

국방 M&S 체계 TRA 개선방안 연구

이동준^{1)*}, 김용선¹⁾, 이상복¹⁾, 노광현¹⁾, 윤주일¹⁾

1) 한성대학교 국방 M&S 인정기술 연구원

Study on the Improvement of Defense M&S System TRA

Dong joon Lee^{1)*}, Yong seon Kim¹⁾, Sang bok Lee¹⁾, Kwang hyun Ro¹⁾, Ju il Yoon¹⁾

1) Defense Institute of Accreditation Technology Research, Hansung University

Abstract : We recognize the problem that the existing TRA system of the Defense Acquisition Program Administration is designed with a focus on HW and is not suitable for a system that combines HW and SW such as the M&S system, and propose a plan to improve it. By proposing a TRA checklist and evaluation criteria suitable for the M&S system, we aim to contribute to increasing the efficiency of technology maturity assessment and reducing the risk of weapon system research and development. To this end, we analyzed the existing HW-centric TRA standards and derived a TRA evaluation methodology suitable for the M&S system by referring to SW-centric TRA cases in the civilian ICT field. We presented a checklist for specific CTE and TRL evaluations and presented a case study on the complex military training M&S system. This will contribute to the evaluation of technological maturity, which plays a key role in preliminary research on the defense M&S system.

Key Words : Defense Modeling & Simulation, TRL, TRA, CTE

Received: November 20 2024 / **Revised:** December 12, 2024 / **Accepted:** December 25, 2024

* Corresponding Author : Dong Joon Lee / Defense Institute of Accreditation Technology Research, Hansung University
/ kopoleon@hansung.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment, TRA)는 필요한 핵심 기술의 성숙도를 평가하여, 해당 기술이 적용 가능한 수준에 도달했는지를 판단하는 데 적용한다. 이는 기술 개발 단계에서 발생할 수 있는 위험 요소를 최소화하고, 연구개발 과정의 효율성을 증대시키기 위해 사용하고 있다.[1] TRA는 기술의 성숙도를 1에서 9까지 단계로 나누어 평가하며, 각 단계는 연구 초기 단계부터 상용화 적용까지의 성숙도를 반영한다.

현재의 무기체계 TRA는 기존의 무기체계 대부분이 하드웨어(HW) 중심의 무기체계에 적용됐으므로 HW 기반의 기술적 성숙도를 정의하고 평가하는 체크리스트로 구체화하여 있다. 그러나 최근 무기체계 특성이 소프트웨어(SW)의 비중이 증가하여 이를 반영하는 세부 적용 기준에 대한 발전이 필요하다. 특히, 모델링 및 시뮬레이션(Modeling & Simulation, M&S) 체계의 경우는 HW와 SW가 혼합된 형태를 가지고 있고, 규정에 의거 무기체제로 분류되는 M&S의 경우는 대부분 SW 위주의 체계이다.

본 연구는 기존 TRA 관련 기준이 HW 중심으로 설계되어 M&S체계와 같이 HW와 SW가 결합하고 특히, SW 중심인 체계에 적용하는 데에는 어려움이

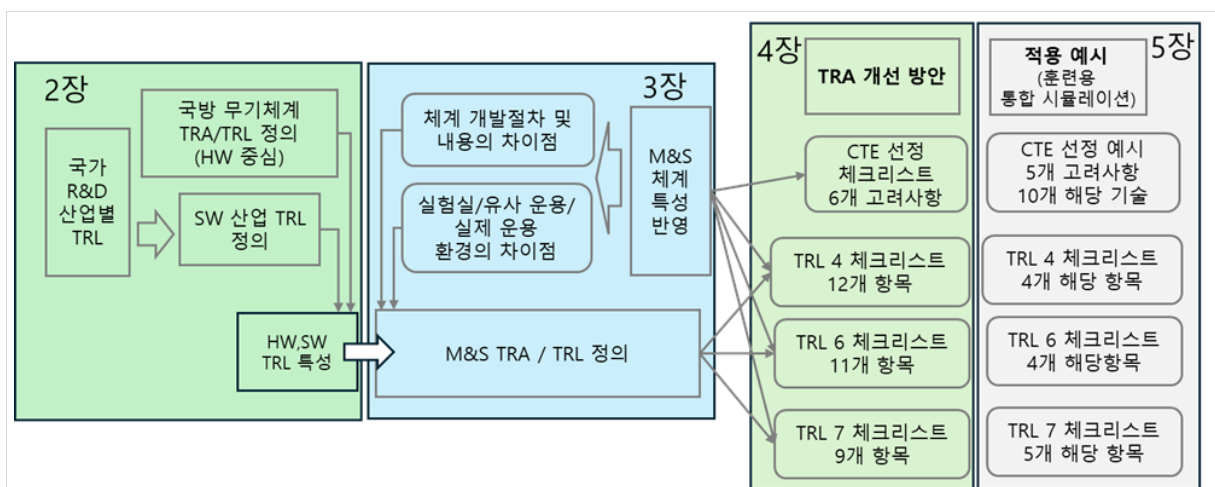
있으므로 이에 대한 개선 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. M&S 체계 특성에 부합되는 TRA를 위하여 평가 기준과 체크리스트를 제시하고 기술성숙도 수준(Technology Readiness Level, TRL), 핵심기술요소(Critical Technology Elements, CTE)의 사례를 제시하여 TRA의 효율성을 높이고 M&S체계 연구개발의 위험을 줄이는 데 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 기술성숙도 평가의 기본 개념과 평가의 대상이 되는 무기체계에서의 TRL, 국가 연구개발에서의 TRL 기본 개념 특히 SW에 적용되고 있는 TRL을 분석한다. 그리고 M&S 체계의 특성에 따른 CTE와 TRL을 정의하여 M&S 체계에 적합한 TRA 개선 방안을 제시한다. 그리고 이를 바탕으로 세부 체크리스트와 평가 기준을 제안하고 TRA 개선 방안의 적용 사례를 제시한다.

1.2 연구 전개

본 연구는 M&S 체계 TRA 개선방안의 도출하고 이를 적용하는 예시를 제시한다. 본 연구의 논리 전개와 논문의 구성은 그림 1과 같다.

M&S체계는 SW중심이고 HW와도 통합하는 복합체계이다. 2장에서는 HW 중심 국방 무기체계에 적용하는 관련규정을 분석하고 국가 R&D 분야 중 SW 산업에 적용하는 TRA/TRL 특성을 통해 M&S



[Figure 1] Research flow chart

체계에 반영할 시사점을 도출하였다.

3장은 M&S체계와 무기체계의 개발 특성 분석을 통해 기술적 성숙과정을 연구하고 TRL의 정의에서 사용되는 환경(실험실, 유사운용환경, 운용환경)의 차이점을 분석하였으며, 2장에서 도출한 시사점을 반영하는 M&S체계의 TRL을 크게 3개 수준으로 정의하였다.

