

C4I체계 시험평가 국방M&S 신뢰도 향상을 위한 VV&A 적용방안 연구

A Study on VV&A Application Method for Credibility Improvement of The DM&S for C4I Test and Evaluation

김 경 희* 강 석 중**
Kyung-Hee Kim Seok-Joong Kang

Abstract

A study for improvement of credibility on test & evaluation result of interoperability in battle management information system which focused in C4I systems is very essential in rapid change of battle field environment. Realization of effective operation process with integration of developed IT also core factor for reducing of operational response time such as information gathering from sensor to shooter, time for commander's decision making. Therefore, by required to meet of high technical T&E, meet of complex software's user requirement, long-term system development period, system integration ability's request by various linkage of systems, it is high a M&S dependency to optimal performance, interoperability's guarantee. Especially credibility on test & evaluation using M&S is very important. This paper will propose a VV&A applied methods using other VV&A case to improve credibility of M&S on test & evaluation.

Keywords : C4I, Defense Modeling and Simulation(DM&S), Verification, Validation, Accreditation

1. 서론

미래전은 전장 환경의 어디에서든 적시에 적합한 정보를 획득하여 활용하고, 관련된 부대(서)와 상호 협조된 작전을 수행할 수 있도록 정보의 유통에 기반을 둔 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)

양상으로 변화하고 있으며, 이러한 전쟁 양상의 변화는 정보통신 기술의 급속한 발전에 따라 가능한 것으로서 지휘통제체계(C4I)를 중심으로 한 전장관리정보체계는 정보통신 발전 기술을 어떻게 신속하게 접목하느냐가 관건이 될 것이다. 2010년을 기점으로 5대 전장관리정보체계는 그 전체적인 틀을 제공하고 있으나, 시험평가의 신뢰성 측면에서 다양한 문제점을 내포하고 있다. 최첨단 복합 무기체계인 지휘통제체계는 시험평가 과정에서 타체계연동을 통해 상호운용성 보장을 위한 검증 및 확인을 하고, 시험이 제한되거나 불가능한 경우에는 M&S(Modeling & Simulation)를 통하

† 2010년 8월 20일 접수~2010년 11월 19일 게재승인

* 광운대학교 방위사업학과, 방위사업청 시험평가1과

** 광운대학교 방위사업학과

책임저자 : 김경희(khkim211@korea.kr)

여 시험 및 평가결과를 얻을 수 있다. 오늘날 M&S 기술의 급진적인 발전과 시험평가 수단의 제한 완화, 기술적·사업적 위험제거, 분산자산의 표준 합리성 및 상호운용성 시험의 확산에 따라 연구개발 과정에서 가상전투공간에서 전력소요 분석 및 검증은 포함하여 미래의 예상되는 전투 가상도 및 효과를 실제계가 아닌 전투실험 공간에서 반복적인 실험과 분석, 평가가 가능하게 되었다. 방위사업청에서는 각 획득단계별 과학화된 시뮬레이션 획득기반(SBA : Simulation Based Acquisition)하에 시험평가 측면에서는 네트워크를 통한 분산 연동 및 체계간 상호연동된 무기체계의 프로토타입, 가상 모의시험을 적극적으로 적용중에 있다. 그러나 신뢰성있는 M&S 적용을 위해서 무엇보다도 중요한 것은 M&S를 활용한 시험결과의 정확도와 신뢰도가 관건이다. 이 문제를 최대한 보완하기 위한 구체적인 해법으로 VV&A(Verification, Validation, Accreditation)가 있다. M&S를 활용한 시험평가 적용의 활성화와 신뢰성을 향상하기 위한 국방분야 VV&A 기법 적용이 방공유도무기 체계개발사업의 시험평가에서 시작되고 있다. 이것은 체계의 능력과 적합성을 평가할 수 있는 유일한 방법은 아니지만, 유도무기체계 특성 및 국내 시험평가 여건 고려 시 시험평가를 위해 M&S 및 VV&A를 활용한 시험평가의 필요성이 존재하였기 때문이다. 국내에서의 최초 적용되는 VV&A 활동은 미 국방부 산하 DMSO(Defense Modeling and Simulation Office)의 VV&A RPG(Recommended Practice Guide) 및 Aegis Technology사의 컨설팅 자료를 기반으로 하여 수행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 DMSO VV&A RPG 및 현 적용사례를 중심으로 국방 M&S VV&A 적용사례를 고찰한 후, 단기간에 효율적으로 신뢰성있는 지휘통제체계 시험평가를 위한 M&S의 VV&A 적용방안을 제시하고자 한다.

2. 지휘통제체계 구축사례분석

가. 지휘통제체계 일반적 구성^(1,2)

지휘통제체계는 지휘관/참모가 전술통신망에 접속하여 의사결정에 필요한 정보를 적시에 획득하고, 지휘결심 결과를 신속하게 조치할 수 있도록 자동화된 체계를 제공하여 전장 우위를 확보하도록 지원한다. 이를 위하여 체계는 지휘통제용 소프트웨어와 이를 운

용할 수 있는 하드웨어 플랫폼으로 크게 구분되어 구성된다. 하드웨어 플랫폼은 서버 컴퓨터를 중심으로 네트워크 장비, 단말장비 및 기타장비 등으로 구분되며, 위치정보추적 및 피아식별장치 등 특수장비가 포함될 수 있다. 서버 컴퓨터, 네트워크 장비 및 단말장비 등은 통상 상용장비로 구성하되 운영환경의 특수성을 고려하여 통상 강화된 규격을 적용하며, 기타 및 특수장비는 상용 또는 별도 개발장비로 구성하는 전원공급장치, 이동셀터, 접속장치 등이 해당되며 국방 규격을 별도 마련하여 적용한다.

전장관리정보체계는 전술통신기반체계 하에서 표적 획득(탐지) 및 타격체계가 지휘통제체계를 통하여 상호 연동하는 만큼 지휘통제체계의 해당 소프트웨어가 제공하는 기능은 지휘관/참모 또는 단위부대의 전투수행 능력을 탁월하게 높인다. 이러한 지휘통제용 소프트웨어의 기능은 일반적으로 기본기능, 전장가시화, 임무계획/준비, 전술정보 교환 및 효율적인 정보구조 등 5가지 분야에서 다음의 역할을 수행한다. 체계를 운용하기 위한 기본기능(Digital Basics)으로는 네트워크 구성 및 관리, 체계 기동 및 유지보수, 사용자 확인 및 보안 기능 등이 제공되어야 한다. 전장 가시화(Battlefield Visualization) 기능으로는 표적 및 지형정보 등을 포함하는 공통작전상황도(COP : Common Operating Picture) 도식과 관련 지휘통제(C2 : Command & Control) 메시지 전달 기능이 제공되어야 한다. 임무계획/준비(Mission Planning & Preparation) 기능으로는 가시선분석 등을 포함한 다양한 분석기능과 작전계획 수립지원 및 작성도구 및 군수지원분석, 상황판단을 위한 부가정보 산출 등의 기능이 제공되어야 한다. 전술정보 교환(Information Exchange) 기능으로는 메시지 및 전장정보 관리에 해당하는 정보 전송, 접수, 확인 등의 기능이 제공되어야 한다. 체계에서 사용하는 정보구조(Information Architecture)는 산재된 데이터를 수집하여 의미 있는 정보를 구성하고 사용자가 요구하는 정보를 빠르게 제공하는 구조를 말하며, 이러한 정보구조는 정보 저장 및 검색, 정보 가공 및 표현 등으로 크게 나누어 효율적으로 처리할 수 있도록 하여야 한다.

