력화되는 수량만큼 시제를 제작하여 시험평가시 검증한다는 것이다. 이것은 ○○

소총이라는 개발무기의 완전성있는 성능을 보장하면서 야전 운용간 제한사항을 조기에 식별하고, 부대전투수행능력중 순단위의 임무수행 능력을 향상시키는 목적이 있다

<표 4> 기능별 부대의 시제수 선정을 위한 최소편제 규모 현황

구분	보병 부대	포병 부대	기갑 부대	공병 부대	통신 부대	화학 부대	방공 부대	항공 부대	정보 부대
편제 규모	분대/소대	포반/중대	소대/중대	분대/소대	대대 ~ 군단	분대/소대	반/분대	소대	반/소대

둘째는 주장비 및 전력화지원요소 평가여건을 고려하는 것이다. 소규모 무기체계는 편제를 고려할 수 있는데 대형무기체계는 예산상의 이유로 많은 수의 시제를 제작하기는 어려운 현실이다. 그래도 주장비 시험평가용으로 평가항목 및 관련된 성능확인을 위해서 최소 2대(셋)의 시제가 필요하며, 특히 차량주행 및 가속화시험을 하는 장비들은 별도의 내구도 시험시제를 준비해야 한다. 그리고 전력화지원요소는 주장비 평가 시작 전, 중간단계, 평가후 등에 효율성을 고려하여 시기를 선정할 수 있으며, 종합군수지원요소시는 장비분해 및 결합, 각종 고장진단 및 결합 등을 면밀히 확인해야 하므로 이에 대한 시제는 주장비와 별도로 2대(셋) 정도가 필요하다. 또한 시험평가간 장비 성능검증이 어려운 고장이 발생하거나 각종 문제에 대비해서 항상 예비시제를 마련해야 할 것이다.

셋째는 시험평가 예산 및 시험평가 기간 등을 고려해야 한다. 사업착수회의 및 각종 설계검토회의시 시험평가 수행을 위한 시제의 적정규모를 도출하고, 이에 따른 시제제작을 위한 예산이 여유있게 반영되도록 IPT 및 관련기관이 체계적인 계획을 수립해야 한다. 예산제한으로 최초 계획시제의 규모가 변화가 있을 때는 시험평가 방법을 변경하도록 해야 한다. 그리고 시험평가 기간이 여유가 있을 경우에는 일반적으로 시제규모를 많이 설정하고, 기간이 부족할 경우에는 시제규모를 적게 산출해서 최적화된 성능을 검증할 수 있도록 한다.

5.6 시험평가 업무의 표준화(standardization) 정립

표준화(standardization)란 일상적이고 반복적으로 일어나거나 일어날 수 있는 문제를 주어진 여건하에서 최선의 상태로 해결하기 위한 일련의 활동이며(한국산업기술시험원, 2011), 무기체계 시험평가는 이와 같은 표준화적인 활동들이 많이 필요하다. 개발체계의 성능은 소요군의 체계요구조건을 근간으로 도출이 되며, 시험평가 단계에서는 평가항목 및 평가기준으로 연결이 된다. 그리고 개발체계는 소요군의 전장 상황 및 운용개념을 고려해서 성능을 선정하는데 시험평가 시 체계별로 유사한 성능들은 동일한 기준 및 방법 등을 적용한다고 볼 수 있다. 그래서 동일한 기준 및 방법을 적용하기

기동(예)

중분류	소분류	대상장비
전차	전투용	K1A1, K-2 등
	전투지원용	K-1구난전차 등
장갑차	전투용	K-21, 차륜형 등
	시휘통제용	K-277 등
	전투지원용	K-77, K-216 등
전투차량	전투용	중형전술차량 등
	시휘용	사격시휘차 등
	전투지원용	5톤·10톤 구난차 등

화력(예)

중분류	소분류	대상장비
대전차	대전차유도	TOW, 현궁 등
	화기	무반동총
화포	박격포	4.2", 120mm 등
	야포	105·155mm 등
	다련장로켓	MLRS, 천무 등
유도무기	지상발사무기	지대지·지대공 등
	해상발사무기	함대지·함대함 등
	공중발사무기	공대지·공대함 등

소분류별 작성(예)