4장은 개선 방안 제안으로 현재 관련 규정의 부족으로 사용 중인 국방 무기체계 TRL 수준별 정의, CTE 체크리스트, TRL 체크리스트 4,6,7에 대하여 3장에서 연구한 방향성과 핵심관점을 기초로 용어와 설명을 조정하였다. 즉, 기존 규정의 구조, 구성, 개념들을 변경하는 것이 아니라 이에 포함된 용어와 개념에서의 차이를 반영한 개선방안이다.

또한 4장에서 관련 규정과 동일한 수준의 표현은 다소 원칙적이고 공통적 사항이므로 보다 명확한 이해를 위하여 실제 사업에서 적용할 수 있는 TRA 예시로 5장에서는 군사훈련용 복합 시뮬레이션 체계를 가정하여 해당 체계에 적용하는 CTE 선정방법, TRL 4,6,7 핵심 체크리스트를 제시하였다.

따라서 본 연구의 표는 모두 관련사항들이 연계되어있다. TRL을 도출하기 위해 2장의 표 1,2는 3장의 표 6, 4장의 표 8,9,10과 연계하여 작성하였다. SW,HW TRL특성 2장의 표 3,4와 M&S 체계 특성인 3장의 표 5는 M&S TRL인 표 6에 반영하였다. 5장의 표 11은 4장의 표 7을 적용한 결과이며, 5장의 12,13,14는 4장의 8,9,10을 적용한 결과이다.

2. TRA 및 TRL

2.1 기술성숙도 평가(TRA)

TRA는 연구개발을 위한 국내 기술 수준을 판단하고 기술적 위험을 사전 식별하여 대안 수립 등 위험을 관리하는 목적으로 무기체계에 적용되는 CTE들이 어느 정도로 성숙되어 있는지를 정량적으로 평가하는 공식적인 프로세스이다. 방위사업청의 TRA

대상사업은 선행연구, 탐색개발, 탐색/체계개발 통합 사업, 신개념기술시범(ACTD)사업 및 핵심기술 연구개발(시험개발)사업이며 이는 대부분이 무기체계를 전제로 한다.[9]

TRA는 특히 무기체계의 주요 구성 요소인 센서, 무기, 통신 장비 등의 HW 기술에 대해 적용되어 왔다. 이러한 기술들은 비교적 명확한 성능 기준과 테스트 방법론을 가지고 있기 때문에 기술성숙도를 평가하는 데 있어서 일정한 표준을 적용하기 용이하다. 이에 따라 HW 중심 무기체계에서 TRA는 기술성숙도를 평가하고, 프로젝트의 진행 여부를 결정하는 데 중요한 기준으로 사용되고 있다.

이러한 TRA의 과정과 결과에 대해 여러 가지 발전 방향이 발표되었다. 현재의 규정이 기술성숙도를 평가하는 평가팀의 주관적 견해가 반영될 가능성을 고려하여 TRA를 객관적으로 판단하는 방법이 연구되었다.[2] 현재의 무기체계 중심 TRA를 기초로 핵심 기술 사업의 TRA에 대해서도 연구하였다.[3]

또한 TRL의 평가방법과 절차에 관한 연구에서는 미 국방부와 국가 연구개발의 산업별 구분 평가지표를 무기체계에 적용하는 방안과 사례를 제시하였다.[4] 그리고 시스템 통합관점에서 TE부터 CTE까지 HW, SW 및 IF(Interface) 기술을 별도로 구분하고 시스템 통합 관점으로 TRA 수행방안에 대한 연구가 수행되었다.[5]

국내에서는 M&S 체계 TRA에 대한 연구는 없으나, 해외에서는 TRA 관점에서 M&S 기술성숙도에 대한 연구는 V&V 관점과 SW 품질의 일반적 성숙도 모델에 관한 연구이며, SW의 능력 성숙도 CMM(Capability Maturity Model)관점에서 M&S 체계의 성숙도에 대한 연구 등이 있다. 이들 연구는 M&S체계의 구성 기술적 관점보다는 체계의 통합 성숙도 관점에서 연구되었다.[6],[7],[8]

2.2 기술성숙도 수준 (TRL)

CTE의 수준을 정의하는 TRL은 해당 기술이 무기체계에 적용되기 위해 어느 정도 준비가 되었는지를 나타내는 정량적인 수준으로 9개의 수준별 정의

를 하고 있다.[9]

국가 연구개발사업의 경우 기초연구, 실험, 시제품, 실용화, 양산의 R&D 5단계와 9개의 세부단계로 분류하며, 기술유형(시스템, 공법·기법, 재료·소재, 소프트웨어, 장비·장치 등)에 따라 TRL 단계 정의가 다르다. 국가연구개발의 TRL 수준별 정의를 연구개발 환경((실험실, 유사환경, 실제), 단계별 결과물(시제품, 완제품), 기술수준(개념, 시현, 성능검증)관점에서 정리 분석한 내용은 표 1과 같다.[10]

〈Table 1〉 Phased definition of national research and development of Technology Readiness Level

수준	연구개발 환경	연구개발 결과물	기술수준
TRL 1	기초실험	기본 원리 발견	개념
TRL 2		기술개념과 적용분야의 확립	개념 정립
TRL 3	(실험실 환경) 분석과 실험을 통한		기본성능 검증 기술개념 검증
TRL 4	연구실 환경에서의	Working Model 개발	부품/체계 성능검증
TRL 5	유사환경에서의	장치/체계 시제품 제작	Working Model 검증
TRL 6	유사환경에서의	시제품 Prototype 개발	성능 평가
TRL 7	실제환경에서의	시제품	신뢰성 평가 시제품 데모
TRL 8	(실제환경)	시제품 상용제품	인증 시험평가 및 신뢰성 검증
TRL 9	(실제환경) 사업화	상용제품 생산	

국가연구개발 사업의 기술유형 중 소프트웨어 유형 정의와 무기체계의 TRL 정의는 표 2과 같다.[10],[11]

무기체계의 하드웨어 중심 시스템은 정량적 수치를 기준으로 성능평가가 가능하여 기술적 성숙도를 정량적으로 범위를 지정할 수 있으나, SW 중심 시스템은 그 성숙도를 평가하기 위한 명확한 물리적 성능 기준보다는 기능적 완성도, 테스트 가능성, 코

드의 안정성 등을 기준으로 성숙도를 평가하고 있다.

〈Table 2〉 Comparing Technology Readiness Level

구분	소프트웨어 유형	무기체계
수준	정의	정의
TRL 1	기본적인 원리 관찰 및 파악	기본 원리 이해 단계
TRL 2	기술적 응용개념 형성	기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계
TRL 3	개념실험 가능성 입증 및 알고리즘	주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념 입증 단계
TRL 4	일부 데이터로 개별기능 및 모듈실험	실험실 환경에서 구성품 또는 조립품(Breadboard) 수준의 성능 입증 단계
TRL 5	개별 기능 및 모듈 통합 가능성 검증	유사 운용환경에서 구성품 또는 조립품(Breadboard) 수준의 성능 입증 단계
TRL 6	SW 프로토타입 성능 및 신뢰성 평가	유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 성능 시험 단계
TRL 7	실제환경에서 프로토타입 모델의 사용가능성 증명	운용환경에서 체계 시제품의 성능 시연 단계
TRL 8	SW 완제품의 제한된 실제현장 사용가능성 증명	시험 및 시범을 통해서 실제체계의 완성 및 시연 단계
TRL 9	실제 현장 사용적합성 증명	성공적인 임무 운용을 통한 실제체계의 입증 단계

무기체계의 실험실 환경은 구성품 또는 조립품의 기능을 실험하기 위해 구성된 환경이고 유사운용환경은 기술의 성능에 영향을 미치는 조건을 고려하여 모델링 및 시뮬레이션(M&S), 가상현실 등 인위적으로 구성한 환경이다. 그리고 운용환경은 최종 체계에서 요구되는 모든 운용조건을 포괄하는 환경이다.