궁극적으로 지휘통제용 소프트웨어는 단위부대의 전투임무 수행을 위하여 필요한 표적정보 공유를 통한 실시간 상황인식, 가용능력 판단 등을 위한 각종 현황 관리, 신속한 보고 및 지시의 전파, 전장 가시화 및 브리핑 지원 등 부가적인 기능을 통합적으로 제공할

수 있어야 하며, 일반적으로 기반체계, 시스템 관리체계, 공통체계 및 응용체계로 구분되어 개발된다. 기반체계는 운영체계, 데이터베이스관리시스템, 웹 서비스 소프트웨어 등이 포함되며, 시스템 관리체계는 체계관리자가 수행하는 기능으로서 시스템/네트워크 관리, 체계보안, 백업 및 복구 등이 해당된다. 공통체계는 모든 체계운영자가 일반적으로 활용하는 상황도, 전문, 포털 등의 기능으로 구성되며, 응용체계는 정보, 작전, 화력, 전투근무지원 등 전장기능별로 수행하는 기능으로 구성된다.

나. 지휘통제체계 연동구성 분석^(2,5)

KJCCS 중심의 한국군 지휘통제체계는 아키텍처 프레임워크(MND-AF) 기반하에 국방정보체계기술구조(DITA)에 명시된 표준을 준수하며, 공통운영환경 및 데이터공유환경을 적용하고, 목표로 설정된 상호운용성수준을 달성하도록 KJCCS(Korea Joint Command Control System, ATCIS(Army Tactical Command Information System), KNCCS(Korea Naval Command Control System), AFCCS(Air Force Command Control System), MIMS(Military Information Management System) 등 합참 및 각 군 전술C4I체계를 연합작전을 위한 CENTRIX-K 연동, 훈련체계인 태극JOS 모델 등이 상호 연동되는 구조를 가지고 있다. 각 체계는 합동작전 수행을 위한 표적처리, 상황도관리, 전문처리, 각종 현황관리 및 효과평가 등 상황판단/지휘결심에 필요한 필수정보를 제공하는 핵심기능을 포함하여 구현하고 있으며, 각 체계가 생산, 관리하는 다양한 형태의 정보는 근 실시간에 필요한 제대 및 기능부서에 전파되어 정보공유를 달성하고 있고, 이를 위하여 체계 및

제대 간 필요한 정보 소통량을 고려한 네트워크 대역폭이 할당되어 운용되고 있다.

지휘통제체계 간 연동은 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 현 단계에서는 KJCCS를 중심으로 한 필수 연동소요만 반영되어 있으며, 향후 각 체계 간 직접 연동을 통한 추가 연동소요 반영 및 훈련체계(위게임 모델), 자원관리체계와의 연동을 통한 연동대상 확대 등 체계별 성능개량사업에 반영되어 추진될 예정이다.

다. C4I체계(소프트웨어) 시험평가⁽⁹⁾

C4ISP 시험평가 절차는 C4I체계 구축과정에서 체계 요구사항을 검증 및 확인하기 위해서 C4ISP에서 작성된 아키텍처를 활용하여 C4I체계 시험평가 과정을 Fig. 2와 같이 기술한다.

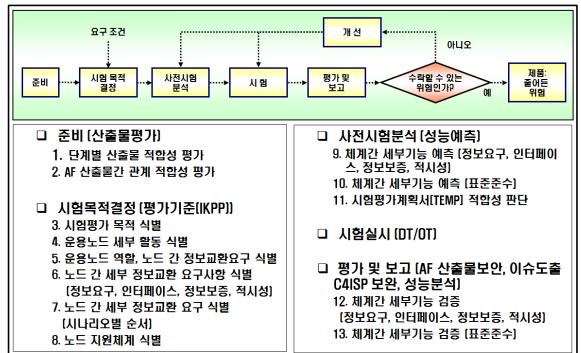


Fig. 2. C4ISP기반 시험평가 절차

C4I체계의 시험평가 목적은 C4I체계의 유용성 및 비용 대 효과 분석측면에서 유리성을 평가하기 위하여 적시에, 정확하고, 적절한 정보를 의사결정자에게 제공하고, 획득과 관련된 위험 요소를 식별하여 획득 위험을 감소시키며, 획득관련기관으로 하여금 운용측면에서 효과도 및 적합성이 높은 C4I체계가 획득되도록 보증하는데 있다. 미 국방성의 C4I체계 시험평가를 형태 기준으로 살펴보면 다음과 같다. 1990년도 C4I체계 시험평가(형태 1 : 단위체계기반 C4I체계 시험평가)는 단위체계중심으로 실시하였고, 1990년도 후반부터 2000년대 초반의 C4I체계 시험평가(형태 2 : 단위체계+관련체계 : Point to Point) 기반 C4I체계 시험평가는 DoD-AF를 기반으로 단위체계 시험평가와 더불어 복합체계(C4I체계 : 센스체계, 지휘 및 통제체계, 통신체계, 컴퓨터, 정보체계) 구축을 위하여 상향식 소요획득체계인 RGS(Requirement Generation System) 절차에 의해