구분	관련 문서(예)				유사무기체계 시험평가 결과(예)			항목선정 결과(예)	
	소요 결정문서	탐색/체계 개발계획서	제안 요청서	시험평가 기본계획서	K11 복합형소총	K3 기관총	K4고속유탄기관총		
주요 작전 운용 성능	① 구경	0	0	0	구경, 전장, 중량, 유효사거리, 최대발사속도, 발사방식, 폭발탄 위력, 분산도, 사격통제장치 조준경 배율, 사격통제장치 탐지거리, 신관기능	화기8대 기능 작동, 발사속도시험(최대발사속도/유효발사속도), 정확도시험(영점사격, 철관통 능력), 명중률, 시험(10m, 실거리기록사격)	K4고속유탄기관총	0	
	② 전장	0	0	0				구경/전장, 중량, 발사속도, 사거리(최대/유효), 송탄방식, 탄통(중량, 규격), 사격방, 6대 기능발휘여부, 탄착 분포도 (400/600/800/1000/1200/1500m), 야간조준사격 가능여부	0
	③ 중량	0	0	0				0	
	④ 유효사거리	0	0	0				0	
	⑤ 사격방식	0	0	0				0	
	⑥ 격발방식	0	0	0				0	
	⑦ 조준거리(주간)	0	0	0				0	
	⑧ 조준거리(야간)	0	0	0				0	
	⑨ 조준장치 중량	0	0	0				0	
	⑩ 조준장치 부가장치	0	0	0				0	
	⑪ 발사속도	0	0	0				0	
	⑫ 분산도	0	0	0				0	
	⑬ 탄약공급	0	0	0				0	
	⑭ 거치방법	0	0	0				0	
	⑮ 운용온도	0	0	0				0	

<그림 13> 무기체계 소분류별 기관총의 표준화된 평가항목 도출절차(예)

위해서 표준화된 업무수행절차를 수립하면 보다 효율적인 평가가 진행될 것으로 판단된다.

<표 5> 사업별 '운용온도' 항목의 소요문서 반영현황 (박종완, 2013)

구분	작전운용 성능 항목	기술적·부수적 성능 항목
운용 온도	<ul style="list-style-type: none"> K2전차 K55용 탄약운반장갑차 신궁피아식별기 KUH한국형헬기 	<ul style="list-style-type: none"> K21보병전투차량 위성전군방공체계 (지상용 단말기)

그런데 <표 5>와 같이 무기체계의 주요 장비성능이 소요결정시 ROC 또는 기술적·부수적 성능 분야에 각각 상이하게 반영되기도 하고, <표 6> 및 <표 7>과 같이 전차, 자주포, 장갑차의 임무특성과 요구되는 능력이 유사함에도 내구도 및 주행시험 도로조건 등은 각각 상이하게 적용하였다. 그리고 이외에도 각종 광학장비(영상/열상장비)를 측정시 기상조건, 표적설정 및 합격수준 등 평가기준이 상이하는 등 업체들에게 무기개발시 혼란을 유도하며 해당 무기체계는 대내외적으로 신뢰도를 저하시키는 현상이 발생하고 있다.

<표 6> 주요 궤도차량 내구도 주행시험 거리 및 시제수량 (엄동환, 2013)

구분		개발연도	주행시험거리	시제수량	
전차	K1계열	K1	1992. 8	9,600km	5대
		K1A1	1998. 8		
	K2	2008. 12	6,400km	3대	
자주포	K55계열	K55			1985. 1
		K55A1	2010. 9	2문	
	K9	1998. 10	9,600km	6문	
장갑차	K200	1984. 10	8,000km	9,600km	3대
	K21	2007. 7			
	경구난차량	2010. 12	2대		

<표 7> 주요 무기체계별 내구도 주행시험 도로조건 비율¹³⁾

대상장비	도로조건 비율		
	포장	비포장	야지
K1, K1A1, K2전차	23%	23%	54%
K21보병전투차량	23%	27%	50%
K55자주포	25%	50%	25%
K55A1, K9자주포	27%	33%	40%

13) 엄동환, 상계서, p.71.