이에 비해 SW 유형은 일부 데이터로 개발 기능 및 모듈을 실험하고, 통합가능성을 검증하고, 실제 환경에서 프로토타입이나 완제품으로 증명하는 과정으로 한다.

2.3 HW, SW 중심 체계의 TRL 분석

기술의 유형에 따라 각 환경에서의 성숙도 기준

의 정의와 그 평가 방식이 다르게 적용될 수 있다. TRL을 연구개발의 수준을 달성하는 환경 측면에서 보면 이론적 연구 단계(TRL 1-3), 연구실 개발 단계(TRL 4-6), 그리고 실제 환경 적용 단계(TRL 7-9)로 구분할 수 있다.

실험실, 유사환경, 운용환경에서 HW 중심의 무기체계는 물리적 성능과 실험적 검증이 중요하며, 이를 정리하면 표 3과 같다.

<Table 3> TRL of the HW central system

단계		설명
TRL 1-3	이론적 연구 및 개념 정의 단계	개념 연구와 이론적 기초가 이루어지는 단계이다. HW 중심 체계에서는 이론적 개념이 도출되고, 물리적 성능 요구사항이 정의된다. 실제 장비가 개발되지는 않으며, 개념이 주로 문서화되고 검토되는 단계
TRL 4-6	실험실 환경에서의 개발 및 검증 단계	실험실 환경에서 초기 프로토타입이 제작되고, 성능 시험이 이루어지는 단계이다. HW 구성 요소는 제한된 실험실 환경에서 검증되며, 실험실 내에서 다양한 조건을 가정한 성능 테스트를 통해 개발의 완성도를 높인다.
TRL 7-9	실제 운영 환경에서의 통합 및 완성 단계	HW 체계가 실제 운용 환경에서 테스트된다. 초기 개발된 프로토타입이 실제 전장 환경이나 군사적 운영 조건에서 성능을 검증받으며, 모든 성능 요구사항이 충족된 후 체계는 실전에 배치된다.

SW 중심 체계에서는 기능적 완성도와 코드의 안정성을 평가가 중요하다. 이를 정리하면 표 4와 같다. 국방 분야에 대표적인 SW 중심체계는 전장관리 체계로 전술지휘통제시스템이다. 이러한 시스템은 HW와 달리 지속적인 진화가 요구되는 시스템으로 정적인 성능시험보다는 지속적인 버그수정과 성능 개선작업이 진행된다.

M&S 체계는 가상세계를 구현하는 HW와 SW의 복합 시스템이므로 기존의 HW 중심 또는 SW 중심의 TRL 정의로는 M&S 체계의 복합성을 제대로 반영하지 못하는 문제점이 있다.

<Table 4> TRL of the SW central system

단계		설명
TRL 1-3	이론적 연구 및 알고리즘 설계 단계	초기 설계 문서와 코드 구조가 작성되며, SW의 개념적 가능성이 검토되는 단계이다. 이 단계에서는 아직 실질적인 코드 개발은 이루어지지 않는다.
TRL 4-6	실험실 환경에서의 개발 및 테스트 단계	SW는 실험실 환경에서 구현되고, 초기 기능이 개발된다. 실험 환경에서 기능 테스트와 성능 검증이 이루어지며, 체계는 제한된 사용자 환경에서 시험되기도 한다. 버그 수정과 성능 개선 작업이 계속 진행되는 단계이다.
TRL 7-9	실제 운영 환경에서의 테스트 및 상용화 단계	SW는 실제 사용 환경에서 테스트된다. 다양한 운영 환경에서 성능을 평가하고, 오류 수정 및 최적화 과정을 통해 안정화된다. 이후, 최종 SW는 상용화되거나 군사적 목적에 따라 배포된다.

HW 중심 TRL은 물리적 시험과 성능 검증에 중점을 두고 있어, SW와의 상호작용이나 SW 기반 시뮬레이션의 정확성은 충분히 평가하지 않는다.

SW 중심 TRL은 기능적 완성도와 코드의 안정성에 집중하지만, HW와 통합된 상태에서의 성능 변동을 고려하지 않는다.

3. M&S 체계의 특성 및 TRL 적용

3.1 M&S 체계의 특성

M&S체계는 무기체계의 개발절차와 내용에서 다음과 같은 차이점이 있다.

M&S 체계는 가상 세계에서의 시뮬레이션을 목적으로 하기 때문에, 단순한 HW 성능 평가뿐만 아니라 개념 모델을 바탕으로 한 SW와 HW의 통합적 평가가 필요하다.

M&S 체계는 가상세계를 정의하고 구현하는 것이므로 환경에 대해 본 연구에서는 다음과 같이 정의하였다.“실험실 환경”이란 구성 모델의 기능을 실험하는 SW, HW 환경이며, “유사 운용 환경”이란

가상세계에 대한 개념 모델(모의범위와 모의수준)과 M&S 체계의 구성 모델이 유사한 M&S 환경이다. “운용 환경”은 사용의도(목적, 용도)에 부합된 운용 요구조건을 충족하는 환경이다.

〈Table 5〉 Differences between weapon systems and M&S systems

사업진행/관리 SE Process			M&S 체계 개발	무기체계 개발
선행 연구	ORD		M&S 요구사항 정의	
(탐색 개발)	SRR	요구 개발	운용요구개발	요구사항분석
			체계요구개발 및 분석	요구사항분석
			요구사항 확인	
체계 개발	(SRR) SFR PDR CDR	체계 설계	개념모델 개발	
			개념모델 확인	
			기능 분석	체계설계, 구조설계
	TRR DT /OT	체계 개발	설계 통합	구조설계, 모듈설계
			설계 검증	
		체계 시험	개발 환경 구축	제작/구현
			체계 설계 구현	제작/구현
			체계 검증	단위시험, 통합시험
			체계 확인	체계를시험, 수락시험

3.2 M&S 체계에 적합한 TRL 정의

M&S 체계의 특성에 맞는 TRL 정의는 기존 HW나 SW 중심의 TRL 정의와는 달리, 가상세계를 정의하는 개념모델의 수립과 HW/SW 두 요소의 상호작용 및 통합 성능을 중심으로 한 평가가 필요하다. 이론적 연구 단계(TRL 1-3)에서는 구현해야 하는 가상세계에 대한 정립과 이를 표현하는 모델에 대한 이론적 연구와 HW와 SW 간의 통합 가능성을 연구하는 것이 중요하며, 실험실 환경(TRL 4-6)에서는 개념모델이 프로토타입으로 구현되고, HW/SW 두 요소가 실제로 어떻게 상호작용하는지를 검증해야 한다. 또한, 실제 운영 환경(TRL 7-9)에서는 개념모델이 HW와 SW가 통합된 상태에서 얼마나

안정적이고 정확하게 시뮬레이션이 수행되는지를 평가해야 한다.