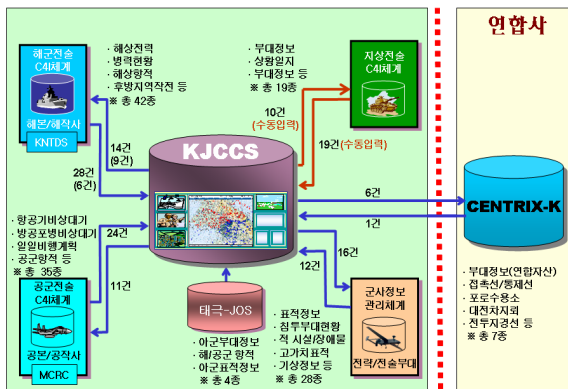


Fig. 1. 지휘통제체계 연동 구성⁽⁵⁾

관련된 체계에 대한 상호운용성 시험평가를 실시하였으며, 2000년대 중반부터 C4I체계를 포함한 전 국방체계(복합체계 : C4I체계, 무기체계) 시험평가(형태 3 : 단위체계+관련체계 : Plug & Play) 기반 C4I체계 시험평가)는 DoD-AF와 능력(Capability) 개념을 기반으로 NCW 구축을 목표로 새롭게 개발된 하향식 소요획득 체계인 JCIDS(Joint Capabilities Integration Development Systems : 합동능력통합발전체계) 절차에 의해 단위체계와 관련된 체계의 상호운용성 평가를 실시하고 있다. 현재 우리 군은 통합된 고성능의 C4I체계 구축과 더불어 한국에 적합한 NCW를 건설하기 위하여 부단히 노력하고 있다. 그러나 우리 군의 C4I체계 시험평가 수준은 미 국방성의 형태 1과 형태 2 중간정도이고, 한국형 NCW는 아직도 개념을 연구하고 제도화하려는 초기단계에 머물고 있다. 따라서 고성능의 통합될 수 있는 C4I체계를 보다 효율적으로 구축하기 위해서는, C4I체계 시험평가 관련된 이론 및 특징, 적합한 소요계기 방법 및 절차, 소요를 충족할 수 있는 C4I체계 획득절차를 기반으로 요구된 성능충족을 위한 C4I체계 시험평가모델, 과정 및 절차가 있어야 하나, 현재 우리 군에는 C4I체계 시험평가를 위한 모델, 과정, 절차 및 데이터베이스가 구축이 미흡하여 사업 추진 시 일부 혼란 초래, 사업수행기간의 장기화, 부적합한 체계구축 등의 사례가 발생하고 있다. 따라서 미 국방성의 C4I체계 시험평가 모델, 과정 및 절차를 벤치마킹하여 우리 군의 전장환경에 적합하고 NCW 기반의 상호운용성이 충분히 고려된 미래지향적인 C4I체계 시험평가 모델, 과정 및 절차 발전방안을 제시해야 한다.

3. VV&A 적용 이해

가. VV&A 개념^(8,10)

VV&A란 Verification, Validation, Accreditation의 약사이며, KOLAS ISO/IEC 17025에서 검증, 확인, 인정으로 제시했으며, 방위사업청도 2007년 이와 같은 용어를 사용토록 지시되었으며, 용어의 의미는 다음과 같다.

첫째 검증(Verification)은 M&S 구현과 관련 문서 및 데이터가 개발자의 개념적 묘사와 설계규격을 정확하게 반영하여 나타내고 있는지를 결정하는 과정으로 “개발자는 사용자의 요구사항을 반영하여 개발하였는

가?”, 즉 M&S가 바르게 만들어졌는지에 관한 문제이다. 둘째 확인(Validation)은 M&S와 관련된 데이터가 그 용도의 실제계의 속성을 정확하게 나타내고 있는지를 확인하는 과정으로 “개발된 M&S는 현실세계를 올바르게 반영하고 있는가?”, 즉 바른 M&S가 만들어졌는지에 관한 문제이다. 마지막으로 인정(Accreditation)은 M&S와 관련 데이터가 사용 목적(훈련, 분석, 획득 등)과 용도에 정확히 부합하는 것인지 공식적으로 확인하는 과정으로 정의한다.

우리가 M&S 사용시 영향을 미칠 수 있는 개발과정에 드러난 가정사항들에 대한 인지가 어렵고, M&S의 한계/제약사항들에 대한 충분한 이해없이 출력된 결과나 변수들에 대해서 잘못된 해석의 가능성이 있으며, 의도된 목적으로 M&S를 사용하지 않을 가능성이 있으며, Multi-Disciplinary 작업시 개발, 유지, 보수, 자금 투입 등에 대한 통일된 의견을 정립하기 어려운 위험요소를 내포하고 있음을 알 수 있다.

따라서 M&S 도구의 신뢰성(Credibility) 확보에 대한 고민으로부터 출발하여 “과연 만들어진 M&S 도구를 믿고 사용할 수 있는가?” 라는 질문에 따라서 M&S 수행시 발생하는 전형적인 에러 유형을 판단할 수 있다. 검증 및 확인과정에서 잘못 만들었는데 사용자가 승인하는 경우와 인정과정에서 에러를 인정하는 위험이 존재하고 있다. 따라서 SARGENT's Paradigm에서 문제해결을 위한 분석으로 개념화 모델에 대한 유효성, 코드 구현 검증, 실제 실행결과 값과 M&S 실행결과 값과 비교를 함으로써 VV&A 패러다임을 도출할 수 있다.

나. VV&A 과정⁽⁷⁾

사용자는 어떤 해결해야 할 문제가 발생하여 문제 해결 방법을 M&S로 풀기로 결심했다면 사용자는 먼저 M&S PM을 지정하고 인정 에이전트를 지정한다. M&S PM은 개발자와 V&V 에이전트를 지정하게 된다. 인정 에이전트는 먼저 해결해야 할 문제를 인식하고 개발계획을 참고하여 사용자와 협의하여 수락기준을 설정하게 되고 M&S 개발기간 동안 자료수집계획을 포함한 인정계획을 수립하게 되며, 인정계획에 따라 인정 에이전트로서의 활동을 수행하게 된다. 이 경우 대략적인 수락기준은 결정되되, 세부적인 평가항목은 VV&A 활동과정에서 구체화될 수 있다. V&V 에이전트는 M&S PM으로부터 지시를 받으며 인정 에이전트의 인정계획을 참고하여 V&V 계획을 수립하고 그

계획에 따라 활동을 하게 된다. 개발자는 M&S PM의 통제하에 M&S를 개발하게 되며, 진행상황을 M&S PM에게 보고한다.

인정 에이전트와 V&V 에이전트는 상호 대등한 관계로 상호 협력하며, 인정계획과 V&V계획은 관련 시스템 또는 사용자의 요구사항 변화에 따라 VV&A 활동기간 중 수시로 변경될 수 있다. 개발기간 동안 중요한 문제에 대해서는 M&S에 관여하는 모든 이가 참여하는 정기회의 또는 수시회의를 개최할 수도 있다. 인정 에이전트나 V&V 에이전트는 VV&A 활동 수행 중에 능력이 부족한 부분에 대해서는 각 에이전트 스스로 판단하여 전문가 그룹(SMEs : Subject Matter Experts)을 운영할 수 있다. 여기서 SME는 각 분야의 전문가를 지칭하는 것으로 인정 에이전트나 V&V 에이전트나 모든 분야의 전문가 일수는 없으므로 SMEs를 적절히 활용하는 것이 VV&A 성패를 결정할 수 있다. 인정은 인정 에이전트가 인정계획에 따라 V&V 산출물, 개발자료 및 인정활동에 필요한 자료 등을 수집하여 검토하고 인정평가를 실시한다. 이 때 소규모 단순 시스템을 대상으로 VV&A 활동이 이루어질 경우 인정평가는 인정 에이전트 단독으로 실시할 수도 있으나, 복잡한 시스템을 대상일 경우는 인정 에이전트가 전문팀을 구성하여 평가를 실시할 수 있다. 이런 인정자료 수집 및 인정평가에 관련된 내용은 인정계획 수립시에 인정 에이전트가 인정계획을 어떻게 세워 인정권자의 승인을 받느냐에 따라 달라진다. 인정 에이전트에 의해 V&V 산출물을 포함한 수집된 인정자료 검토 및 인정평가가 종료되면, 인정 에이전트는 그 결과를 종합하여 인정권자에게 인정추천을 하게 되며, 최종적으로 인정권자가 인정여부를 결정하게 된다.

