

Initial operational capability of future weapon systems and field test method using digital twin

Kim, Gakgyu* · Jin, Kangkyun** · Cho, Yongju*** · Won, Kyoungchan****

ABSTRACT

The application of artificial-intelligence technology to weapon systems, is difficult to use in military applications for such reasons as killing or wounding problems, ethical problems, and field environment considerations; therefore, more-sophisticated techniques and development are required for testing and evaluation. There is an increasing demand for advanced weapon systems that incorporate new technologies, such as artificial intelligence, and for electrification, and a new paradigm that can confirm and verify the performance required for field operations is required. Therefore, through case studies on digital twins, a plan for field testing and initial operational capability in future weapon systems was developed. Five development directions were identified, including policies and systems, organization, establishment of infrastructure, and utilization plans, to establish a field test and initial operational capability. In addition, studies on economic ripple effects and cost-effectiveness were conducted based on application cases of digital twins in the private sector. An optimal method for users to safely verify performance by utilizing the digital twin method to overcome the difficulties of testing and evaluating weapon systems with new technologies from the time when the weapon system requirements are determined to mass production is proposed.

Keywords : field test, initial operational capability, digital twin, future weapon system, case study

* (First Author) CAAS (Center for Army Analysis & Simulation), Chief of Resource Analysis Section, keyperson78@naver.com, <https://orcid.org/0000-0003-3199-5656>.

** (Co-Author) CAAS, Chief of Forces Analysis Section, sofjin67@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7958-2995>.

*** (Co-Author) CAAS, Director of CAAS, yjcho1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4018-6810>.

**** (Corresponding Author) CAAS, Ammunition Analysis Officer, popdin@naver.com, <https://orcid.org/0000-0002-3101-3440>.

I. 서론

국방부(2019)¹⁾는 디지털 강군을 조성하기 위해 초지능·초연결의 국방 인프라를 조성하고, 8대 핵심기술을 적용한 첨단무기체계 확보와 신속 적용 등을 추진하고 있다. 이를 위해 국방부는 ‘4차 산업혁명 기술기반 국방혁신으로 디지털 강군, 스마트 국방 구현’이란 비전과 목표²⁾를 달성하기 위해 4대 추진 전략(선택과 집중, 제도와 문화 개선, 추동력 확보, 민간기술 활용) 수립과 3대 분야를 제시하였다(Lee, K. J., 2021). 첫째, 국방 운영 혁신 분야는 LVC(Live-Virtual-Constructive) 기반의 실전형 위리어 및 부대 육성, Big Data 활용한 장병 삶의 질 개선, Life Cycle 국방자원 관리를 통한 효율성 향상, 주요 기술 분야의 민·관군 상생발전을 목표로 VR/AR 기반 가상모의훈련 체계 확대 등을 추진한다. 둘째, 기술·기반 혁신 분야는 초연결 네트워크 구현, 사이버 공간 우위 확보, 국방 AI 적용환경 구축 등의 추진과제를 설정하였다. 셋째, 전력체계 혁신 분야의 경우는 무기체계 핵심 선도기술 및 미래 도전기술 개발을 추진하고 있다.

이처럼 4차 산업혁명 시대에서 요구되는 군의 국방혁신 과제를 실행하기 위해서 새로운 미래전 전투수행과 작전개념 변화의 필연성을 인식하고, 로봇과 무인화 시스템 등 첨단무기체계에 대한 소요제기 및 개발을 추진해야 한다. 또한, 우리 군은 인명중시 강화와 관련 전문 인력난 등의 당면 문제를 고려한 전략 추진이 필요하다. 반면, 현재 첨단무기체계 획득 관련 계획이 추진되고 있으나 시험 및 평가에 대한 정책 방향이 구체적으로 정립되지 않은 상태이다. 예를 들어, 4차 산업혁명 기술발전에 따라 현대 무기체계는 정밀화·다기능화·복잡화되고 있으나 관련 무기체계의 성능충족을 검증하는 시험 및 평가가 미흡하여 정상적인 무기체계 운용상에 차질이 발생하고 있다(Park & Choi, 2022). 실제 군용장비 및 물자에 인공지능 기능 탑재가 확대되면서 이에 대한 시험평가 소요도 증가하고 있다(Kim & Yun, 2019). 특히, 인공지능 기술 적용 무기체계는 다양한 제약요소(살상문제, 윤리문제, 야전환경 적용 등)로 인해 군 적용에 어려움이 있으므로 시험과 평가 관련 기법을 정교화하는 발전이 필요하다. 따라서 첨단무기체계의 야전운용에 대한 요구성능을 확인·검증하는 데 필요한 시험 및 평가 방안을 모색하는 패러다임 정립이 요구된다.

이런 필요성에도 불구하고 국내 국방 무기체계와 해외 또는 상용 첨단기술 적용 시 예상되는 문제점과 제한요소에 관한 심층분석 연구가 미흡한 실정이다. 그래서 본 연구의 목적은 우리 군의 무기체계 시험 및 평가 체계에 대한 현상을 진단하고 발전방안과 기대효과를 제시하는 데 있다.

1) <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156321825>, 2019.03.18 국방부

2) 4차 산업혁명 기술 적용을 위해 ‘4차 산업혁명 스마트 국방혁신추진단’을 구성·운영함(Kim, 2020).

II. 선행연구 고찰

2.1 전력화평가 및 야전운용시험 체계 현상진단

전력화평가(Initial Operational Capability, 이하 IOC)³⁾는 전력운영의 완전성을 보장하기 위하여 수행하는 운영유지단계의 분석평가로 무기체계의 초도양산 또는 후속양산 배치 후 1년 이내 소요 군이 주관하여 작전운용성능(ROC) 달성 정도와 전력화지원요소 등을 평가한다. 이런 IOC 제도 도입 후에 무기체계의 야전운용 적합성과 성능보장 측면에서 긍정적인 효과가 있었으나, 단기간의 IOC로 무기체계에 내재된 문제파악이 제한적이라 중대한 결함이 발생했을 때 이미 생산 배치된 무기체계에 대한 보완조치를 실시할 수 없는 문제점이 나타났다.⁴⁾ 그래서 국방부와 육군본부는 관련 연구수행을 통해 문제점 개선을 위한 야전운용시험(Field Test, 이하 FT) 제도의 토대를 마련하였다. 방위사업청 분석평가 실무지침서⁵⁾와 방위사업청 분석평가 실무편람⁶⁾에 의하면 2012년 기존 IOC만으로 무기체계 전력 발휘의 완전성 검증이 제한되었다. 그래서 국방부는 미국의 LRIP(Low Rate Initial Production) 제도⁷⁾를 참조하여 육군에 FT 제도를 위한 시범적용하였다. 2013년 육군에서 FT 시범실시(K-21 경구난차량, 저격용소총) 후 2014년에 FT 제도가 신설되었다.

국방 연구개발 및 무기체계 시험평가에 대한 선행연구를 살펴보면, 최근 4차 산업혁명 기술 변화 및 국방안보·한반도 작전환경 변화의 특수성을 구체화하여 반영하지 못하고 있다(Lee, Han, & Seol, 2020). 그래서 무기체계 연구개발 사업의 체계공학 프로세스 측면에서 시험평가 항목과 기준을 결정하고(Lee & Jeong, 2021), 인공지능 시험평가 운영 프레임워크 구축을 통한 비용과 시간 지연의 문제점을 보완하는 발전방안이 필요하다(Yang, Wang, Li, & Li, 2021). 반면, 현재 우리 군은 기술발전 추세 및 잠재적 군사적 활용에만 주안점을 두어 미래 무기체계의 소요제기에 관한 관심이 높지만 이에 부합된 시험 및 평가 개념 및 수행체계, 기준 및 방법 등의 연구는 미흡한 실정이다. 일부 시험·평가 관련 선행연구의 경우도 특정 기술이나 무기체계의 무인화에 국한되어 연구되거나 단편적인 시험 및 평가방법과 기법 등만을 다루고 있다. 일례로 Lee, Jeon, and Kim(2022)은 군이 과학화경계시스템, 경계용 CCTV 등의 인공지능 체계를 적극적으로 도입하고 있으나 인공지능 체계 시험평가를 위한 절차와 방법이 정립되지 않아 시험평가의 적절성과 타당성에 논란의 소지가 있다고 지적하였다.