M&S 체계는 HW와 SW가 결합된 복합적 특성을 가진 체계일 경우에는 두 요소의 상호작용과 통합 성능을 평가하는 것이 핵심이다. M&S 체계의 TRL 환경도 이론적 연구 단계, 실험실 개발 단계, 실제 운영 환경 단계로 나눌 수 있으며, 다음과 같이 정의하였다.

〈Table 6〉 TRL of the M&S system

단계		설명
TRL 1-3	이론적 연구 및 개념 개발 단계	M&S 체계의 경우 이론적 연구는 모델링 기법과 시뮬레이션 알고리즘의 설계에 초점을 맞춘다. 이 단계에서는 M&S 체계에서 사용될 HW와 SW 요소의 개념적 통합 가능성이 연구되고, 시뮬레이션에 필요한 데이터와 프로세스가 정의된다. 실제 구현 이전의 이론적 연구가 주를 이루는 단계이다.
TRL 4-6	실험실 환경에 서의 개발 및 통합 검증 단계	HW와 SW의 초기 통합이 이루어지며, 실험실 환경에서 M&S 체계의 성능을 평가한다. HW 장비와 SW 알고리즘 간의 상호작용이 실험실 내에서 검증되며, 시뮬레이션 결과의 정확성, 데이터 처리 성능 등이 테스트된다. 체계의 통합 성능을 집중적으로 평가하는 단계이다.
TRL 7-9	실제 운영 환경에 서의 테스트 및 완성 단계	M&S 체계가 실제 운영 환경에서 시험된다. HW와 SW의 상호작용이 실제 환경에서 얼마나 잘 통합되고 기능하는지에 대한 종합적인 평가가 이루어진다. 특히, 군사적 시나리오나 전장 환경에서의 시뮬레이션 성능이 검증되며, 최종적으로 체계의 실전 적용 여부가 결정된다.

4. M&S 체계에 적합한 TRA 개선 방안

4.1 기존 TRA 체크리스트 분석

기존 기술성숙도 평가(Technology Readiness Assessment, TRA)는 주로 하드웨어(HW) 중심의

체계를 평가하기 위한 기준으로 설계되었다. 무기체계 개발 과정에서 TRA는 각 기술의 성숙도를 체계적으로 평가함으로써 기술적 리스크를 최소화하고 프로젝트의 성공 가능성을 높이는 역할을 해왔다. 그러나 M&S 체계는 HW와 소프트웨어(SW)가 결합된 복합적 특성을 가지고 있어, 기존의 HW 중심 TRA 평가로는 M&S 체계의 성숙도를 충분히 평가하기 어렵다는 한계가 있다.

기존 TRA 체크리스트는 주로 HW 성능 검증 및 물리적 시험에 중점을 두고 있으며, SW의 상호작용이나 시뮬레이션 정확성을 충분히 반영하지 못한다. 특히, M&S 체계의 핵심인 개념 모델의 완성도를 평가하는 항목이 부재하다. 개념 모델은 가상 세계를 정의하는 데 있어 중요한 기준이 되며, 이를 통해 M&S 체계의 가상 환경이 실제 운영 환경과 얼마나 일치하는지를 정의한다. 기존 체크리스트는 물리적 구성 요소나 체계 기능에만 초점을 맞추고 있어, 가상 세계를 정의하는 개념 모델의 평가가 이루어지지 않는 문제점이 있다.

따라서 M&S 체계의 TRA 개선을 위해서는 HW와 SW의 통합적 성능 평가뿐만 아니라, 개념 모델의 완성도와 그로 인한 가상 세계의 정의를 평가하는 항목이 추가적으로 필요하다. 이러한 개선 없이는 M&S 체계의 성숙도를 정확하게 평가하기 어렵다.

4.2 M&S 체계에 대한 TRA 체크리스트 제안

M&S 체계에 대한 TRA 체크리스트는 HW와 SW의 통합 성능뿐만 아니라, 개념 모델을 중심으로 가상 세계의 정의와 시뮬레이션 성능을 평가할 수 있는 항목으로 구성되어야 한다. 아래는 개념 모델 평가를 포함한 M&S 체계에 적합한 TRA 체크리스트의 주요 항목들이다.

① HW 및 SW 통합 성능 검증

M&S 체계의 HW와 SW가 원활하게 상호작용하는지 검증하고, 통합된 체계의 성능을 평가해야 하고, 가상 환경에서 HW와 SW의 상호작용이 실제 무기체계 환경과 유사한지 여부를 평가해야 한다.

② 가상 환경에서의 성능 입증

M&S 체계의 성능이 가상 환경에서 정확하게 시뮬레이션될 수 있는지 평가해야 한다. 시뮬레이션 결과가 실제 무기체계 운용 환경과 유사한지 검증하고, 시뮬레이션의 정확도를 평가해야 한다.

③ 개념 모델 평가

M&S 체계의 개념 모델이 얼마나 완성도 높게 설계되었는지, 그리고 그 모델이 가상 세계를 어떻게 정의하는지를 평가해야 한다. 개념 모델이 가상 환경을 현실적으로 묘사할 수 있는지 여부, 가상 세계의 요소들이 실제 환경과 얼마나 일치하는지 검증해야 한다. 또한 개념 모델이 M&S 체계의 핵심 구조로서 가상 환경을 설계하고 운영하는 기준이 되는지 평가해야 한다.

④ SW 알고리즘의 성능 평가

M&S 체계의 SW 알고리즘이 가상 환경에서 요구되는 성능을 충족하는지 평가해야 한다. 알고리즘의 성능을 실시간으로 테스트하고, 시뮬레이션 결과의 일관성을 평가해야 한다.

⑤ 데이터 처리 및 상호 연동성 평가

M&S 체계에서 사용되는 데이터의 처리 능력과 SW 모듈 간의 연동성을 평가해야 한다. 데이터의 일관성, 처리 속도, 그리고 다양한 모듈 간의 데이터 교환이 원활한지 아닌지를 검증해야 한다.

⑥ 시뮬레이션 결과 검증

시뮬레이션 결과가 초기 설계 목표와 일치하는지 검증하고, 결과의 신뢰성을 평가해야 한다. 시뮬레이션의 결과가 실제 무기체계의 성능과 어느 정도 일치하는지 비교 평가해야 한다.

이와 같은 체크리스트 항목을 적용함으로써, M&S 체계의 특성을 반영한 보다 체계적인 기술성숙도 평가가 가능해질 것이다. 특히, 개념 모델 평가를 추가함으로써 가상 세계를 정의하는 기준이 명확해지고, M&S 체계의 신뢰성 강화에 기여할 것이다.[12] 이러한 개선된 체크리스트는 M&S 체계의

개발 리스크를 최소화하고, 무기체계 연구개발 과정에서 기술적 성숙도를 보다 정확하게 평가하는 데 기여할 것이다.