인정권자는 인정 에이전트가 추천한 인정결과와 인정자료를 검토하여 인정여부 결정을 하게 되며, 전력화 일정, M&S 개발 또는 수정 비용 등을 포함한 문제해결과 관련된 다각적인 검토를 통해서 인정권자 독자적으로 또는 심의위원회를 구성하여 인정결정을 할 수 있다. 이때 인정에이전트의 인정추천 결과가 반드시 인정결과와 동일한 결과를 나타내는 것은 아니며, DMSO VV&A RPG에서 사용자를 인정권자로 지정한 것은 상기의 M&S와 관련된 제반 사항을 고려하여 인정결정을 해야 할 필요가 있기 때문인 것으로 판단된다. 인정은 사용자가 M&S를 활용하고자 한 경우 의도한 사용목적(체계요구사항)에 얼마나 적합한가를 결정하는 제3자의 공식적인 결정이며, M&S를 개

발하는 과정에서 VV&A 활동을 했다고 해서 모두 완전인정이 되는 것은 아니다.

다. M&S 신뢰성 영역⁽⁸⁾

M&S 신뢰성은 다차원적인 체계공학의 관점에서 정의될 수 있다. Fig. 3은 M&S 신뢰성 영역을 문제영역, M&S 개발영역, 사용자영역의 상호 직교하는 해공간(Solution Space)으로 나타낸 것이다.

- 문제영역(Problem Domain) : M&S가 사용목적에 얼마나 잘 맞는지에 대한 적합성에 역점을 둔다.(Fit for Intended Use 또는 IU로 표기됨)
- M&S 개발영역(M&S Development Domain) : 사용목적에 맞게 얼마나 잘 만들어졌는지에 대한 개발성에 역점을 둔다.(Built Well 또는 BW로 표기됨)
- 사용자/분석자 영역(User/Analyst Domain) : 사용목적에 맞게 M&S가 얼마나 잘 사용될 수 있는지에 대한 사용성에 역점을 둔다.(Used Right 또는 UR로 표기됨)

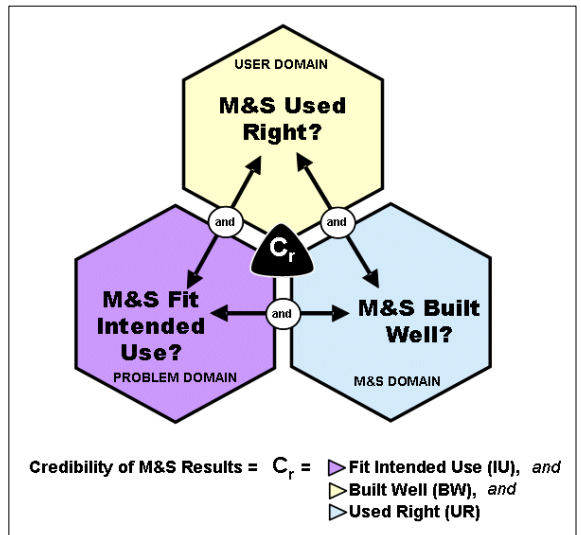


Fig. 3. M&S 신뢰성 영역

M&S 결과의 신뢰성(Cr)은 Fig. 3에서 Cr이 세 영역의 공통영역에 표기되어 있는 것처럼 이와 같은 세 영역의 기준들이 동시에 만족될 때 확보된다. 최상위 신뢰성 평가점수는 인정평가 결과(달성값)를 의미하며, 하위의 세 가지 영역들의 신뢰성 평가점수로 분류된다. 신뢰성 영역을 세 개로 나누는 상위 단계의 신

뢰성 영역분할은 세부적인 수락기준 항목들에 의해 평가된 M&S 신뢰성의 포괄적인 의미를 파악하기 위해 사용하기는 유용한 범주이지만, 매우 포괄적이므로 영역단계에서 M&S 결과의 신뢰성을 측정하기에는 어려움이 따른다. 따라서 위 세 가지 영역들은 측정가능하고 세부적인 하위단계의 수락기준 항목들로 더 상세히 기술하여 구성한다.

4. C4I체계 국방M&S의 VV&A 적용방안

가. M&S VV&A 적용배경⁽⁶⁻⁸⁾

모델링 및 시뮬레이션은 문제해결을 위한 실험환경과 예측성을 제공해 주기 때문에 문제 해결을 위한 대안들을 사전에 실험해보고 그 결과를 예측해 봄으로써 최적의 대안을 분석할 수 있다. 그런데 M&S의 활용도가 증가됨에 따라 M&S의 신용이 중요한 연구 과제로 제기되고 있다. M&S 기술은 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 발전으로 개별체계 뿐만 아니라 통합 전장 환경에 이르는 고성능의 시뮬레이터를 제공하고 있다. M&S를 이용하면 실 체계 개발 전에 각종 상황 및 설계값을 적용하여 체계를 시험해 볼 수 있으며 시험평가 시에는 시험을 반복적으로 실시하여 신뢰성 높은 통계적 데이터를 얻을 수 있고 또 실 시험으로 실시하기 어려운 위험한 시험이나 고비용 시험을 대신할 수 있다.

센서와 슈터를 연결하는 연동 및 체계통합 소요가 매우 많은 C4I체계와 같은 첨단 무기체계의 시험평가를 위해서 실제 운용시험 대신에 M&S를 사용한 가상 시험평가를 수행한다고 하면 시험평가자는 그 시뮬레이터 모델링 데이터의 신뢰성이 충분한지, 실제 시험평가와 유사한 결과를 얻을 수 있는지에 대하여 의문을 가지게 된다. 따라서 M&S의 신뢰를 보장하기 위해서는 VV&A 개념을 적용한 시험평가체계를 도입하여야 한다. 왜냐하면 시험평가는 시스템 성능과 효과에 대한 보증에 초점을 두고 있는 반면에 VV&A는 M&S의 능력과 신용에 대한 보증과 그 용도에 대한 공식적인 결정을 다루고 있기 때문이다. 그런데 국내에서는 모델링 및 시뮬레이션에 대한 VV&A 지침이 없고 아직 규정화도 되지 않은 상태이므로 신뢰성에 대한 문제점을 안고 있는 상태이다. 결국 개발 단계별로 어떤 M&S를 사용하여 실험결과를 도출하였을 때 의사결정자의 입장에서 이를 정확한 실험결과로 받아

들일 수 있는가 하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 범정부 또는 국방 M&S 차원의 연구를 실시하여 소프트웨어 및 네트워크를 기반으로 상호운용성이 보장되어야 하는 C4I체계 개발시 VV&A 절차를 조속히 정립하고 기존의 M&S 도구는 물론 앞으로 등장할 도구의 신뢰성을 보장하여야 한다.