3) 방위사업청 예규 방위사업청 예규 제114호 IOC 지원방침, 2012; 육군본부 분석평가규정 육군본부 분석평가규정, 2021; 국방부 분석평가 지침 국방부 분석평가지침, 2017.

4) 국방획득체계 개선단 국방획득체계사업단(2011). 양산무기체계 성능평가 개선방안; 육군본부 전력기획참모부 육군본부 전력기획참모부(2011). 연구개발 무기체계 전력화평가체계 개선(안).

5) 방위사업청 분석평가 실무지침서(2016). <https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000036593>

6) <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=155827962>

7) 미국의 경우에 양산 초기 소량 생산·배치 후에 운영하여 소요군에서 초도운용평가를 수행함.

특히, 현재 IOC 및 FT 간 성능, 내구성, 가속시험 등은 소요군 현장에서 직접 수행하지 않으면 확인이 불가능한 특징을 갖고 있다. 예를 들어, 성능 및 내구성 시험은 속도, 확장성, 조작, 안정성 등의 제품성능을 측정하는 시험 유형으로 무기체계 각 부품의 오류를 발견하고 야전운용에 적합 여부를 확인하기 위해 실시하고 있다. 실제 성능 및 내구도는 야전에서 직접 수행하지 않으면 다른 대안이 없는 실정이지만, 현 제도상 가속시험은 신뢰성 시험을 통해 실시하여 현실적으로 군에서 시험이 제한되는 장애요인이 되고 있다. 그러므로 성능시험은 가능하면 무기체계 수명주기의 초기 단계에서 성능 문제요소를 발견하고 제거하는 것이 바람직하다. 제품 개발의 초기 단계부터 최종 단계에 이르기까지 성능시험을 수행함으로써 시정조치를 통해 비용과 불필요한 생산 지연을 예방할 수 있다. 이런 목적달성을 위해 시험·평가 부문의 과학적 방법개발이 요구된다.

한편 시험·평가 과정에서 기계적인 측면과 사용자에게 잠재적인 안전 위험을 초래할 수 있는 고장 환경을 평가하는 무기체계 안전성 시험은 내재된 안전상의 위험요소로 인해 평가자 안전을 고려해야 한다. 무기체계의 안전에 대한 위험요소는 다양하게 발생하므로 위험을 발견하고 평가하는 업무는 제조과정에서 발생하는 복잡한 과정 중 하나이다. 기계적 안전성 시험은 제품의 모양과 설계, 날카로운 모서리나 지점이 사용자의 부상을 초래할 수 있는 것에 대한 평가와 시험을 포함하여 용도대로 사용되는 동안 손가락, 발가락 및 다른 부위의 끼임, 조임 및 빠짐 사고 등의 발생 여부에 대한 평가가 포함된다. 구조 시험은 제품의 일반적인 사용 환경에서의 전반적인 강도와 내구성을 평가하며, 일부 특정 형태의 제품 평가는 지지용량과 같은 다른 제품 특성을 평가하기도 한다. 부품 시험은 완제품에 사용되는 나사와 경첩과 같은 핵심 부품의 안전 시험을 포함한다. 그래서 무기체계 안전 확보를 위해 해당 시험수행 시 충분히 검증된 시험평가 프로세스를 수행하는 것이 중요하다(Sim & Lee, 2013). Jin, Kim, Cho, and Won(2022)은 군 야전운용시험 발전을 위해 IOC와 FT를 소개를 통해 현재 무기체계 평가가 가능한 FT의 개선사항을 제시하였으며, 새로운 기술이 적용된 미래 인공지능과 자율화 체계 등에 대한 시험·평가의 제한점을 언급하였다.

AI 기술이 적용된 시스템의 안전보장은 출시 전에 가능한 모든 조건에서 시스템에 대한 완전 해결이 가능하도록 편재 표준이 필요하다.⁸⁾ 단, AI 기반 시스템은 확률적이면서 비결정적인 확률에 따른 불확실성을 내재하고 있어⁹⁾ 예측 불가능성이 해를 끼치지 않을 것이라는 증거 기반 사례를 만드는 것이 매우 어렵다. 또한, 딥러닝과 같은 기계 학습을 사용하면 시스템이 복잡하고 해석이 어려울 수 있다. 그래서 AI 기반 시스템을 안전요소가 중요한 영역에서 활용하려면 이런 문제영역을 해결해야 한다. 즉, AI 기반 시스템은 실세계에서 입력이 너무 복잡하고 규모가 커서 시스템의 동작을 예측하기 힘들고, 요구되는 행동은 인간 지능과의 비교가 포함되어 측정하기 어렵다(Kim

8) Heather M. W, Daniel J. P., & John W. D. (2021). Test & Evaluation of AI-enabled and Autonomous Systems: A Literature Review. IDA, 12-13. Retrieved from <https://testscience.org/wp-content/uploads/formidable/20/Autonomy-Lit-Review.pdf>

9) 정보통신기획평가원(IITP)(2020). ICT R&D 기술로드맵 2025: 인공지능·SW·자율주행자동차. http://iitp.kr/resources/file/201217/4.%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EC%A7%80%EB%8A%A5_SW_%EC%9E%90%EC%9C%A8%EC%A3%BC%ED%96%89%EC%9E%90%EB%8F%99%EC%B0%A8%EB%B3%B4%EA%B3%A0%EC%84%9C.pdf

& Yun, 2019). 특히, 인공지능 및 자율화체계 등에 기반한 무기체계는 SW 비중이 높아서 장비의 시험 및 평가를 육안으로 식별할 수 없다. SW 중심 장비의 경우 다양한 환경에서 데이터를 수집할 수록 장비 성능 향상을 고려하여 지속적인 평가, 데이터 수집, SW 보완이 필요하다. 해당 체계는 블랙박스 기능이 내장되어 실기동에 의해 블랙박스 테스트를 수행하지만, 불확실성이 내재하여 오류가 발생할 수 있다. 예측 불가능한 사고, 오류 발생으로 탑승자 또는 외부 인원, 장비, 물자에 피해 유발 가능성이 상존한다. 이런 사건 및 사고 발생 시 인명사고에 대한 책임, 군의 신뢰도 저하 등이 나타날 수 있어 사전 예방·방지를 위한 새로운 대안 모색이 필요하다.

2.2 디지털트윈 연구 및 활용실태

디지털트윈은 컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이(Twin)를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 시뮬레이션함으로써 결과를 예측하는 기술이다.¹⁰⁾ 즉, 해당 기술의 본질은 사람, 자동차, 제조설비 등 현실 세계의 실제 대상을 가상세계의 쌍둥이로 만들고, 현실 객체의 동작과 행위를 가상세계에서도 실현시켜 현실세계와 가상세계의 쌍둥이 객체가 서로의 변화를 동기화시키는 데에 있다. 어느 하나의 변화는 상대 쌍둥이에게 변화를 유발시키고, 변화의 폭과 깊이를 얼마나 다양하게 변주할 것인가에 따라 사람들의 상상력에 의한 변화의 모습이 달라지게 된다. 이러한 개념과 효과는 제조업뿐만 아니라 교통, 의료, 환경, 안정 등 여러 산업 분야에서 활용되고 있으며(Tao, Zhang, Liu, & Nee, 2018), 관찰과 예측이 필요한 연구개발 및 시장 도입 현황 부문에서 점차 활용이 증대되고 있다.