4.2.1 M&S CTE 선정 체크리스트

<Table 7> M&S CTE Selection Checklist

	항목	내용	평가 기준
1	이 기술이 운영 요구 사항, 비용 또는 일정에 큰 영향을 미치는가?	M&S 체계의 경우 하드웨어와 소프트웨어 또는 특정 시뮬레이션 기술의 통합이 운영 목표 달성, 프로젝트 비용 관리 또는 개발 일정 준수에 중요한 영향을 미치는가?	비용 편익 분석, 일정 영향 및 운영 요구 사항과의 연계를 보여주는 문서
2	이 기술은 개발 또는 시연 중에 실패 위험이 있는가?	M&S 체계의 구성 요소, 특히 혁신적인 시뮬레이션 알고리즘이나 하드웨어 통합이 개발 또는 테스트 중에 심각한 오류 위험을 안고 있는가?	위험 분석 및 실패 모드 문서화.
3	이 기술은 무기 체계 응용 분야에서 새로운 기술이며 테스트되지 않았는가?	M&S 체계 기술 또는 그 특정 부분은 이전에 국방이나 무기체계 환경에 적용되지 않은 새로운 개발인가?	기술 준비도 및 적용 내역 보고서.
4	이 기술이 이전에 성공적으로 적용되었다면 현재 개발에 중요한 변경이나 수정이 있는가?	M&S 기술이 이전에 사용된 경우 새로운 위험이나 과제를 초래할 수 있는 수정 (예: 새로운 알고리즘, 통합 방법)이 있는가?	과거 적용 문서화 및 현재 변경 사항 분석.
5	이 기술이 새로운 운영 환경에 적용되고 있는가?	M&S 체계 또는 그 핵심 구성 요소가 이전에 테스트되지 않은 다른 운영 환경 (예: 새로운 방어 시나리오 또는 하드웨어 체계)에 적용되고 있는가?	환경 적응성 및 작동 테스트 보고서.
6	이 기술은 초기 설계 목표나 성능 요구 사항 이상으로 개발되어야 하는가?	M&S 체계 또는 핵심 요소는 현재 프로젝트의 요구 사항을 충족하기 위해 원래 설계 또는 의도된 운영 목표를 초과하는 성능 향상이 필요한가?	설계 문서 성능 사항 분석.

4.2.2 M&S TRL 체크리스트

4.2.2.1 TRL 4 체크리스트

TRL 4는 실험실 환경에서 M&S 체계의 기본적인 성능을 검증한다. HW와 SW의 통합, 가상 장비의 재현성, 그리고 기본적인 작전 수행 기능이 제대로 구현되는지를 평가하는 것이다. ① 확인된 사용자 요구 사항, ② 실험실 환경 구축, ③ 구성 요소에 대해 입증된 기본 성능, ④ 작업분류체계(WBS) 개발, ⑤ 연구소 또는 외주업체에서 수행한 구성 요소 테스트, ⑥ 구성모델 개발을 위해 수행된 모델링 및 시뮬레이션, ⑦ 실험실에서 검증된 구성 요소의 상호 운용성, ⑧ 요구사항 도출을 위해 수행된 기능 분석, ⑨ 의사 코드 형식으로 구현된 알고리즘, ⑩ 분석된 데이터 요구 사항 및 형식, ⑪ 재사용 가능한 소프트웨어 모듈 개발, ⑫ 실험실에서 시연되는 개별 기능 또는 모듈을 주요내용으로 하며 세부 내용은 다음 표와 같다.

<Table 8> M&S TRL 4 Checklist

	항목	내용	평가 기준
1	사용자 요구사항 식별	M&S 체계의 사용자 요구사항이 명확하게 식별되고 문서화되었는가?	성능, 정확성, 신뢰성, 요구사항 문서.
2	실험실 환경 구축	M&S 체계 구성 요소를 테스트할 실험실 또는 통제된 환경이 구축되었는가?	실험실 환경 설정 문서.
3	구성 요소의 기본 성능 검증	M&S 체계의 개별 구성 요소가 실험실 환경에서 성능을 검증받았는가?	테스트 보고서.
4	작업 분할 구조(WBS) 개발	M&S 체계 개발을 위한 작업 분할 구조(WBS)가 개발되었는가?	WBS 문서.
5	구성 요소 테스트 수행	실험실에서 M&S 구성 요소가 테스트되었거나 외주업체에서 테스트가 수행되었는가?	테스트 로그 및 보고서.

	항목	내용	평가 기준
6	구성 모델 개발을 위한 시뮬레이션 수행	구성 요소의 설계 및 개발을 위해 시뮬레이션이 사용되었는가?	시뮬레이션 결과.
7	구성 요소 간 상호운용성 검증	구성 요소의 상호운용성이 실험실 환경에서 검증되었는가?	통합 테스트 결과.
8	요구사항 도출을 위한 기능 분석 수행	체계 요구사항 도출을 위한 기능 분석이 이루어졌는가?	기능 분석 보고서.
9	의사 코드 형식의 알고리즘 구현	시뮬레이션 체계의 핵심 알고리즘이 의사 코드 형태로 구현되었는가?	의사 코드 문서 및 테스트.
10	데이터 요구 사항 분석	데이터 요구 사항, 형식, 소스가 분석되었는가?	데이터 요구 사항 분석 문서.
11	재사용 가능한 소프트웨어 모듈 개발	향후 M&S 체계에 재사용할 수 있는 소프트웨어 모듈이 개발되었는가?	재사용성을 입증 하는 문서 및 코드.
12	개별 기능 및 모듈 검증	실험실 환경에서 개별 기능이나 모듈이 성공적으로 시연되었는가?	테스트 결과 및 로그.

4.2.2.2 TRL 6 체크리스트

TRL 6 단계에서는 유사 운용 환경에서 M&S 체계의 성능을 검증한다. ① 확인된 다른 기술 및 기능과의 상호 작용, ② 확인된 운영 환경, ③ 유사 환경에서 수행된 시뮬레이션, ④ 유사 환경에서 수행되는 하위 체계 또는 전체 체계 테스트, ⑤ 유사 환경 구축, ⑥ 유사 환경에서 개발 및 테스트된 하위 체계/체계 모델, ⑦ 공학적 타당성 입증, ⑧ 문서화된 외부 인터페이스 사양, ⑨ 분석된 시간 제약 조건, ⑩ 데이터베이스 구조 및 인터페이스 분석 완료, ⑪ 하위 체계 수준에서 통합된 하드웨어 및 소프트웨어, ⑫ 상호 연결된 소프트웨어 모듈, ⑬ 제한된 소프트웨어 출력 제공 등이며 세부 내용은 다음 표와 같다.