따라서 시험평가가 이러한 문제점들을 개선하기 위해서는 무엇보다도 시험표준이 이루어져야 한다고 판단된다. 무기체계 시험표준은 체계 특성에 적합한 시험방법을 적용하는 것으로 시험결과에 대한 신뢰성을 제시해 줄 수 있기 때문에 중요한 분야라고 할 수 있다. 우선은 <그림 13>과 같이 무기체계별로 대분류~소분류까지 나누고, 개발되는 장비를 성격별로 분류하고, 소분류별로 각종 선행 개발문서 유사무기체계 등을 참고하여 표준화된 평가항목을 선정한다. <그림 13>에서는 주요작전운용성능만 제시를 했는데 기술적·부수적성능, 군운용의 적합성, 전력화지원요소 등도 동일하게 수행을 하면 될 것으로 판단되며, 특히 군운용의 적합성은 부대별 수행임무를 전·평시 종합적으로 고려하여 단계별 임무가 진행되는 과정에서 검증이 필요한 성능들을 도출하는 체계적인 절차가 필요하다. 운용시험평가는 개발무기체계의 야전운용 적합성을 검증하는 주요한 절차이기 때문에 부대별 임무를 세부적으로 확인하는 과정이 있어야 한다.

신규무기체계가 개발되는 장비의 기술발전 및 운용개념의 변화와 연계한 추가 및 보완항목을 염출해서 표준화된 평가항목을 작성하도록 한다. 이렇게 작성된 항목은 “시험평가업무 표준화관리체계(가칭)”에 탑재하여 계속적으로 시험평가업무에 활용되도록 한다.

다음은 선정된 평가항목과 연계하여 표준화된 평가수행절차를 수립하는 것이다. 항목별로 진행되는 평가절차와 방법을 표준화할 수 있도록 구체적으로 수립하고 다른 유사항목 평가시 변화된 기술 및 운용특성을 반영하여 평가절차를 수정하도록 한다. <표 8>과 같이 개발체계 항목별로 시험평가 과정에 대해 세부적으로 진행도표를 작성하여 표준화하도록 유지한다. 평가항목의 조건 및 방법, 시험기간, 절차, 결과판정, 보완요구사항 등을 작성하고, 보완요구현황은 별도의 셀을 구성하여 세부적인 내용이 제시되도록 한다. 이렇게 체계별로 작성된 자료들은 “시험평가업무 표준화관리체계(가칭)”에 탑재하여 후속사업이나 유사사업 개발시 운용의 접근도를 높여서 적극 활용되도록 하고 개발간의 불필요한 평가 기준 및 절차의 적용으로 인한 신뢰도를 저하시키는 사례를 발생하지 않도록 한다.

<표 8> 항목별 표준화된 시험평가 도표(예)

구분	시험평가 항목명	평가기준 (조건 및 방법)	방법	계획일	실시일	종료일	시험절차	결과판정	보완요구현황	비고
1	xxxx	xxxxxx	T	1주차	2015-5-1	2015-5-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
2	xxxx	xxxxxx	T	1주차	2015-5-1	2015-5-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
3	xxxx	xxxxxx	T	2주차	2015-6-1	2015-6-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
4	xxxx	xxxxxx	T	2주차	2015-6-1	2015-6-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
5	xxxx	xxxxxx	D	3주차	2015-6-1	2015-6-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
6	xxxx	xxxxxx	D	3주차	2015-7-1	2015-7-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
7	xxxx	xxxxxx	D	4주차	2015-7-1	2015-7-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
8	xxxx	xxxxxx	D	4주차	2015-7-1	2015-7-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	
9	xxxx	xxxxxx	D	4주차	2015-7-1	2015-7-11	xxxxxxxxxxx	기준충족	xxxx	

그리고 무기체계 항목별 시험표준을 개발체계의 품질향상, 방산업체의 개발여건 보장, 타 무기체계와 호환성 확보, 시험정보의 조기 제공, 기술개발 활성화 등을 유도하기 위해 한국산업표준(KS)으로 제정하는 것이다. 시험관련 분야를 국방규격 등으로 관리하여 국가표준화함으로써 시험평가 절차 및 방법 등에 대해 범용적이고 효율적인 운용이 가능하게 할 수 있고, 표준화된 방법에 대해 군내뿐만 아니라 군외에서도 유효성을 갖고 체계개발시 적용을 한다면 효과를 배가 될 것으로 판단된다. 또한 방산수출 및 각종 전시회시 우리나라 개발장비의 시험평가 수준을 보다 객관화하게 설명할 수 있는 신뢰성있는 근거를 제공할 수 있을 것이다. 그리고 일반제품과 무기체계는 요구되는 시험기준이 상이하기 때문에 체계별 특성을 고려한 시험평가 전문기관 지정체도를 운영하면 방위산업 제품에 보다 신뢰성을 확보 할 것으로 보인다.