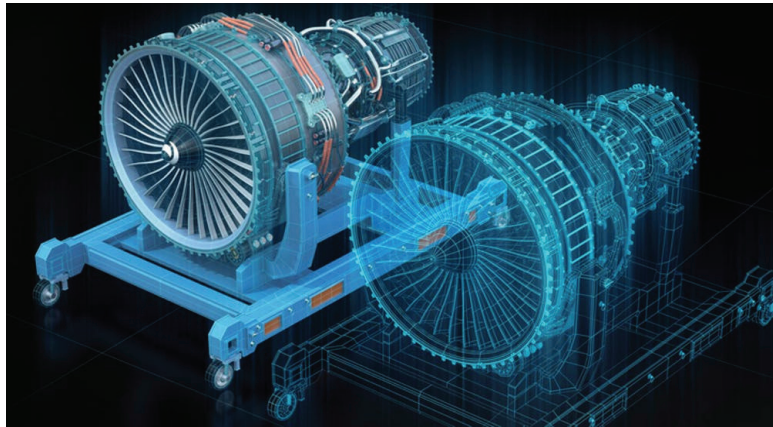
미 육군(2021)¹¹⁾은 디지털트윈 프로젝트를 항공기, 탱크 및 VR 훈련으로 확장하는 추세이다. 미래의 공급망에서 3D 프린팅의 잠재적 역할을 결정하기 위해 UH-60 블랙 호크 헬리콥터를 분해하여 개별 구성 요소(모두 20,000개)에 대한 3D 스캔 사업을 추진하고 있다. 2020년 위치타 주립 대학의 분해 프로젝트팀은 3D 스캔을 사용하여 블랙 호크의 모든 부품에 대한 일종의 3D 프린팅 가능한 카탈로그인 블랙 호크의 디지털트윈을 구축하고 있다. 이를 통해 육군은 부품 공급 문제를 해결하기 위해 예비 부품 중 일부를 역설계하고 3D 프린팅할 수 있게 된다. 미 육군은 이 프로젝트를 시발점으로 블랙 호크와 탱크 및 VR 훈련으로 확장할 계획이다. 2022 미국의 회계연도 국방수권법에서는 국방부가 정비, 재가공 인프라 구축에 디지털트윈 기술의 적용과 관련 분석이 종료되고 60일 이내에 국회에 보고할 것을 요구하고 있다. 이러한 제도 개혁에 따라 무기체계 개발에 있어 디지털트윈은 선택이 아닌 필수 과업으로 정착하게 될 전망이다. 현재 디지털트윈은 물자사령부에서 부품의 제작 및 수명유지에 활용하지만 향후 무기체계 수명주기 동안 활용되고 이를 활용하여 시

10) 국방일보(2021.5.10.). <국방 디지털트랜스포메이션> 가상 사물에 다양한 상황 적용...전투결과 예측 가능. Available from https://bemil.chosun.com/nbrd/bbs/view.html?b_bbs_id=10002&num=15185.

11) <https://3dprintingindustry.com/news/u-s-army-extends-digital-twin-project-to-aircraft-tanks-and-vr-training-177842/>

험 및 평가에도 활용이 예상된다.

미 공군(2021)은 최신 제트 훈련기 설계 및 프로토타입에 디지털트윈을 성공적으로 사용하였다. 디지털트윈은 프로토타입 제작에 드는 시간과 비용 없이 초기 테스트를 수행할 수 있도록 항공기, 무기체계 또는 기타 인공물의 상세한 가상 모델을 만드는 것이 포함된다. 공군의 새로운 훈련기인 Boeing-Saab ET-7 Red Hawk 제트 훈련기는 디지털트윈 기술을 사용하여 Figure 1과 같이 엔진을 설계하고 테스트하였다.



<Figure 1> US airforce aircraft engine prototype using digital twin

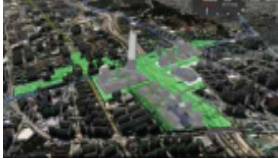
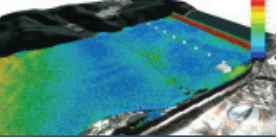


국내 디지털트윈 추진현황을 살펴보면, 세종시에 구현할 스마트시티는 도시에서 벌어지는 모든 현상과 움직임, 시민 행동을 데이터화하여 인공지능을 통해 분석 후 삶의 질과 행복을 높이는 맞춤형 예측 서비스를 제공하는 플랫폼이다.¹²⁾ 즉, GIS 기반의 공간정보에 “분석 및 시뮬레이션 기능”과 “3D 시각화 모델링 기능” 결합으로 실제 도시에 대응한 가상도시를 구축한다. 또한, 공공부문은 도시, 안전, 에너지, 국방 분야 등 관계부처 합동으로 디지털 트윈 활성화 전략을 위한 방안을 제시하고 있다(Table 1).¹³⁾ 이런 디지털트윈 기반의 시공현장 관리는 현장의 품질, 안전, 시공 관리 측면에서 많은 장점을 갖고 있다.¹⁴⁾ 디지털트윈 및 가상현실 기반 건설관리를 통해 도심지 건설현장의 공정 및 안전사고를 사전에 점검하여 활용할 수 있다.¹⁵⁾

12) 국토교통부(2019). 세종 스마트시티 국가 시범도시 시행계획. <https://smartcity.go.kr/2019/02/28/%EC%84%B8%EC%A2%85-%EC%8A%A4%EB%A7%88%ED%8A%B8%EC%8B%9C%ED%8B%B0-%EA%B5%AD%EA%B0%80-%EC%8B%9C%EB%B2%94%EB%8F%84%EC%8B%9C-%EC%8B%9C%ED%96%89%EA%B3%84%ED%9A%8D/>

13) 관계부처합동(2021.9.4). 디지털트윈 활성화 전략. 제14차 정보통신전략위원회. <https://www.korea.kr/common/download.do?tblKey=EDN&fileId=196107993>

14) 장대철, 이완희, 김욱, 김기남, 남하용(2021). 디지털 트윈을 활용한 스마트 건설현장 관리, 한국강구조학회지 학술기사, 33-38. https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE10582637&googleIPSandBox=false&mark=0&useDate=&ipRange=false&accessgl=Y&language=ko_KR&hasTopBanner=true

<Table 1> Promotion status of public sector using digital twin

Field	Promotion Status	
City	(Seoul Metropolitan City (S-MAP)) Establishment of a platform for analysis-based urban architecture administration, tourism, and public relations services such as traffic and weather data	
Safety	(Korea Water Resources Corporation) Development of element technology for digital-based safety management of water resource infrastructure and pilot establishment of digital platform	
Energy	(Korean Western Power) Real-time diagnosis and failure prediction system construction demonstration that analyses vibration, temperature and speed data for wind turbines in Hwasun Wind Power Complex	
National Defense	(Aerospace Industry) Utilization of the digital twin platform in the design engineering and manufacturing process for the development of the next-generation Korean fighter jet KF-16	

디지털트윈 관련 연구를 살펴보면, 디지털트윈과 공간정보를 활용한 적용을 통해 도시 건설, 재난관리, 가상주행환경 등의 개선을 초점을 두고 있다. 예를 들어, 국토도시 적용(Lee, Kim, & Lim, 2020), 스마트시티 재난관리 발전방안(Noh, Park, & Myeong, 2022) 등을 제시하였다.

한편, 현재 한국군의 디지털트윈 활용방안 연구는 활성화되지 않은 실정이다. 일부 연구는 4차 산업혁명 디지털트윈 기술의 동향과 군 활용방안,¹⁶⁾ 무기체계 선행연구부터 전력화에 이르는 체계 개발 전단계에 디지털트윈 적용,¹⁷⁾ 미래 군의 훈련체계 플랫폼 구축(Shin, Choi, & Park, 2021) 등을 다루고 있다. 요약하면, 기존 연구는 주로 체계개발과 설계에 주안을 두고 있으며, 디지털 트윈을 활용한 FT와 IOC에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

15) 김석구(2021). 디지털 트윈 및 가상현실(MR, XR) 기반 건설관리, 2021 대한토목학회 정기학술대회.

16) 김원재, 박용찬, 정용균, 최영도, 전석춘(2021). 4차 산업혁명 디지털트윈 기술의 동향과 군 활용방안. 국방과학기술, 513호, 132-143. <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE10622513>

17) 석근봉, 김윤미, 이광엽, 김형삼, 이재경(2018). 디지털 트윈 기술의 국방분야 적용 방안, 국방과학기술, 475, 108-117. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07524183>

III. 연구 수행 방법 및 절차

선행연구는 미래 국방환경 변화를 반영한 무기체계 관련 FT와 IOC를 구체적으로 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 미래 국방환경에 부합한 무기체계의 FT 및 IOC의 발전방향을 제시하고자 사례연구 방법을 적용한다. 해당 방법은 특수한 사례를 토대로 상황을 심층적으로 이해하고 문제점을 파악하여 개선에 필요한 실행방안을 도출하는 데 적합하다(Gerring, 2006; Yin, 2003). 특히, 향후 AI 등의 신기술이 적용될 전력화예정 장비에 대한 시험 및 평가 기준이 정립되지 않아 예상되는 문제점 등의 사례를 수집하고, FT 및 IOC에 적용할 시 필요한 평가기반 구축방안을 제시하고자 한다. 끝으로 해당 사례분석을 통해 FT 및 IOC를 위해 사전준비 및 발전이 필요한 절차와 방법을 제안한다(Table 2).