<Table 9> M&S TRL 6 Checklist

	항목	내용	평가기준
1	상호작용 분석	M&S 체계와 다른 기술/기능 간 상호작용이 분석되었는가?	상 호 작 용 분석 문서, 운영 환경 요구 사항.
2	운영 환경 요구 정의	적용될 무기체계의 운영 환경이 명확히 정의되었는가?	
3	유사 환경 성능 검증.	유사한 운영 환경에서 시뮬레이션을 수행하여 성능을 검증했는가?	시뮬레이션 결과, 유사 환경에서의 테스트 보고서.
4	유사 환경 통합 시험	서브체계 또는 전체 체계가 유사 환경에서 테스트되었는가?	
5	모델 개발 및 검증	실제 운영 체계와 일치하는 서브체계/체계 모델이 개발 및 테스트되었는가?	모델 개발 및 테스트 문서, 엔지니어링 검증 보고서
6	공학 검증	서브체계 또는 체계 모델의 공학적 타당성이 검증되었는가?	
7	데이터베이스 분석	데이터베이스 구조와 인터페이스가 분석 및 확인되었는가?	데이터베이스 분석 문서, 인터페이스 사양 문서.
8	외부 인터페이스 분석	외부 인터페이스 사양이 문서화되었는가?	
9	HW/SW 통합	하드웨어와 소프트웨어가 서브체계 수준에서 성공적으로 통합되었는가?	서브체계 통합 테스트 보고서, 모듈 연결 테스트 결과.
10	모듈 상호연결성	소프트웨어 모듈들이 원활하게 상호연결되었는가?	
11	초기 소프트웨어 출력 제공	초기 단계 평가를 위한 제한된 소프트웨어 출력을 제공할 수 있는가?	소프트웨어 출력 기능 증명 문서.

4.2.2.3 TRL 7 체크리스트

TRL 7 단계에서는 실제 운용 환경에서 M&S 체계의 성능을 검증하는 것이다. ①체계 및 소프트웨어 인터페이스의 스트레스 테스트 완료, ② 운영 환경 구축, ③ 시뮬레이션된 운영 환경에서 시연된 대부분의 기능, ④ 대표 환경에서 테스트된 체계, ⑤ 실제 또는 시뮬레이션 환경에서 시연되는 완전 통합형 프로토타입, ⑥ 현장 환경에서 성공적으로 테스트

트된 프로토타입, ⑦ 사용할 수 없는 체계 요소에 사용되는 모델링 및 시뮬레이션, ⑧ 개발된 구성 요소, ⑨ 운영 환경에서 검증된 알고리즘 성능 등 이다. 세부내용은 다음 표와 같다.

<Table 10> M&S TRL 7 Checklist

	구분	내용	평가기준
1	스트레스 테스트	체계 및 소프트웨어 인터페이스가 스트레스 테스트를 거쳤는가?	스트레스 테스트 결과, 운영 환경 설정 문서.
2	운영 환경 및	M&S 체계를 테스트할 운영 환경이 마련되었는가?	
3	기능 및 체계 성능 검증	대부분의 기능이 시뮬레이션 또는 유사 환경에서 시연되었는가?	기능 시연 로그, 대표 환경에서의 테스트 보고서.
4		실제 운영 조건을 모방한 환경에서 체계 성능이 테스트되었는가?	
5	통합 프로토타입 테스트	통합된 프로토타입이 실제 또는 시뮬레이션 환경에서 시연되었는가?	통합 프로토타입 시연 보고서, 펄드 테스트 보고서.
6		프로토타입이 펄드 환경에서 성공적으로 테스트되었는가?	
7	모델링 및 시뮬레이션 활용	사용 불가능한 체계 요소가 모델링 및 시뮬레이션을 통해 분석되었는가?	시뮬레이션 보고서, 개발 준비 문서.
8		체계 구성 요소가 확장을 위해 개발 준비가 되었는가?	
9	알고리즘 성능 검증	운영 조건에서 알고리즘의 성능이 검증되었는가?	알고리즘 성능 테스트 결과.

5. M&S 체계 TRA 적용 예시

5.1 평가 대상 M&S 체계 개요

사례로 제시하는 평가 대상 M&S 체계는 군사 훈련에서 사용되는 통합 시뮬레이션 체계이다. HW와 SW를 통합하여 군사 훈련 시 병사들의 작전 수행 능력을 평가하는 데 중점을 둔다. 체계의 주요 구성 요소는 다음과 같다.

HW 구성 요소는 군사 훈련에서 사용하는 전투

차량, 무기, 통신 장비 등 다양한 장비를 가상 환경에서 재현하고 실제 장비와 유사한 환경을 제공한다. 이 장비들은 물리적 장비의 성능을 가상으로 구현하여 병사들이 현실과 비슷한 방식으로 훈련에 참여할 수 있도록 한다.

SW 구성 요소는 전투 시뮬레이션 소프트웨어로 병사들의 작전 수행 능력을 평가하고 적군 및 아군의 행동을 모의하는 위게임 시뮬레이션을 실행한다. 이 소프트웨어는 전투 시나리오를 기반으로 전투부대와 전투원의 전술적 결정을 시뮬레이션하고 전장 상황에 따라 적응하는 능력을 평가한다.

병사의 시뮬레이션 루프 참여는 실병사가 시뮬레이션의 구성원으로 참여하여 전투 시나리오에 따른 작전을 수행하며, 이들의 행동이 실시간으로 소프트웨어에 반영된다. 이를 통해 가상 전장에서 병사들의 상호작용 및 전술적 행동을 실제 전투 환경과 유사하게 재현한다.

이 체계는 HW와 SW의 통합을 통해 병사들이 가상 전장에서 상호작용하고 전술적 결정을 내리는 과정을 시뮬레이션하며, 개념 모델은 모의범위와 모의 수준, 가상 세계에서의 규칙, 전술 흐름 및 상호작용 메커니즘을 정의하는 핵심 역할을 한다.

5.2 TRA 평가 적용 예시

본 M&S 체계에 제안한 TRA 평가 방법을 적용하여 성숙도를 평가하는 CTE(핵심기술요소) 선정과 TRL 4, 6, 7 단계에 대한 평가를 예시로 제시한다.

본 예시에서는 특정 사업에 대한 평가결과를 도출하여 제시하기보다는 평가를 위한 핵심사항을 예시로 제시하였다.

5.2.1 CTE 선정 평가 예시

M&S 체계의 기술 성숙도를 평가하기 위해 핵심 기술요소(CTE)를 선정하는 것이 중요하다. CTE는 체계 성능에 중대한 영향을 미치는 기술 요소를 식별하는 데 사용되며, 이 체계의 CTE 평가 기준은 다음과 같다.