6. 결론

무기체계의 개발수준 뿐만 아니라 소요군의 운용수준도 높아지면서 시험평가에 대한 중요성은 병행하여 점증되고 있는 실정이다. 체계개발시 요구되는 기술수준의 구현정도를 정확히 파악하고, 운용자의 요구에 부합된 기능이 충족되었는지를 주로 시험평가 과정을 통해서 검증하고 있다. 시험평가 과정의 충실성이 높아지면 무기체계의 개발 및 운용수준도 향상된다고 볼 수 있으며, 시험평가 역할은 개발 무기체계의 신뢰성에 지대한 영향을 미치고 있는 실정이다. 무기개발 및 방위사업과 관련하여 작금에 계속 보도되는 언론매체 및 뉴스거리를 보면 충분히 공감이 되는 부분이다.

그러면 무기체계 시험평가 과정의 신뢰성을 향상시키려면 어떻게 해야 하나?, 본 연구는 시험평가 분야의 전문가 그룹과의 견교환을 통해 시험평가 신뢰성에 영향을 미치는 내외부 요인 중 우선 순위를 고려하여 6개 요소를 도출하였고, 그에 대한 사례를 중심으로 실태분석 및 개선방안을 제시하였다.

① ‘시험평가 전문화’는 시험평가 업무를 담당하는 부서 및 인원에 대한 전문성을 갖추는 것으로 국방부 및 합참의 이원

화된 시험평가 기능의 단일화가 필요하고, 시험평가 관련 교육체계를 국방획득교육원 및 국방대학교가 일원화하도록 갖추어 무기체계별 특성을 고려한 평가기법, 절차 및 방법 등을 전문성있게 수확하는 과정이 있어야 한다 ② ‘DT&E의 OT&E 전환을 위한 검증체계 정립’은 최근에 언론에 보도되는 각종 장비의 문제점들은 대부분 기술적인 내용으로 개발 시험평가 단계에서 충분한 검증이 필요하며, 이를 위해 운용 시험평가 전환시 검증기반을 객관적으로 구축하는 과정이 구비되어야 한다. ③ ‘내구성 환경시험에 대한 인식 제고’는 전장임무수행 여건을 고려하여 전천후 환경에서도 임무수행이 가능하도록 내환경성을 이겨내야 하며, 환경시험 표준적용 가이드라인의 적용을 통해 개발제품의 환경시험에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. ④ ‘시스템엔지니어링 등 과학적 시험평가 기법 적용’은 대규모의 복잡한 체계를 개발하는 과정에서 체계의 기술적 요구사항을 충족시키고 검증할 수 있는 합리적이고 균형적인 해결책을 찾도록 체계공학과 같은 기법을 적용하는 것이 보다 효율적인 성과를 기대할 수가 있다는 것이다. 시스템엔지니어링에서 제공하는 시험평가 프로세스 통합관리를 위해 각종 데이터를 정리하고 평가단계별로 시스템엔지니어링 활동들을 적용하는 것이다. ⑤ ‘시험평가 적정 시제수’ 산출은 특히 정밀유도무기 시험시 낮은 발사횟수는 개발체계의 신뢰성에 상당한 영향을 미칠 수가 있기 때문에 보다 체계적이고 산술적인 분포도를 갖는 방법을 적용해야 한다. ⑥ ‘시험평가 업무의 표준화 정립’은 현재 개발체계별 유사평가항목이 상이한 평가기준 및 방법들을 적용함으로써 발생하는 문제점은 시험평가에 대해 낮은 신뢰성을 유발하기 때문에 각종 체계특성에 적합한 시험방법을 표준화하여 동일하게 적용함으로써 신뢰도를 제고시킬 필요가 있다.