<Table 2> Overall procedures

Problem statement and Theoretical review	Case Study	Development of future direction and expected effectiveness
<ul style="list-style-type: none"> · Research background · Diagnosis and Necessity 	<ul style="list-style-type: none"> · FT/IOC case analysis · Digital Twin utilization status 	<ul style="list-style-type: none"> · Present establishment of FT and IOC model · Analysis of economical ripple effects and cost-effectiveness

IV. 미래 야전운용시험 및 전력화평가 방안

4.1 개요

현재 IOC 및 FT 관련 인프라는 아직 정의가 없으며, 별도로 구축되지 않은 실정이다. 따라서 IOC 및 FT 인프라는 시험 인프라의 정의를 준용하여 'IOC 또는 FT를 위한 정책, 제도, 조직, 능력, 인력, 비용, 시설 등을 모두 포함한다'고 정의할 수 있다. 본 연구는 전문 인력, 조직, 시험 시설·장비·도구에 관한 사항을 중심으로 IOC 및 FT 인프라를 제시하는 데 목적을 두고 있다. 첨단무기체계 시험 및 평가를 위한 디지털트윈 추진방향은 다음과 같다.

첫째, 전력화와 동시에 디지털트윈을 구축하여 신기술에 대한 시험 및 평가를 대비한다. 이는 소요 결정 이후 프로토타입 설계 및 제작과정부터 디지털트윈을 구축하는 것이 바람직하며 디지털트윈을 활용한 수명주기 쏠단계 활용하는 시스템 구축이 필요하다. 둘째, 미래신기술에 대비한 군/민간전문인력 평가지원팀을 구축하여 전력화 단계별로 준비한다. 셋째, 디지털트윈을 구축하기 위한 인프라구축은 대상 시스템에 대한 설계 도면, 2D, 3D 자료 등 각종 정보가 필요하다. 마지막으로

디지털트윈 구축을 위한 전문인력, 예산, 법령 등에 대한 사전 정비가 필요하다. 이를 위해 관련기관 및 부서와 긴밀한 협조 및 공감대 형성이 중요하다.

앞서 제시한 디지털트윈 추진방향은 Table 3과 같이 군의 시험 및 평가를 위한 추진전략에 따라 업무분야별 세부추진 과업을 정책 및 제도, 조직 및 편성, 기반체계 구축 등 3개 업무분야로 과업을 염출하였고, 이에 따른 세부 추진사항은 다음 장에 기술하겠다.

<Table 3> Detailed tasks for digital twin promotion

Field	Tasks
Policies and Institutions	Law maintenance, Budget acquisition, Data collection and accumulation, Civil-Military cooperation (Multi-departmental collaboration)
Organization and Arrangement	Fostering expert for the development of the evaluation support team, acquiring specialized personnel and installing specialized training course
Infrastructure Establishment	Technology development, Facilities and equipment, Standardization

4.2 정책 및 제도

4.2.1 법령 정비

국방전력발전업무훈령은 모든 무기체계의 개발에 가장 중요한 법령으로 디지털트윈을 이용한 IOC 및 FT를 위해 개정소요가 필요하다. 또한, 기타 법령에 대한 추가 연구를 통하여 개정 소요를 구체화하여 반영해야 할 것이다. 탐색개발 단계부터 디지털트윈을 구축·활용하고 이를 위해 개발 업체와 소요군의 자료 교환범위를 명시하여 정확한 디지털트윈 환경을 구축해야 한다. 여기에 IOC 및 FT에서 디지털트윈 활용을 정확하게 명시하고 개발 단계뿐만 아니라 전력화 이후 각종 운영유지, 성능개선에 이르기까지 디지털트윈의 활용사항을 반영하는 것이 매우 중요하다. 이는 향후 성능개량 등의 필요 소요 판단에 적극적으로 활용하여 무기체계 향상에 큰 도움을 줄 것이다.

4.2.2 예산 획득

시험 및 평가를 위한 디지털트윈 체계 구축을 위한 비용추정은 군 내부 참조자료가 부재한 상황이다. 그래서 본 연구는 세종시의 디지털트윈 구축사례와 정부 각 부처의 디지털트윈 사업예산을 토대로 군의 무기체계의 특성을 고려하여 추정하였다. 세종시의 디지털트윈 구축에 소요되는 예산은 4년간 총 190억 원이 투자되었다¹⁸⁾ (Table 4). 디지털트윈을 위해 빅데이터, 인공지능(AI), 자율주행차, 신재생에너지 등 미래 선도 기술 적용하였다. 시민들 인구 분포, 이동 형태를 기반으로 상권 분석과 대중교통 형태 분석, 생활과 밀접한 분야부터 단계적으로 분석 모델을 구축하는데 연간

18) <https://www.mk.co.kr/news/economy/view/2018/04/251489/>

47.5 억원 투자하여 2022년부터 각종 정책을 실험할 예정이다.

<Table 4> Building digital twin of Sejong smart city

Subjectivity	Sejong-si, ETRI
Budget	19 billion won (annual average 4.75 billion won)
Main research contents	City data standardization, city modeling, artificial intelligence simulation
Progress and plans	Sejong-si and ETRI MOU signed in 2017, Digital Twin development Commenced in 2018, Digital Twin establishment completed in 2021, Digital Twin policy experiment implemented in 2022

정부 부처별 디지털트윈 사업 현황(2021)을 보면,¹⁹⁾ 사업 예산(안)은 '21년 1,541 억원, '22년 2,308.9 억원(정부예산안) 총 3,850.4 억원이다. 단위 사업별 투자 금액은 사업의 성격과 규모에 따라 상이하나, 연평균 30 억원~100 억원 규모이다(Table 5).

<Table 5> Status of digital twin projects of government departments

Buddha Name	Contents
Ministry of Science and ICT	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Twin-based disaster safety management platform development (R&D) ('20-'24, KRW 29.4 billion) • Establishment and demonstration of Digital Twin system for Anyang and Busan city underground joint conduits ('21, KRW 8 billion) • Digital Twin integration for watershed management such as dams and rivers platform establishment ('21, KRW 3.5 billion) • Demonstration of Digital Twin integrated control and disaster management service for old multi-facility ('20, KRW 9.9 billion) • Demonstration of Digital Twin for manufacturing industry, facility safety, and port logistics ('21, KRW 16 billion)
Ministry of Land, Infrastructure and Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of Digital Twin national territory <ul style="list-style-type: none"> - 3D spatial information (41.2 billion won) - MAP with precision (16 billion won) - Computerization of underground facilities (33.5 billion won), etc.
Ministry of Trade, Industry and Energy	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of renewable energy Digital Twin and eco-friendly transportation empirical research base (R&D) ('21, 6.8 billion won)
Ministry of Oceans and Fisheries	<ul style="list-style-type: none"> • Development of ICT-based port infrastructure smart disaster response technology (R&D) ('21~'25, 3.8 billion won) • Establishment of ship and marine Digital Twin centers (R&D) ('22~'24, 10.8 billion won)

19) 제14차 정보통신전략위원회(2021.9.6), 한국판 뉴딜 2.0, 초연결 신산업분야의 핵심 「디지털 트윈 활성화 전략」. 관계부처 합동.