<Table 11> Sample of CTE Selection

고려사항	핵심기술	기술 내용
1. 운영 요구 사항, 비용 및 일정에 미치는 영향	적응형 전투 시뮬레이션 소프트웨어를 구현하는 기술	변화하는 임무 시나리오, 장비 구성 및 훈련 요구 사항에 따라 시뮬레이션 엔진을 쉽게 수정하고 업데이트할 수 있는 소프트웨어 기술
	새로운 하드웨어 시뮬레이터를 기존 시스템과 통합하는 기술	최신 시뮬레이션 하드웨어 (예: 차량 또는 무기 시뮬레이터)와 기존 레거시 시스템 간의 호환성 및 통합을 보장하는 미들웨어 또는 인터페이스 기술
2. 개발 또는 시연 실패 위험	실시간 시스템 응답 지연 시간 단축 기술	사용자 입력과 시스템 출력 사이의 피드백 루프 지연을 최소화하여 M&S 환경에서 실시간 상호 작용을 보장
	강력한 시뮬레이션 네트워크 연동 기술	시뮬레이션 네트워크의 구성 요소 간에 안정적이고 중단 없는 데이터 전송을 유지하도록 설계된 통신 기술 또는 네트워크 프로토콜
3. 신기술 도입 또는 기존 기술의 중대한 변화	가상 현실 (VR) 훈련 환경 기술	VR을 도입하여 훈련 시스템의 시각적 및 대화형 요소를 향상시켜 시뮬레이션 중에 군인에게 완전히 몰입할 수 있는 경험을 제공
	인공지능 (AI) 기반 적 행동 시뮬레이션	적의 행동을 동적으로 시뮬레이션하는 AI 기술로, 훈련에서 더욱 복잡하고 예측할 수 없는 상호작용을 가능
4. 새로운 운영 환경에 대한 적응	환경 요인 (지형, 기상 효과) 시뮬레이션 기술	실제 지형과 기상 조건을 모델링하고 이를 시뮬레이션에 통합하여 다양한 운영 환경에 대한 보다 정확한 훈련 시나리오를 제공
	모듈형 및 휴대형 M&S 시스템 구축 기술	M&S 시스템을 다양한 위치에 쉽게 이동, 배포 및 설정할 수 있도록 하여 모바일 훈련 연습에 유연성을 제공하는 하드웨어 및 소프트웨어 솔루션
5. 초기 설계 목표 이상으로 성능을 향상해야 함	대용량 시뮬레이션 확장성 기술	M&S 시스템은 성능이나 정확성을 저하시키지 않고 더 많은 군인과 차량이 참여하는 대규모 훈련을 지원하여 확장
	고충실도 무기 및 차량 시뮬레이션 기술	현대 군장비의 특성과 성능을 재현해 군인들에게 정확하고 상세한 훈련 시나리오를 제공하는 첨단 시뮬레이션 기술

적응형 전투 시뮬레이션 소프트웨어를 구현하는 기술과 새로운 하드웨어 시뮬레이터를 기존 시스템

과 통합하는 기술은 전투 시뮬레이션 SW의 실시간 처리 성능과 HW의 장비 재현성은 체계의 성능에 직접적인 영향을 미친다. 이 요소 기술들은 병사들의 훈련 효율성을 높이고 체계 운용 비용 및 일정에 중대한 영향을 미치는 CTE로 간주된다.

실시간 데이터 처리 및 SW-HW 통합이 실패할 경우 시뮬레이션 정확도가 크게 저하될 수 있다. 특히, 병사들이 가상 장비를 사용하는 상황에서 장비의 동작이 비정상적일 경우 훈련의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 이러한 관점에서 실시간 시스템 응답 지연 시간 단축 기술과 강력한 시뮬레이션 네트워크 연동 기술이 CTE로 선정된다.

가상현실(VR) 훈련 환경 기술과 인공지능(AI) 기반 적 행동 시뮬레이션은 기존의 전투 시뮬레이션 체계에서 사용된 알고리즘을 개선한 SW 알고리즘이 적용되었으며, 변경된 부분은 시뮬레이션의 실시간 성능을 향상시키기 위한 목적을 가지고 있다.

본 체계는 가상 환경에서의 군사 훈련을 목적으로 하므로, 새로운 운용 환경에서 기술이 적용되고 있다. 이 가상 환경은 기존 물리적 훈련 환경과 차별화된 시뮬레이션 조건을 제공한다. 환경 요인(지형, 기상효과)시뮬레이션 기술과 모듈형 및 휴대형 M&S 시스템 구축 기술은 새로운 운용 환경에 적용하는 기술이다.

현재 프로젝트의 요구 사항을 충족하기 위해 원래 설계 또는 의도된 운영 목표를 초과하는 성능 향상이 필요한지 설계 문서화 및 성능 요구 사항 분석 결과에 포함된다. 대용량 시뮬레이션 확장성 기술과 고충실도 무기 및 차량 시뮬레이션 기술은 초기 설계 목표나 성능 요구 사항 이상으로 개발되어야 기술이다.

5.2.2 TRL 핵심사항 평가 예시

5.2.2.1 TRL 4 평가 예시

본 사례에서의 실험실 환경은 개발환경으로 M&S 체계의 기본적인 성능을 검증하는 것이다. 여기서 모의장비와 위게임의 통합, 모의 장비의 재현

성, 그리고 기본적인 작전 수행 기능이 제대로 구현되는지를 평가한다.

<Table 12> Sample of TRL 4 Assessment Criteria

	항목	내용	평가 기준
1	HW 및 SW 통합 성능 검증	실험실 환경에서 HW와 SW가 정상적으로 통합되고 상호작용하는가?	HW와 SW 간의 데이터 처리 및 상호작용이 원활한지 여부와 통합 체계로서 관련요소간의 상호작용을 실험실 환경에서 확인
2	가상 장비의 재현성 검증	가상 환경에서 재현된 군사 장비가 실제 장비와 유사하게 작동하는가?	가상 장비의 조작성과 성능이 실제 장비와 유사한지 확인
3	SW 알고리즘의 기본 성능 검증	전투 시뮬레이션 소프트웨어가 병사들의 기본 작전 수행을 정확하게 모의하는가?	SW 알고리즘이 병사들의 행동 및 전술적 의사결정을 시뮬레이션하는 데 적합한지 검증
4	데이터 처리 속도 및 일관성 검증	데이터 처리 속도가 충분하고 일관성이 유지되는가?	실험실 환경에서 데이터 처리 속도와 일관성을 확인

5.2.2.2 TRL 6 평가 예시

본 사례에서는 유사 운용 환경에서의 M&S 체계의 성능을 검증하는 것이다. 가상 전장에서 병사들이 실시간으로 상호작용하고, 이들의 행동이 소프트웨어에 반영되는지를 평가한다.

<Table 13> Sample of TRL 6 Assessment Criteria

	항목	내용	평가 기준
1	유사 운용 환경에서의 통합 성능 검증	HW 및 SW가 유사 운용 환경에서 통합되어 원활하게 작동하는가?	유사 운용 환경에서 가상 장비와 전투 시뮬레이션 SW가 통합된 상태에서 정상적으로 작동하는지 평가
2	사와의 실시간 상호작용 검증	병사들이 가상 장비를 조작할 때, SW가 이를 실시간으로 반영하는가?	병사들의 실시간 상호작용이 시뮬레이션에 적절히 반영되는지 확인

3	적군 및 아군 행동 예측 성능 검증	시뮬레이션에서 적군 및 아군의 행동 예측이 정확하게 이루어지는가?	적군 및 아군의 행동 패턴이 유사 운용 환경에서 정확하게 시뮬레이션되는지 검증
4	시뮬레이션 결과 검증	가상 환경에서의 시뮬레이션 결과가 실제 전투 환경과 유사한가?	유사 운용 환경에서 시뮬레이션 결과가 실제 전투 환경과 얼마나 일치하는지 평가

5.2.2.3 TRL 7 평가 예시

본 사례에서는 실제 운용 환경에서 M&S 체계의 성능을 검증한다. 병사들이 실시간으로 작전을 수행하며, 그 결과가 체계에 실시간으로 반영되는지 확인한다.