즉, 체계개발 또는 시험평가 예정인 C4I체계에 VV&A적용을 위해서 M&S 요구사항으로부터 M&S의 신용 및 사용을 판단하는 기준인 수락기준과 신뢰성을 보장하기 위한 활동인 VV&A의 개념에 대해 고찰하고 수락기준 도출과정 및 VV&A 적용을 위한 계획 수립방법을 제시하여 적용함으로써 시행착오 최소화, 사용자 요구사항을 충족하는 M&S 구현, 예산절감, 그리고 개발기간 단축을 기대할 수 있다. 또한, 예산과 인력, 일정 등의 주어진 자원 내에서 효율적으로 사업을 진행하기 위해 요구사항의 가치에 따른 등급을 제시하여 이를 경제적이고 효율적인 수락시험방법 선택의 판단요소로 활용할 수 있다.

나. M&S VV&A 지원도구⁽⁷⁾

모델링 및 시뮬레이션의 VV&A 절차에 대한 지원 도구로써 문서화 도구(MVDT : Modeling & Simulation VV&A Documentation Tool)와 마크업 언어(VVML : VV&A Markup Language)를 제시할 것이다. 여기서 VVML은 웹기반 XML(Extensible Markup Language)을 기반으로 한 언어로 MVDT를 이용, 모든 VV&A 산출물과 그와 관련된 자료들을 하나의 저장소(MSRR : Modeling & Simulation Resource Repository)에서 관리할 수 있다. 또한 고유한 템플릿과 융통성을 가지고 있는 강력한 언어이다. VV&A 문서화 도구인 MVDT는 강력한 GUI(Graphical User Interface) 환경을 구축할 수 있는 Visual Basic 2005를 기반으로 만들어진 프로그램이다. MVDT는 강력한 GUI능력을 토대로 VVML을 VV&A 템플릿에 맞추어 사용자가 편리하게 이용 가능하다. 이것을 적용한다면 첫째는 데이터 표준화이다. VV&A의 표준화된 템플릿을 MVDT에 도입하면 저장되는 자료들은 자연스럽게 표준화가 이뤄진다. 둘째는 자료의 재사용이다. MSRR에 저장된 자료들은 표준화가 이뤄진 템플릿을 토대로 VVML로 저장된다. VVML은 XML 기반이기 때문에 태그를 이용하여 자료의 접근과 활용이 용이하다. 셋째는 협업 환경구축이다. VV&A 이해관계자들이 웹상에서 같은 프로그램으로 작성된 자료들을 공유함으로써 협업이 이뤄진다.

마지막으로 비용/일정 단축이다. 레거시 M&S 데이터들을 손쉽게 이용 가능하고 VV&A 산출물의 템플릿이 법규와 지침을 토대로 자동적 작성되기 때문에 VV&A 수행자는 비용/일정을 단축 할 수 있다.

다. M&S VV&A 기반 C4I체계 시험평가 적용

C4I체계 시험평가는 C4I체계의 특성 즉 다양한 타체계와 상호운용되는 특성, 소프트웨어 집약적으로 구성되는 시스템의 특성, 인간과 상호 작용되는 인간-기계 인터페이스(Man-Machine Interface) 등의 특징을 이해해야 한다. 따라서 C4I체계 시험평가를 위해서는 시험기간 동안 잘 훈련된 사용자 집단의 선정과 세밀한 시험과 평가결과를 분석하고 연동되는 모든 체계와의 자료의 송수신을 위한 체계간 또는 체계내 인터페이스의 상호운용성을 반드시 고려하여야 한다. 이러한 체계요구도를 달성하기 위해 C4I체계의 시험평가는 실제 상황을 묘사하기 위한 많은 컴퓨터 및 네트워크 시뮬레이션과 해당 대체시험 장비에 의존하게 된다. 또한 C4I체계의 호환성, 상호운용성, 통합성 시험을 위해서는 복합시스템을 시험하기 위한 방법이 필요하다. 더불어 C4I체계는 합동, 연합작전, 우방국과의 작전 환경을 고려한 이들 체계와의 상호운용성을 반드시 고려하여야 한다. 즉 일반적인 무기체계의 획득에 있어서 시험평가의 대상인 개발되는 장비와 시스템, 장비를 운용하는데 따른 훈련과 교리, 군수지원사항 등의 하드웨어와 이를 운용하기 위한 소프트웨어, 그리고 체계간 상호운용이 반드시 필요한 다양한 체계들 간의 상호운용성에 대한 평가가 무엇보다도 중요하다. 따라서 이러한 C4I체계의 시험평가를 위해서는 합동시험, 통합시험평가 도입 및 이를 관리하는 국방부 차원에서 합동 또는 연합작전에서 사용 또는 지원하는 모든 체계간의 상호운용성을 관리하는 기관의 적극적인 조정통제가 필요하다. 이와같이 상호운용성이 강조되는 C4I체계 요구사항 검증 및 인증을 위해 M&S를 활용한 시험평가의 필요성이 절실하다^[4]. 예를 들면 타체계연동 시험 또는 제대간 전술표적관리 성능시험, 부대간 통신망 성능시험, 지휘결심을 위한 의사결정시스템 시험 등은 타 사업 프로세스, 예산 또는 시험환경 등의 여건에 의해 실 체계 환경에 의한 시험 수행에 어려움이 따를 수 있다. 이런 경우, 개발시험(DT)과 운용시험(OT)을 통해 C4I체계를 평가하기 위해 M&S의 활용이 필요하며, M&S를 활용한 시험이 구현되는 C4I체계의 능력과 적합성에 대한 의미 있는

결과를 보여 줄 수 있다. Fig 4는 일반적인 C4I체계의 연동을 위한 타체계 시뮬레이션 시험망을 보여주고 있다.

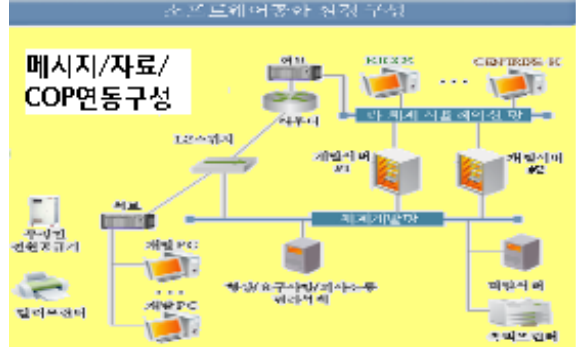


Fig. 4. 일반적 C4I체계 시뮬레이션 시험환경 구성

다음은 M&S VV&A를 적용하기 위해 실제 C4I체계 구축시 모의환경을 제시해 본다.