육군의 시험 및 평가 중, 육군의 디지털트윈 체계 구축 소요예산 판단을 예를 들면 다음 요소를 고려할 수 있다. 첫째, 육군은 연간 15개 정도의 IOC 및 FT를 실시하고 있다. 둘째, 단품(단일 무기체계) 디지털트윈 구축 비용은 무기체계의 유형에 따라 상이하다. 셋째, 시뮬레이터의 사례와 비교하면 정밀 시뮬레이터는 실장비 획득 비용과 유사하다. 넷째, 전문제작사 문의결과 소요비용은 요구수준에 따라 결정되는 경향이다. 다섯째, 디지털트윈은 무기체계의 기능을 고려한 부품, 부속품의 구성 정도(복잡화)를 고려하여 3개 유형으로 구분하였다. 3개 유형별 대표 무기체계와 디지털트윈 구축에 소요되는 추정비용은 Table 6과 같다.

<Table 6> Estimated cost of digital twin in construction by types of weapon systems

Category	Weapon systems	Estimated cost
A	Helicopters, Tanks, Self-propelled guns, etc.	Billions to 10 billion won
B	Armored vehicles, Combat vehicles, Unmanned Robots, Attack drones, etc.	100 to 1 billion won
C	Reconnaissance drones, Shared weapons, Fire extinguishers, etc.	Thousands to 100 million won

이상의 내용을 바탕으로 소요예산을 추정하면 다음과 같다. 1단계는 시범체계 구축으로 예를 들어 공격형 드론 디지털트윈 구축 비용은 약 1~3억원으로 추정하였다. 2단계는 추가 무기체계 구축으로 A, B, C 유형별 사업 분포를 고려하여 추정하였다. 5년 기준 연간 5개 사업으로 판단 시 총 25개 체계 구축을 목표로 A형 1개, B형 10개, C형 14개로 판단하였다. A형 100억원, B형 5억원, C형 1억원 가정 시 총 290억원으로 추정된다. 3단계는 전장기능별, 세대별 통합체계 구축으로 체계 통합비용을 10억원으로 5년간 총 300억원으로 추정된다. 이는 세종시의 연간 47.5억원, 정부부처의 연평균 30~100억원 규모와 비교 시 적정수준으로 판단된다. 앞서 제시한 육군 외에 해·공군의 디지털트윈을 활용하여 IOC 및 FT를 위한 상세한 예산 편성연구가 필요하다.

4.2.3 데이터 수집 및 축적

디지털트윈 제작은 데이터 수집·축적과 이를 바탕으로 3D 객체 제작을 지원하는 데이터의 공유·유통체계 구축이 필요하다. 무기체계 소요제기 단계부터 기술시험평가 및 운용시험평가까지 정보(데이터) 수집하고 수집된 정보를 바탕으로 디지털트윈을 구축한다. 이를 위해 무기체계 유형별(전장기능별)로 무기체계의 운용 특성을 고려하여 관련 자료를 수집한다. 그래서 데이터의 수집 및 축적을 위한 무기체계 분야별 전담 전문인력이 필요하다. 현재 평가지원팀은 현안업무 수행으로 미래 첨단 무기체계 분야의 디지털트윈 구축업무에 전념이 제한되므로 전문인력의 추가운용이 요구된다. 데이터 수집을 위해 관련 기관 간 정보유통을 보장하는 비밀자료 제공 및 수집·축적을 위한 제도를 마련해야 한다. 그러므로 민(방산업체), 관(정부기관), 군 간 데이터 유통을 위한 업무 프

로세스, 법령, 제도 마련이 필요하다.

또한, 데이터는 문서, 설계도면, 2D, 3D 등 다양한 종류가 융합되어야 하며, 문서는 소요결정 문서(작전운용성능, 기술적/부수적 성능, 운용 환경 요소, 형상 등), DT/OT 수행결과 등이 해당한다. 설계도면은 제작사의 무기체계 설계 부품, 구성품 등을 포함한 설계도면이며, 2D, 3D 형상은 3D 디지털트윈 제작을 위한 기초자료로 시제품 제작과정부터 필요한 부품, 구성품 단위까지 필요하다.

4.2.4 민군협력

디지털트윈은 정부의 기술개발 및 사업추진과 연계하여 추진하는 것이 바람직하다. 육군 단독으로 사업을 추진하는 것보다 정부 타부처와 협업하여 사업을 추진하는 것이 비용측면과 사업추진의 용이성 측면에서 유리하다. 정부의 추진방향은 디지털트윈 사업의 기획·구축·활용 쏠단계부터 다양한 주체 간 디지털트윈의 상호운용성을 고려하여 추진한다. 범부처 협력체계는 과기정통부·국토교통부·환경부 등 디지털트윈 주요 관계부처가 참여하는 범부처 협력 거버넌스 체계를 구축한다. 각 부처의 데이터 연계·통합, 서비스 확장 등 구체적 협력 사항을 논의하기 위한 ‘(가칭) 디지털트윈 관계부처 실무협의회’ 운영한다. 민관 협력체계는 데이터 표준화 등 분야별 민·관 워킹그룹을 운영하여 현장의 수요를 반영한다. 민·관 워킹그룹 내 법·제도 TF를 별도 구성하고, 디지털트윈 사업의 추진근거 마련과 규제 개선과제 및 해결방안 검토하여 추진한다. 군의 추진방향은 정부의 정책방향을 모니터링하여 다부처 협업사업, 표준화 등에 적극 참여하여 육군의 첨단 무기체계 디지털트윈 시험 및 평가시스템 구축에 활용해야 한다.

4.3 조직 및 편성

4.3.1. 전문가 육성

IOC 및 FT 관련 조직은 관계 법규에 따라 편조 개념으로 대상 사업별로 구성하여 운용하게 된다. 육군의 경우, IOC 및 FT 조직의 단장 역할을 수행하는 분석평가단장을 중심으로 분석평가단이 핵심 역할과 기능을 수행한다. 그러나 야전운용시험단과 전력화평가단은 국방부, 방위사업청, 각군 본부 기획참모부, 해당 사업 관련 부서 및 기관, 야전부대 등 다수 부대(서)로부터 인사명령을 통해 임시 구성된 조직이므로 업무 전문성이나 조직 긴밀도 등이 상설조직에 비해 상대적으로 부족할 수 있다. 특히, 야전운용시험단이나 전력화평가단 참여 인원은 원소속 기관이나 부대(서)에서 수행해야 할 본연 직무 외에 추가 임무 수행때문에 업무 책임감이나 업무 과중 등으로 IOC 및 FT에 전념하지 못하는 문제가 발생하기도 한다.

따라서 미래 국방의 핵심사업인 인공지능/빅데이터, 무인체계, 사이버보안, 첨단센서, 가상현실, 신추진, 고출력/신재생에너지, 신소재 등을 적용한 고도의 첨단 무기체계의 전력화 추세를 고려한다면, 첨단 무기체계 IOC 및 FT를 위한 전문인력의 보강이 요구된다. 업무수행의 효율성과 전문성

을 고려하여 국방부 또는 합참 통제의 별도 전문조직을 구성하고 예비역 및 민간 전문인력을 추가로 편성하여 현재 야전운용분석 및 전력화평가를 포함하여 미래 첨단무기체계에 대한 시험 및 평가가 유기적으로 연계되어야 한다.

4.3.2 전문인력 양성 및 전문교육과정 설치

IOC 및 FT 관련 인력의 전문성 제고를 위해 인사관리제도 개선을 통해 업무 전문인력을 별도 직위로 지정 운용할 필요가 있다. 「국방인사관리훈령」의 제3장 47조(전문인력직위체계)에 따르면 우리 군의 전문인력 직위는 정책전문, 국제전문, 특수전문(교수, 연구개발, 국방관리분석), 기술·기능전문, 획득전문 등으로 구분하고 있다. 이들 전문인력은 국방부의 전문인력심의위원회 심의를 거쳐 각 군의 참모총장이 지정하도록 정하고 있다. 따라서 IOC 및 FT 관련 인력은 국방부와 각 군 본부의 인사관리제도를 개선하여 전문 직위를 신설하고, 인력 선발·보직관리 등의 일관성 있는 인사관리를 통해 업무 전문성을 확보할 수 있어야 한다. 또한, 관련 전문 인력의 체계적 양성은 핵심기술 분야 석·박사 학위자를 양성할 수 있도록 국내외 민간대학 위탁교육 과정 등의 프로그램을 적극적으로 개발할 필요가 있다. 이 경우, IOC 및 FT 관련 전문인력 학위과정은 Table 7과 같이 세분화하여 운용할 수 있을 것이다.