<Table 14> Sample of TRL 7 Assessment Criteria

	항목	내용	평가 기준
1	실제 운용 환경에서의 통합 성능 검증	HW와 SW가 실제 운용 환경에서 통합되어 정상적으로 작동하는가?	실제 전투 환경에서 가상 장비와 전투 시뮬레이션 SW가 통합된 상태에서 원활하게 작동하는지 평가
2	실병사와의 실시간 상호작용 검증	실병사들이 가상 장비를 사용하는 동안, 체계가 이를 실시간으로 반영하고 있는가?	병사들의 실시간 상호작용이 시뮬레이션 환경에서 정확히 반영되는지 확인
3	전술적 의사결정 성능 검증	병사들의 전술적 의사결정이 시뮬레이션 결과에 반영되고 있는가?	사들의 전술적 선택이 실시간으로 시뮬레이션에 반영되는지 평가
4	대규모 데이터 처리 및 성능 검증	대규모 데이터 처리가 실제 운용 환경에서 원활하게 이루어지는가?	제 전투 환경에서 대규모 데이터 처리의 일관성 및 속도를 평가
5	시뮬레이션 결과의 신뢰성 검증	시뮬레이션 결과가 실제 전투 환경에서 신뢰할 수 있는가?	실제 전투 환경에서 시뮬레이션 결과가 신뢰성을 가지고 있으며, 실제 전장 상황과 일치하는지 평가

6. 결 론

본 연구는 국방 M&S 체계에 대한 기술성숙도 평가(TRA) 개선을 목적으로 하였으며, 특히 M&S 체계의 특성을 반영한 TRA 체크리스트와 평가 기준을 제안하였다.

기존의 HW 중심의 TRA는 복합적인 M&S 체계의 성숙도를 평가하는 데 한계가 있었으며, 이를 보완하기 위해 HW와 SW의 통합 성능, 가상 환경에서의 시뮬레이션 성능, 그리고 개념 모델의 완성도를 평가하는 새로운 기준이 필요하다.

본 연구는 M&S 체계에 적합한 TRA 평가 프레임워크 개발을 위해 HW와 SW의 복합적인 특성을 반영한 TRA 체크리스트를 제안함으로써, M&S 체계의 특성을 고려한 성숙도 평가를 가능하게 하였고, 개념 모델 평가 항목을 반영하여, M&S 체계의 가상 환경이 실제 무기체계의 운용 환경을 충실히 재현하는지를 검증할 수 있게 하였다. 이는 M&S 체계의 신뢰성 평가에 중요한 기준이 될 것이다. 또한 병사들과의 실시간 상호작용과 데이터 처리 성능을 평가할 수 있는 항목을 추가하였다.

본 연구에서 제안된 TRA 개선 방안은 CTE(핵심기술요소) 평가 기준, TRL 단계별 평가 기준으로 실험실 환경에서의 성능 검증(TRL 4), 유사 운용 환경에서의 성능 입증(TRL 6), 실제 운용 환경에서의 통합 성능 평가(TRL 7)를 위한 평가 체크리스트를 개발하여 M&S 체계의 성숙도를 체계적으로 평가할 수 있도록 하였다.

이러한 제안은 SW 중심체계인 전장관리체계, 무기체계에 적용절차를 준용하고 있는 전력지원체계에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 이들 체계는 무기체계라는 큰 범주에서 TRA가 체계개발, 탐색개발의 진입조건을 검토하는 과정으로 사용하기 위해서는 무기체계 특성별로 TRA 적용방안은 맞춤형으로 활용할 수 있을 것이다.

향후 과제로는 M&S 체계에서 적군 및 아군의 행동 예측 알고리즘에 인공지능(AI) 기술을 적용하여, 보다 정확하고 복잡한 전장 상황을 시뮬레이션하는

연구가 요구된다. 이는 전투 시나리오의 다양성을 높이고, 체계의 성능을 더욱 향상시키는 방향으로 발전시키는 데 필요한 부분이다.

결론적으로, M&S 체계의 성숙도를 보다 정확하게 평가할 수 있는 TRA 기준을 개발함으로써 M&S 체계의 개발 리스크를 줄이고, 무기체계 연구 개발에서 기술적 성숙도를 체계적으로 평가하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

References

1. Zamrady Ariffin, Aminuddin Md Arof, "A REVIEW OF TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL) IN DEVELOPING COMMAND AND CONTROL SYSTEM FOR MARITIME OPERATIONS", Marine Frontier, VOL 11, NO. 1, 2020.
2. 김미선, 노은영, "가중치 산출방법을 활용한 획득 방안 분석단계의 기술성숙도평가 개선방안", 한국 산학기술학회논문지 제22권 제4호 pp. 538-544, 2021.
3. 김찬수, 박경진, "국방핵심기술 연구개발의 기술 성숙도 평가 적용에 관한 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2009.
4. 박경진, "기술성숙도(TRL) 평가방법 수립 및 적용 사례", 시스템 엔지니어링 학술지 제5권 2호: 43-48, 2009.
5. 구지인, 정석재, "시스템 통합 관점의 복합 무기체계 기술성숙도 평가 프레임워크 개선에 관한 연구", 한국국방기술학회 논문지 제5권제2호, pp. 23-30, 2023.
6. Robert L. Clay et al., "Modeling and Simulation Technology Readiness Levels", SANDIA REPORT SAND 2007-0570, December 2007.
7. Zhongshi Wang, Axel Lehmann, "A Generic Maturity Model for Verification and

- Validation of Modeling and Simulation Applications”, Communications in Computer and Information Science, volume 1094, October 2019.
8. William L. Oberkamp et al., “Predictive Capability Maturity Model for computational modeling and simulation”, SANDIA REPORT SAND 2007-5948, October 2007.
 9. 방위사업청, 기술성숙도 평가 업무지침, 방위사업청 예규 689호(2021. 1.1).
 10. NABIS(균형발전시스템), 기술성숙도/기술성숙도 준비수준(TRL), 정책용어사전 (<https://www.nabis.go.kr/termsDetailView.do?menucd=189&gbnCode=S51&eventNo=192>).
 11. 방위사업청, 기술성숙도평가 및 제조성숙도평가 업무처리규정, 방위사업청 훈령 제869호(2024. 9. 12.).
 12. 이동준 외, “SE 프로세스 기반 국방 M&S체계 개발 절차 연구”, 시스템 엔지니어링 학술지 제 19권 1호: 44-55, 2023.