체계 운용부대 대표성을 지닌 부대/합정을 모의할 수 있는 환경을 다음과 같이 구성한다.

- 부대별 특성을 갖는 기능/성능을 확인가능토록 대표성을 지닌 부대별 독립된 사이트로 모의할 수 있도록 HW, SW환경 구성
- 부대간 자료교환 및 부대간 통합 운용개념을 확인 가능토록 체계 구성
- 육상부대와 합정간은 제한적인 위성통신망 환경을 모의할 수 있도록 구성
- 실 운용체계와 시험이 제한되는 연동대상 타체계환경은 모의서버 및 시뮬레이터를 이용하여 구성

또한, M&S환경 구성시 제약사항은 유선/위성통신망, 서버이중화, 암호장비, 다수사용자 등이 있으며, 모의 환경 제한에 따른 기능 및 성능의 취약성을 가정하고 이에 대한 인정 허용희망값의 산출이 매우 중요하다. 구체적인 사항은 다음과 같다.

- 시험목적과 실 부대와의 비교하여 제한되는 환경을 고려하여 체계기능 확인이 가능한 수준에서 최소장비로 구성하되, 시험환경의 제약사항이 시험결과 판정 시 영향을 최소화토록 구성
- 상용 또는 관급으로 구매하여 제공하는 하드웨어에 대한 제품자체의 성능/규격 확인, 네트워크 이중화

및 회선의 구성 등의 시험을 위한 환경은 테스트베드에 적용하지 않음.

종합해보면, M&S를 활용한 C4I체계 통합시험시스템은 C4I체계의 주요 임무응용SW, 상황도SW, 연동SW, 전문처리SW 등 CSCI(Computer Software Configuration Item)와 체계통합을 위한 HWCI(Hardware Configuration Item) 모의기능으로 구성된 통합된 M&S 시스템으로, 각각의 형상항목별 모의기능 통합을 통해 C4I체계 시험평가 환경을 제공하게 되는데, 시험평가가 성공적이기 위해서는 M&S에 대한 신뢰성 확보가 절대적으로 요구된다. M&S VV&A 기반의 C4I체계 시험평가를 체계화함으로써 VV&A 활동 결과는 인정에이전트에 의해 인정권자에게 인정추천을 하는 자료로 활용되고, 인정권자가 최종 인정결정을 수행하는 근거자료로 활용한다. 검증, 확인 및 인정 활동은 C4I체계의 체계 개발, 통합, 그리고 시험 및 평가과정에 효과적으로 계획되어 사용될 수 있도록 할 것이다. C4I체계의 통합시험시스템에 대한 검증, 확인 및 인정(VV&A) 활동을 수행하기 위해서는 해당 시스템의 M&S의 수행 능력과 제한사항들에 대한 세부적인 이해가 필요하며, 개발단계 및 시험평가에 적합한 VV&A활동 수행능력이 필수적이다.

라. 인정 요구사항 및 기준 적용⁽⁸⁾

C4I체계 통합시험시스템과 C4I체계의 설계 및 시험 관련문서들을 바탕으로 C4I체계 시험평가를 지원하는 통합시험시스템의 사용목적 사항들이 보다 구체화됨에 따라 통합시험시스템 M&S 요구사항들과 인정 기준사항(수락기준)들이 보다 상세하게 정의되어질 것이다. 이 사용목적 사항들은 해당 C4I체계 시험평가기본 계획서(TEMP : Test & Evaluation Master Plan)의 시험 목적과 시험요구사항에 따라 변경될 수도 있으며, 또한 체계 시험목적과 시험요구사항을 지원하는 실 체계와 통합시험시스템 통합구조 확인과정에서도 보다 더 구체화 될 수 있다. 그런 후 인정에 관련된 수락기준 사항들도 보다 더 구체화 될 수 있다. 단 M&S 가정 및 제약사항으로 시험평가 항목을 시험하기 위한 제한적인 모델링 구현, 자체 난수 생성으로 인해 운용 시험 설정 세트내의 각 특정 시험경우마다 다른 실행 결과를 보여줄 수 있는 가능성, 운용 시 실제 운용되는 전술통신망과 유사한 성능, 실 환경에서의 데이터 전송지연, 인간↔기계 인터페이스에서 일어날 수 있는

화면 명령에 대한 작동자의 지연된 반응이나 데이터 입력 차이 등은 실제시험 실행에 큰 영향을 미칠 수 있다. 운용자의 화면 명령에 대한 지시나 반응에 있어서의 미미한 시간 차이도 근실시간 C4I체계 시뮬레이션 환경에서의 구성체계의 운용 상태에 영향을 미치는 원인이 될 수 있다.

구체적인 인정 요구사항과 기준은 다음과 같다.

- VV&A 핵심활동 관련 인정 요구사항
 - 시험시스템 개요, 개발, 구성, 가정, 능력, 한계
 - 시험시스템 요구사항 및 수락기준
 - 위험요소 분석 및 그에 따른 사용시의 영향
 - 인정 이슈
- VV&A 이외 활동의 인정 요구사항
 - 시험시스템 운용 요구사항
 - 시험시스템 M&S 관리 상태 및 문서화 성숙도

또한 제약사항으로 C4I체계 시험시스템의 시험 중 관찰되는 C4I체계의 체계요구사항에 대한 대응능력을 확인하는 과정에는 몇 가지의 제약사항이 존재할 수 있으며, 예를 들면 다음과 같다.

- 환경과 초기조건, 그리고 구성물의 묘사
- 시험 자료 부족
- 데이터 부족에 따른 실제시험 후 재현성 부족

마. 인정 방법

C4I체계 통합시험시스템 인정 에이전트는 해당 체계 시험에 대한 인정결정을 지원하기 위해 공식 V&V 요구사항을 고려하고, 필요한 다른 M&S V&V 데이터를 바탕으로 이와 같은 데이터 요구사항들을 결정한다. 그 결과로 V&V데이터 요구사항은 일반적으로 C4I체계 시험의 목적을 충족하기 위해 필요한 주요 M&S 기능들로 추적되어지며, V&V 에이전트는 해당 체계 시험을 지원하는 주된 M&S 기능들에 중점을 맞추는 V&V 활동들에 우선순위를 주어야 한다. C4I체계 통합시험시스템 인정 에이전트는 인정평가와 인정추천을 지원할 이 같은 각각의 모델과 시뮬레이션에 대한 V&V 결과와 구축된 통합시험시스템 그리고 통합시험시스템과 상위/인접/하위 체계와의 인터페이스를 평가한다.

또한, 인정활동의 핵심 단계에는 수락기준 항목 및 인정기준 설정과 이를 평가하기 위해 필요한 자료 요

구사항 설정 등을 들 수 있다. 인정기준은 시험 대상들의 통합과 상호작용에 역점을 두는 정성적인 측정과 정량적인 측정으로 구성된다. 인정과정은 C4I체계 통합시험시스템에 대한 V&V 활동을 통해 제시된 부분들의 검토로부터 시작할 것이며, V&V 문서화 작업은 다음의 내용을 포함해야 한다.