<Table 7> Academic programs for professional manpower

<ul style="list-style-type: none"> · Artificial Intelligence (various field of study) · State of the art robots (autonomization, information convergence majors) · Cyber security, Virtual Reality, Program Development (Computer Engineering field) · Information Convergence, Data Convergence, Sensor Convergence, Network Integration (Convergence studies)

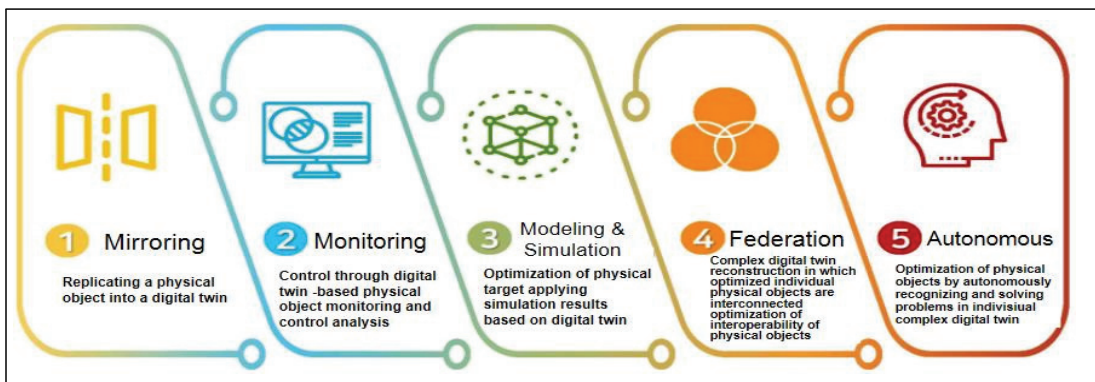
4.3.3 예비역 활용

IOC 및 FT 관련 부서 근무 경력이나 업무 수행 경험이 있는 예비역 자원에 대한 활용성을 높이기 위해 인사관리제도의 도입을 검토할 필요가 있다. 이런 예비역 자원은 해당 분야에 대한 높은 수준의 이해도를 가지고 있어 신규 자원을 선발하는 것에 비해 숙련도나 전문성의 측면에서 상대적으로 활용도가 높을 것이다. 따라서 인사제도 측면에서 IOC 및 FT 관련 직위 경력자나 업무 경험자는 별도 인력 pool을 구성하여 전역 후에도 해당 업무 분야에 지속해서 근무할 수 있도록 인사관리하여 숙련 직무 역량의 활용도를 높여야 할 것이다.

4.4 기반체계 구축

4.4.1 기술개발

제14차 정보통신전략위원회(2021)에 의하면, 디지털트윈 핵심기술은 Figure 2와 같이 분류한다. ① 디지털트윈 가상화 기술 ② 디지털트윈 제어 기술 ③ 디지털트윈 모델링 및 시뮬레이션 기술 ④ 연합 디지털트윈 기술 ⑤ 자율 디지털트윈 기술이다. 기술개발 1단계는 개별 주요 첨단 무기체계 단위로 디지털트윈을 구축하여 시험 및 평가에 활용하는 기술을 개발한다. 단품 무기체계의 디지털트윈을 구축 및 운용하고 실장비와 동기화 기술을 개발한다. 2단계는 전장기능별 첨단 무기체계 복합운용을 위한 디지털트윈을 구축하여 시험·평가 활용기술을 개발한다. 디지털트윈 간 상호운용성 기술을 개발하고 표준화를 달성한다. 3단계는 제대별 주요 첨단 무기체계 통합운용을 위해 디지털트윈을 구축하여 시험·평가 활용기술을 개발한다.






<Figure 2> Development of digital twin technology

4.4.2 표준화

육군이 다수 디지털트윈을 운용하게 된다면 운영유지 및 상호운용성 달성을 위해 표준화가 반드시 필요하다. 이를 위해서 정부의 디지털트윈 활성화를 위한 공통 기술을 적용하고, 정부 분야별 표준 정립과 법·제도적 뒷받침을 통한 활용기반 조성에 참여해야 한다. 또한, 既 구축된 디지털트윈 플랫폼 및 3D 객체, 공간정보 등 기반 데이터의 상호 연동과 통합 운영을 위한 표준화가 중요하다. 그래서 방산업체의 해당 데이터가 더 다양한 방식으로 활용될 수 있도록 제도적 장치를 마련하고, 공통 표준화 추진과 거버넌스를 포괄할 수 있는 협업 체계를 구축해야 한다. 이런 표준화를 통해 군 적용에 효과가 있을 것이다. 참고로 현재 활용되고 있는 디지털트윈 구축 솔루션은 Table 8과 같다.

<Table 8> Examples of solution using digital twin

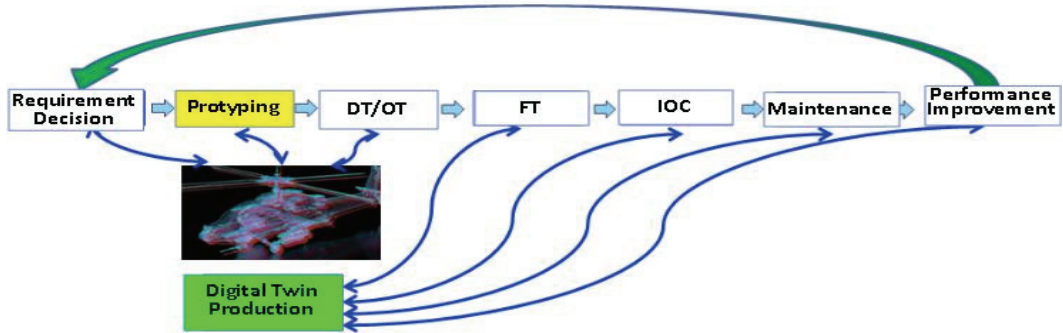
Enterprise (Solution)	Main Contents	
GE (Predix)	Through real-time data collection/processing/ event detection of equipment built by GE, such as aircraft turbines and power and power plants (wind and hydropower), analysis and remote action.	
SIEMENS (MindSphere)	Receive data through sensors attached to facilities in factories, such as manufacturing and logistics, and analyze by connecting facilities in real time.	
Dassault (3D EXPERIENCE)	3D modeling and simulation of all stages of a product, such as design, production, regulation, and requirement, such as manufacturing, logistics, construction, and cities.	

4.4.3 시설 및 장비

우리 군은 IOC 및 FT를 위한 별도의 시험시설, 장비, 도구를 보유하고 있지 않아서 국방과학연구소(ADD)의 시설, 장비, 도구를 활용하고 있다. ADD에서 보유하고 있는 시험장은 연구개발의 특성에 따라 종합시험장 등 다양하게 운영하고 있다. 따라서 신뢰성 있는 IOC 및 FT 결과 도출은 무기체계의 특성에 부합하는 적정 규모와 설비를 갖춘 시험시설(시험장), 장비, 도구의 확보가 반드시 필요하다. 특히, 본 연구의 연구대상 무기체계인 인공지능·빅데이터, 무인체계, 사이버보안, 첨단센서, 가상현실, 신추진, 고출력·신재생에너지, 신소재 등을 적용한 무기체계의 시험에 필요한 시험시설·장비·도구의 소요를 고려해야 한다.

4.5 활용방안

디지털트윈 활용사례를 고찰하면, 디지털트윈은 무기체계 획득과정에서 필수기술로 적용될 것이고, 무기체계 제조와 운용단계에서 시험 및 평가와 운용유지에서 유용한 수단으로 활용될 전망이다. 디지털트윈 기술 IOC 및 FT 적용방안은 미국 사례(디지털트윈 국방수권법 적용)를 벤치마킹하여 국방장력발전업무훈령에 반영하고, 정부의 『디지털트윈 활성화 전략』에 보조를 맞추어 육군 디지털트윈 체계를 구축한다. 또한, 첨단 핵심기술 기반 무기체계 생산업체 디지털트윈 구축을 의무화하고, 육군의 디지털트윈을 공용플랫폼으로 구축하여 생산, 시험평가, 야전운용분석, 전력화평가, 운용유지단계에 활용한다. 마지막으로 설계, 생산(부품제작), 형상변경, 성능개선 등 무기체계 수명주기 간 활용한다. 디지털트윈 군 적용방안은 Figure 3과 같이 요약할 수 있다.