이상과 같이 6가지 영향요인이 개선이 되면 시험평가의 궁극적인 목적인 소요군이 요구하는 무기체계의 성능수준을 최적화하면서 전력화시기를 충족시킬 수 있으며, 사업간 각종 예산의 절감효과도 달성하리라 본다. 이와 아울러 시험평가 분야의 중요성을 고려하여 신뢰도를 보다 높이기 위해서는 ‘시험평가 업무의 법제화’를 추진하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 이는 무기개발간에 필수과정인 시험평가를 보다 객관화·효율화·전문화를 제도적으로 유도하여 안정적인 검증체계 기반을 구축할 수 있기 때문이며, 이에 대해서는 군내외의 관련기관과 충분한 연구와 의견수렴이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 21세기 군사연구소(2010), 국방연구개발 실패사례 및 개선 방안 연구, 방위사업청.
 [2] 국방부(2014), 국방전력발전업무훈령 제707호.
 [3] 국방부(2014), 방위사업법 법률 제2559호.

[4] 권택만·정지선·심행근·장주수 (2011), 고체추진기관 시스템의 신뢰성평가방안 신뢰성 응용연구, 제11권, 제4호, p. 400.
 [5] 김광태 (2007), 국방신뢰성정책 및 제도 발전방향 신뢰성 응용연구, 제7권, 제3호, pp. 103-109.
 [6] 김명수·정재우·이종신(2013), MIL-HDBK-189C의 신뢰성장평가모델 비교, 신뢰성 응용연구, 제13권, 제3호, pp. 218-219.
 [7] 김상훈 (2009), 현대무기체계 시험평가제도 개선요인과 발전방안에 관한 연구, 서울산업대 박사논문.
 [8] 김종국·이주형·엄종선·고병성 (2011), 미래 바람직한 운용시험평가 방안, 한국국방연구원
 [9] 김 철·강보식(2005), 신뢰성 기술시험과 운용시험 신뢰성 응용연구, 제5권, 제1호, pp. 393-394.
 [10] 김 철·강보식·김형의(2006), MIL-STD-810F의 Tailoring 개념, 신뢰성 응용연구, 제6권, 제1호, pp. 2-5.
 [11] 김형의 (2011), 2011 국방무기체계 시험평가 세미나.
 [12] 김희욱·이학표·허길환·오근태·김명수 (2014), 수중 유도무기체계의 신뢰성 할당, 신뢰성 응용연구, 제14권, 제1호, pp. 29-30.
 [13] 박정원·이중휘·함중걸·정민호·모성희 (2005), 환경 시험의 설계, 신뢰성 응용연구, 제5권, 제3호, pp. 302-305.
 [14] 박종완(2013), 선진화를 위한 무기체계 시험평가 발전방안, 육군 교육사 전투발전, 통권 제143호, p. 104.
 [15] 박철호·박종선·김호성·김병철 (2009), 국방획득체계를 위한 시스템엔지니어링 지침 및 발전전략에 관한 연구, 시스템엔지니어링 학술지, 제5권, 제2호, pp. 35-42.
 [16] 방위사업청(2012), 연구개발사업의 체계공학 기반 기술관리업무 지침서.
 [17] 방위사업청(2014), 방위사업관리규정 제19호.
 [18] 송병석·조재립 (2007), 민간 신뢰성기술의 국방분야 활용 방안, 신뢰성 응용연구, 제8권, 제2호, pp. 65-68.
 [19] 심네트 및 국방대학교(2014), 정밀유도무기 시험평가기준 및 기준정립 및 절차 연구, 방위사업청.
 [20] 엄동환(2013), 전투차량내구도주행시험기준에 관한 연구, 한국방위산업학회, 제20권, p. 69.
 [21] 에스앤에스이앤지(주) (2014), SE 전산지원도구를 활용한 ○○○체계 시험평가프로세스 통합 관리사례.
 [22] 최석철·손문국(2008), 무기체계 신뢰도 향상방안 연구, 신뢰성 응용연구, 제8권, 제1호, pp. 44-45.
 [23] 한국산업기술시험원(2011), 무기체계 시험표준화법 연구 보고서, 방위사업청.
 [24] 함참 (2015), 시험평가지침.
 [25] 황호성·조경환·박인철·윤원식 (2012), 복합 유도무기 체계의 신뢰성확보를 위한 체계통합시험설계, 신뢰성 응용연구, 제12권, 제2호, pp. 108-113.
 [26] MIL-STD-810G (2008), Department of Defense Test Method Standard.
 [27] US DAU (2008), Operation of the Defense Acquisition System Statutory and Regulatory Changes, DoD Instruction 5000.02. 8. December.
 [28] US DOD (2012), Test & Evaluation Management Guide.