- 사용목적, 시험시스템 개요, 구성, 개발과정 및 기록
- 시험시스템 가정, 능력, 한계
- 시험 요구사항과 통합시험시스템의 능력 및 한계에 대한 비교
- 시험목적을 지원하기 위해 시험시스템 체계와 구성과 구성모델들에 사용되는 M&S의 한계 및 제약사항들을 규명하는데 중점을 둔 분석내용
- 공식 인정추천에 필요한 기반 구축과 체계시험을 위한 C4I 실체계 간의 통합 구성에 필요한 변경사항들의 확인 내용

바. VV&A 기관별 업무분장

C4I체계 통합시험시스템의 VV&A 활동에는 Table 1과 같이 해당 기관과 전문가(SMEs : Subject Matter Experts)가 참여하며, 전문가는 인정에이전트가 필요시 선정하여 활용한다.

사. 수락기준 항목⁽⁸⁾

수락기준 항목은 NASA-STD-(I)-7009(STANDARD FOR M&S) Appendix 및 AEgis Technology사의 컨설팅 내용을 기반으로 하여 테일러링 하였으며, 각각의 수락기준 가중치와 허용희망값, 인정기준값의 의미하는 바는 다음과 같다.

- 전체가중치 : 사용의도에 대한 적합성 가중치 + 사용 의도에 맞는 개발성 가중치 + 사용의도 따른 사용성 /운용성 가중치 = 1.0
- 개별가중치 : 각 수락기준 항목에 대한 상대적인 중요도 비교값(값의 범위는 0~1의 범위를 가지며 개별 가중치의 합은 1.0이 되도록 한다.)
- 허용희망값 : 각 수락기준 항목에 대한 사용자의 기대값으로 인정기준 설정 참조
- 평가값 : 수락기준 항목에 대한 평가 결과값(값의 범위 : 0~4)
- 인정기준값(목표값) : 각 수락기준 항목에 대한 사용자의 기대값으로 Table 2 인정기준 참조

Table 1. VV&A 담당기관별 업무분장

구분	담당기관	역 할	비고
인정권자	방위사업청 (지휘통제체계사업팀)	<ul style="list-style-type: none"> • 수락기준 승인 및 기준 각각에 대한 가중치 및 허용 한계값(인정기준값) 부여 • 인정계획 승인 • VV&A 활동 조정통제 • 인정결정(인정권자 계획에 의함) 	담당 기관 역할 : DMSO VV&A RPG 준용
인정 에이전트	인정기관 (국방 기술품질원)	<ul style="list-style-type: none"> • 인정 활동 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 수락기준 설정 - 인정계획 수립 - 인정자료 수집 - 인정평가 계획수립 - 인정평가보고서 작성 - 추천(→ 인정권자) 	
V&V 에이전트	국방과학 연구소	<ul style="list-style-type: none"> • V&V 활동 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 검증 및 확인계획 수립 - 단계별 산출물 및 지원보고서 작성 - 검증 및 확인보고서 작성 - 기타 필요 활동 식별, 수행 	
개발자	개발업체	<ul style="list-style-type: none"> • 통합시험시스템 개발 및 시험 • 개발 및 시험에 관련된 문서 생산 • VV&A 활동 지원 	
SMEs	<ul style="list-style-type: none"> • 소요군 T&E 전문가 • SW 전문가 • M&S 전문가 • VV&A 활동 수행 시 식별된 전문가 	<ul style="list-style-type: none"> • 통합시험시스템 VV&A 활동 과정 참여 및 의견 제시 • 통합시험시스템 인정평가 수행 	

* 인정기준값 = $\sum(\text{가중치} \times \text{허용희망값})$

- 인정평가값(달성값) : 인정평가 후 개별가중치와 개별 평가값의 곱을 모두 합한 값

* 인정평가값 = $\sum(\text{가중치} \times \text{평가값})$

Table 2. 세부 가중치 및 허용희망값

영역	가중치	기준	가중치	하위레벨 기준	가중치		허용희망값
사용의도 적합성 0.2	1.0	구성요소 0.2	1.0	표현의 적합성	1.0	0.4	3.0
				표현의 일관성		0.3	2.5
				표현의 완결성		0.3	2.5
	1.0	범위 규모 0.2	1.0	시뮬레이션 능력	1.0	0.5	3.0
				유효성의 범위		0.5	2.5
		기능/ 상호 작용 0.6	1.0	요구사항 정의	1.0	0.5	3.5
	M&S 인과관계			0.2		2.5	
	인터페이스 정의			0.1		2.5	
					인터페이스 기능성		0.2
사용의도 개발성 0.7	1.0	코드 검증 0.1	1.0	데이터 변수 종속성	1.0	0.2	2.5
				코딩에러 방지 노력		0.1	2.5
				코드화 규격 준수		0.2	3.0
				SW 형상관리		0.5	3.0
	1.0	수치 해석 0.1	1.0	방정식 및 알고리즘	1.0	0.4	3.0
				측정단위의 일관성		0.1	2.5
				가정의 완전성		0.2	2.5
				모델반응의 정확성		0.3	3.0
	1.0	확인된 결과물 0.8	1.0	수행동작 적합성	1.0	0.5	3.5
				장애/고장시 동작의 적합성		0.1	2.5
				반복실행 결과 동일성		0.1	2.5
				실 데이터의 유효성		0.2	3.0
				시스템 안정성		0.1	2.5
				시뮬레이션 추적성		0.2	2.5
				사용자 편의성		0.3	2.5
산출물작성 충실도	0.5	3.0					
운용성 0.1	1.0	1.0	1.0	시뮬레이션 추적성	1.0	0.2	2.5
				사용자 편의성		0.3	2.5
				산출물작성 충실도		0.5	3.0

수탁기준 세부항목은 첫째 사용의도에 대한 적합성 (구성요소, 범위 및 규모, 기능과 상호작용), 둘째 사용의도에 맞는 개발성(코드검증, 수치해석, 확인된 결과물), 셋째 사용의도에 따른 운용성(사용성)이 있다.

Table 2는 지휘통제체계 모의시험시 적용되는 세부 M&S 가중치 및 허용희망값을 제시해 본다.

아. 인정기준(허용희망값) 설정

허용희망값 설정은 NASA-STD-(I)-7009에 제시된 방법을 참고하여 인정권자가 결정한다.(단, 가중치는 인정권자의 판단에 따라 가용한 방법을 적용하여 부여한다.) 수탁기준 각 항목에 대한 허용희망값 및 달성값은 Table 3과 같은 기준을 적용한다.