<Figure 3> Application plan of digital twin in the military field

V. 기대효과

5.1 경제적 파급효과

군의 디지털트윈은 적용사례가 부재하여 경제적 효과 예측이 제한적이라 민간 분야의 디지털트윈 사례²⁰⁾를 통해 각종 경제적 효과를 제시할 수 있다(Table 9).

<Table 9> Effect and application of digital twin in business field

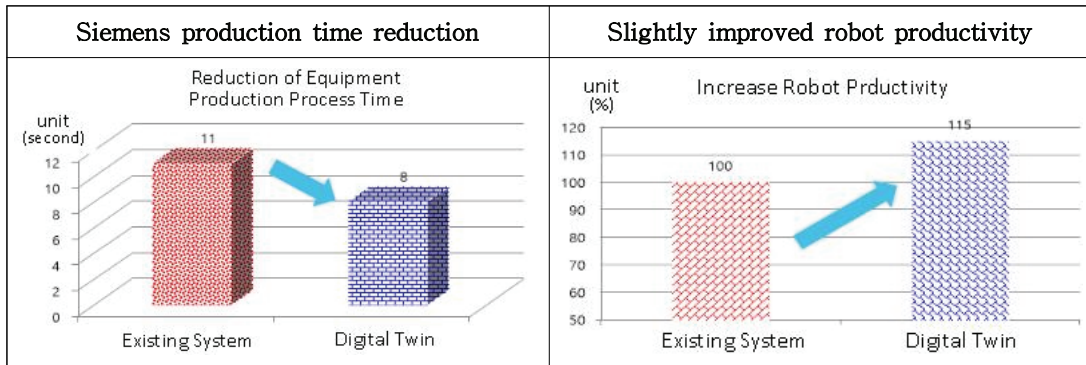
Field	Main Contents
Manufacture	(Siemens) facility production process 11 seconds → 8 seconds, (Dassault) robot productivity 15% ↑, (Maserati) vehicle development time 30% ↓
Energy	(GE) wind power generation 20% ↑, (New York hydroelectric power plant) operating cost \$2.25 billion ↓
Distribution	(Unilever) \$2.8 million in logistics operation costs ↓, (Greece) 2 hours unloading time for ships ↓, CO ₂ emission 8% ↓

사업분야별 디지털트윈의 적용 효과를 보면, 제조 분야에서 설비생산공정과 개발시간이 단축되고 생산성이 향상되었다. 에너지 분야는 발전량이 상승하고, 운영비를 감소하는 효과가 있고, 물류 분야의 운영비와 하역시간 등이 단축된 것으로 나타났다. 기업은 디지털트윈을 항공·발전 분야의 제품공정 최적화, 설비 고장예측 및 모니터링 등 제조업 서비스화를 위한 기술을 도입하고 있다. 제조 분야에서 입증된 효과를 토대로 에너지·물류 등 다양한 산업에서 생산성 향상과 비용절감을

20) 관계부처합동, “디지털트윈 활성화 전략”, 제14차 정보통신전략위원회, 2021.9.4.

위한 디지털트윈 수요가 증가하고 있다.

실제 기업의 경제적 효과를 보면, 지멘스의 설비생산 공정이 11초에서 8초로 단축되고, 로봇 생산성이 기존 단위시간당 100%에서 115%로 향상되었다(Figure 4). 특히, 육군의 핵심기술 시험 및 평가는 무기체계라는 특수성과 안전을 포함한 여러 제한사항을 극복할 수 있다는 점에서 경제적 효과는 더욱 크게 나타날 수 있다.



<Figure 4> Economic effects through digital twin

5.2 비용 대 효과측면

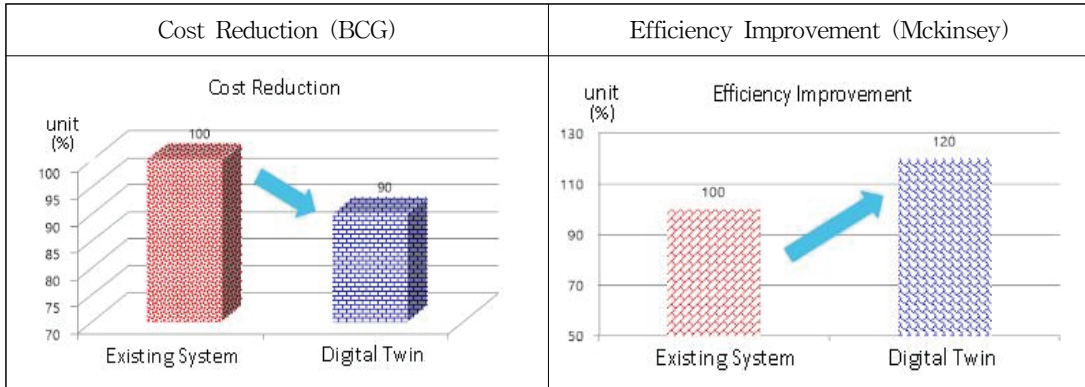
디지털트윈 적용은 개발 단계의 전분야 제품 설계부터 유지보수까지 수명주기(life cycle) 전반에 걸쳐 그 효과는 더욱 강력하게 작용할 수 있다. 제14차 정보통신전략위원회(2021)에 의하면 컨설팅 기관의 디지털트윈 적용 효과는 Table 10과 같다. 육군의 핵심기술 시험 및 평가와 개발 전단계에서 나타나는 비용 대 효과는 더욱 크게 나타날 것이다.

<Table 10> Effects of digital twin application (from Consulting firms)

Firms	Main Contents
BCG	Optimized the entire supply chain, including inventory status, logistics and material flow, and inventory status, reducing inventory by 5%, cost by 10%, and improved profits by 3%.
Deloitte	It is possible to reduce product launch time, improve quality, and reduce costs through facility performance analysis and design & process change prediction throughout the entire life-cycle from design to maintenance of the product.
Mckinsey	Improved efficiency by 20-25% by virtually designing, simulating, and testing logistics warehouse operations and flows.

Figure 5에서 제시한 바와 같이 재고상태, 물류 및 자재흐름 등의 전체 공급망을 최적화하는 효

과를 통해 재고량 5% 및 비용의 10% 절감을 통해 전체적인 이윤은 3%가 향상되었다. 특히, Deloitte에서 제시하는 제품의 설계부터 유지보수까지 수명주기 전반에 걸쳐 설비 성능분석, 설계·공정 변경 예측을 통해 제품 출시기간 단축과 품질향상 그리고 비용절감의 효과 달성이 가능하다는 것을 알 수 있다.



<Figure 5> Cost effectiveness of digital twin application

VI. 결론 및 논의

디지털트윈은 환경·비용·안전 등의 문제로 현실 수행이 어려운 시험과 평가를 가상 시뮬레이션으로 수행하므로 시간과 비용을 절약하면서도 실제 실험과 유사한(high-fidelity, Semeraro et al., 2021) 결과를 도출할 수 있다. 또한, 현재 IOC 및 FT를 통한 개선보완 사항에 따른 효과를 확인하는 방법이 없어 디지털트윈을 활용하여 변화 요인을 추정하였다. 디지털트윈은 실험과정에서 발생하는 위험 사고를 예방할 수 있어 안전하고 의사결정이 필요한 모든 산업에 적용 가능한 확장성까지 있어서 단일 무기체계부터 전장기능별, 제대별 확장이 가능하다. 군사 분야 인공지능 시험의 어려움을 극복하기 위해 군사 테스트의 프로세스 정립이 중요하며,²¹⁾ 인공지능과 자율시스템의 안전과 기능을 보장하기 위해 테스트에 대한 창의적인 아이디어와 설계가 필요하다.