Table 3. 인정 기준

구분	점수	판단 기준	비고
정성적인 부분	4	<ul style="list-style-type: none"> 아주 좋다. 충분히 만족한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 평가자의 판단에 따라 중간점수 (0.5단위)를 부여할 수 있다. 예) 2.5, 3.5, 4.5 규격 : 사용자 요구사항 또는 규격서에 명시된 값을 의미한다. ※ 규격이 없는 경우, SMEs의 자문을 기준으로 설정한다. 사용자 요구사항에 직접 관련된 사항은 만족시 3, 불만족시 0만을 부여한다.
	3	<ul style="list-style-type: none"> 양호하다. 사용의도에 맞게 사용할 수 있다. 	
	2	<ul style="list-style-type: none"> 사용의도에는 미흡하나 제한적으로 사용할 수는 있다. 	
	0	<ul style="list-style-type: none"> 사용할 수 없다. 	
정량적인 부분	4	<ul style="list-style-type: none"> 규격을 훨씬 상회한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 평가자의 판단에 따라 중간점수 (0.5단위)를 부여할 수 있다. 예) 2.5, 3.5, 4.5 규격 : 사용자 요구사항 또는 규격서에 명시된 값을 의미한다. ※ 규격이 없는 경우, SMEs의 자문을 기준으로 설정한다. 사용자 요구사항에 직접 관련된 사항은 만족시 3, 불만족시 0만을 부여한다.
	3	<ul style="list-style-type: none"> 규격을 만족한다. 	
	2	<ul style="list-style-type: none"> 규격을 만족시키지는 못하지만, 의도에 맞게 제한적으로 사용할 수는 있다. 	
	0	<ul style="list-style-type: none"> 규격을 벗어나 사용 의도에 따라 사용할 수 없다. 	

※ 타 시스템을 위하여 개발된 통합시험시스템 시험용 장비(HW, SW)는 VV&A 대상에서 제외한다.

각각의 수탁기준 항목에 향후 가중치와 허용희망값(인정기준값)이 인정권자에 의해 구체적으로 제시되어 허용희망값이 설정될 것이며, 설정된 허용희망값은

인정평가 후 달성값과의 비교를 통해 통합시험시스템에 대한 인정추천 및 인정결정의 기준이 된다. 허용희망값과 인정평가 후 달성값과의 비교를 통한 인정추천 기준은 Fig. 5와 같다.(NASA-STD-(I)-7009 기준 적용)

- 완전인정 : 인정기준값 - 인정평가값 ≤ 0.5인 경우
- 제한인정 : 1.0 ≥ 인정기준값 - 인정평가값 > 0.5인 경우
- 인정불가 : 인정기준값 - 인정평가값 > 1인 경우

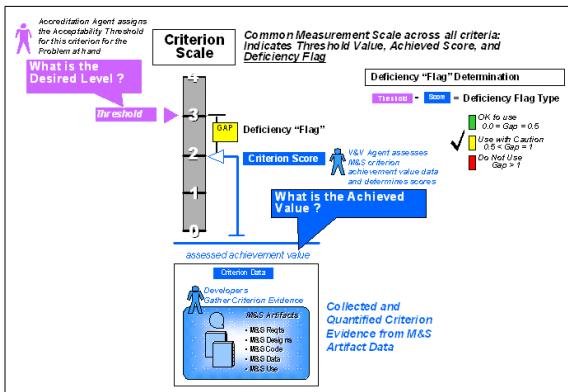


Fig. 5. 인정추천 기준(허용희망값과 달성값과의 비교)

5. 결론

C4I체계의 시험평가 목적은 C4I체계의 유용성 및 비용 대 효과 분석측면에서 유리성을 평가하기 위하여 적시에, 정확하고, 적절한 정보를 의사결정자에게 제공하고, 획득과 관련된 위험 요소를 식별하여 획득 위험을 감소시키며, 획득관련기관으로 하여금 운용측면에서 효과도 및 적합성이 높은 C4I체계가 획득되도록 보증하는데 있다.

C4I체계 개발과정 중 M&S를 활용한 시험이 가능한 부분에 한해 M&S에 의한 자체시험을 실시하여 그 결과를 공개하고, 개발시험 및 운용시험평가지 실 환경시험을 실시함으로써 M&S의 유용성을 입증할 필요가 있다. C4I체계는 다품종 SW의 체계통합과 분산 네트워크상의 다수 사용자 운용에 따른 체계성능, 타체계연동의 기능 및 성능상 수용능력 등을 시험불가 및 제한항목에 대해서 M&S에 의한 시험평가를 실시하고 M&S의 신뢰성 보장은 지정기관이 하는 것으로 명시함이 바람직하다. 현재 M&S VV&A에 관한 규정, 지

침, 소요군의 인식 부족 등 VV&A 환경이 미흡한 상태에서 적용방안을 발전시키려면 VV&A 활동을 통해서 기법을 숙달하여 한국 C4I체계 개발 실정에 맞도록 맞춤화하여 개선방안을 지속적으로 발굴해야 할 것이다.

C4I체계는 작전개념의 변화에 신속하게 대처하고, 기술 발전 추세와 사용자 요구사항을 즉시 대응할 수 있는 체계개발 및 신뢰성있는 시험평가에서의 제도적 및 기술적 개선이 필요하며, 많은 이해관계자의 지속적 관심과 발전을 기대한다.

향후 한국군의 지휘통제체계 상호운용성 시험평가를 시 국방 M&S 적용 시험사례와 시험시나리오를 분석하고, DMSO VV&A RPG 및 현 적용사례를 중심으로 M&S VV&A 적용결과와 실제 시험결과를 구체적으로 비교분석하여 제시하고자 한다.

Reference

- [1] 박남희, “미군의 C4I 관련 정책 및 기술방향”, 2006. 6.
- [2] 합동참모본부, “NCW 구현을 위한 지휘통제·통신 발전 방향”, 제2회 무기체계 상호운용성 발전 세미나 발표자료, 2008. 5.
- [3] 김병선, “한국군 C4I체계의 실태 및 발전방안에 대한 연구”, 석사학위논문, 한남대학교 경영대학원, 2006. 12.
- [4] 신현인, 박수현, “모델링 및 시뮬레이션에 의한 평가”, 국방정책연구, 2000.
- [5] 김경희, “NCW기반 지휘통제체계 침입감내프락시 서버설계 연구”, 한국정보보호학회 하계학술대회, 2009. 6.
- [6] 최상영, “M&S 신용성 향상을 위한 VV&A 적용 방안”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 60~71, 2006.
- [7] 김형현, “국방 M&S VV&A 적용 및 발전방안 연구(시험평가를 위한 M&S를 중심으로)”, 한국시뮬레이션학회, 2009.
- [8] DMSO, Key Concepts of VV&A, VV&A RPG, 2006. 9.
- [9] C4I체계 시험평가 모델, 과정, 절차 개발연구, 방위사업청/아주대, 2008.
- [10] RTO-TR-MSG-019, “Validation, Verification and Certification of Embedded Systems”, 2005. 10.