본 연구는 군의 시험 및 평가 분야에 디지털트윈 활용·적용 필요성과 가능성을 제시하였다. 예를 들어 가상으로 구현된 디지털트윈을 직관적으로 모니터링함으로써 시제품 및 장비에 대한 모든 것을 확인할 수 있어 무기체계의 전력화 실패를 사전에 보완할 수 있다. 또한, 육안으로 확인이 불가능한 측정요소에 대한 예측으로 다양한 결과를 도출하는 효과를 얻을 수 있다. 결론적으로 본 연구는 군의 디지털트윈 구축을 통한 시험 및 평가제도를 활성화하기 위해 정책 및 제도 구축, 조직

21) RAND(2020). Military Application of Artificial Intelligence, p. 57.

및 편성 등을 제언하여 미래 FT와 IOC 방안의 실무적 활용 방향을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

디지털 강군, 스마트 국방 구현을 위한 4차 산업혁명 기술은 국방분야 모든 영역에 적용되게 된다. 스마트 국방혁신 구현을 위해 인공지능, 로봇공학 등 첨단 정보통신기술이 융합된 혁신적인 4차 산업혁명 시대 도래와 함께 현재 군이 직면한 인명 중시, 인력난 극복을 위해 군에서는 새로운 미래전 전투수행개념 및 작전개념 변화의 필연성을 인식하고 로봇·무인화체계 등 첨단무기체계 소요제기와 개발을 추진하고 있다. 기술변화 속도가 빨라 전력화 결정 시기부터 양산까지 시험과 평가를 준비하기 위해 신기술이 적용된 장비는 전투원이 조작하기 전에 디지털트윈 환경에서 안전하게 검증할 수 있는 인프라 구축이 필요하다. 따라서 본 연구는 기존 무기체계에 적용한 FT 및 IOC 수행체계와 다른 정밀화·고도화 첨단무기체계의 야전운용 요구성능을 확인하고 검증할 수 있는 새로운 FT 및 IOC 관련 연구이다.

향후 연구는 우리 군은 새로운 패러다임 구축을 위해 본 연구에서 제시한 정책 및 제도, 조직 및 편성, 기반체계를 구축해야 하며, 이를 위한 비전과 세부적인 방안을 추가로 연구해야 할 것이다. 또한, 디지털트윈 활용을 통한 경제적 파급효과와 비용 대비 효과 검토를 토대로 후속연구는 우선적으로 미래 FT와 IOC를 위한 로드맵 수립과 비용 대비 효과분석에 관한 연구가 필요하다.

Acknowledgements

We would like to thank Editage (www.editage.co.kr) for English language editing.

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization: KG and JK; Literature review: CY; Resources and Data curation: KJ and JK; Investigation and Methodology: WK; Writing (Original Draft): KG and JK; Writing (Review and Editing): WK; Project administration and Supervision: WK and CY

Reference

- Gerring, J. (2006). *Case study research: Principles and practices*. Cambridge university press. https://books.google.com/books?hl=ko&lr=&id=CbetAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Case+Study+Research:+Principles+and+Practices&ots=kcE-FNTZBD&sig=SlalaeQTFFd_yhr2fZimxkNDpZk
- Jin, K. K., Kim, G. G., Cho, Y. J., Won, K. C. (2022). A study on the development plan of the Military Field Test. *Korean Journal of Military Art and Science*, 78(3), 29-55. <https://doi.org/10.31066/kjmas.2022.78.3.002>
- Kim, B. S., & Yun, K. S. (2019.5.9). A Study on the Test Evaluation of Automated-Vehicles Based on Artificial Intelligence [Paper presentation]. *The Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference*, Jeju. https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE08747853&googleIPSandBox=false&mark=0&useDate=&ipRange=false&accessgl=Y&language=ko_KR&hasTopBanner=true
- Kim, K. N. (2020). The Fourth Industrial Revolution and the ROK's Defense Innovation Tasks. *Korean Journal of Military Affairs*, 7, 113-143. <https://doi.org/10.33528/kjma.2020.6.7.113>
- Lee, J. H., Jeong, S. J. (2021). A study on the improvement plan for weapon system R&D test & evaluation judgment. *Military Research and Development*, 15(2), 111-142.
- Lee, K. J. (2021). A Consideration about the Status and the Development Plans of MND Smart Defense Innovation. *Journal of Information Technology Services*, 20(1), 1-9. <https://doi.org/10.9716/KITS.2021.20.1.001>
- Lee, K. K., Han, S. J., & Seol, H. J. (2020). US-Israel Defense R&D Innovation Trends and Implications: Focused on the Development of Operational Test and Evaluation of Korean Armed Forces. *Korean Journal of Military Art and Science*, 76(3), 199-224. <https://doi.org/10.31066/kjmas.2020.76.3.008>
- Lee, M. Y., Kim, D. H., & Lim, S. Y. (2020). Suggestions for Applying the Digital Twin to the Urban area through the Domestic Research Trend. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 28(4), 49-57. <https://doi.org/10.7319/kogsis.2020.28.4.049>
- Lee, Y. B., Jeon, I. K., & Kim, S. H. (2022). Development of Artificial Intelligence Weapon System Test and Evaluation Methods: Performance Evaluation of the Classification Model. *Journal of Applied Reliability*, 22(1), 1-9. <https://doi.org/10.33162/JAR.2022.3.22.1.001>

- Noh, J., Park, H. S., Myeong, S. H.(2021) A Case Study on the Smart city Disaster Management using Digital. Twin Technology: Focused on Incheon Metropolitan City. *Journal of Korean Association for Regional Information Society* 25(1), 2-34. <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002828230>
- Park, H. S., & Choi, H. W. (2022). A Study on the Innovative Factors of Reliability of the Development Test and Evaluation in Defense R&D Projects. *Innovation studies*, 17(3), 19-37. <https://doi.org/10.46251/INNOS.2022.8.17.3.19>
- Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 130, 103469. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469>
- Shin, K. Y., Choi, H. J., Park, S. J.(2021). Developing a Digital Twin and Extended Reality based Future Integrated Combat Training Platform under 5G. *Journal of Digital Contents Society* 22(4) 727-735. <https://doi.org/10.9728/dcs.2021.22.4.727>
- Sim, H. S., & Lee, J. C. (2013). On the Improvement of the Test and Evaluation Process in the Weapon Systems Development with Systems Safety. [Conference presentation]. *Korea Safety Management & Science Conference 2013 April* (pp. 271-284). <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=CFKO201323263171654&oCn=NPAP10904282&dbt=CFKO&journal=NPRO00349754>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. (2018). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 15(4), 2405-2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- Yang, C., Wang, M., Li, C., & Li, H. (2021, October). *Research on operational test of space equipment under parallel system theory and artificial system modeling*. In 2021 IEEE 3rd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT) (pp. 687-692). IEEE. <https://doi.org/10.9716/KITS.2021.20.1.001>
- Yin, R. K. (2003). Designing case studies. In *Qualitative Research Methods* Sage, Thousand Oaks, California. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Designing%20case%20studies.%20In%20Qualitative%20Research%20Methods&publication_year=2003&author=R.K.%20Yin

원 고 접 수 일 2022년 10월 25일

원 고 수 정 일 2022년 12월 15일

게 재 확 정 일 2022년 12월 26일

디지털트윈을 활용한 미래 무기체계 전력화평가 및 야전운용시험 방안에 대한 연구

김각규* · 진강균** · 조용주*** · 원경찬****

국문초록

인공지능 기술이 적용된 무기체계는 살상문제, 윤리문제, 야전 환경적용 등의 이유로 군 활용에 어려움이 있으며, 이러한 제한사항으로 인하여 시험 및 평가는 더욱 정교한 기법과 발전이 요구된다. 현재, 새로운 기술을 적용한 미래 첨단무기체계의 소요제기와 전력화에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이에 야전운용에 필요한 성능을 확인하고, 검증할 수 있는 새로운 패러다임의 연구가 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 디지털트윈에 대한 사례연구를 통해 미래 무기체계의 시험 및 평가에 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 무기체계의 전력발휘의 완전성을 향상하기 위해 전력화평가와 야전운용시험 간 디지털트윈을 활용하는 발전방안을 제시하였다. 야전운용시험 및 전력화평가 모델 구축을 위해 정책 및 제도, 조직 및 편성, 기반체계 구축, 활용방안 등 5가지 발전방향을 제시하였다. 또한, 민간 분야 디지털트윈의 적용사례를 통해 경제적 파급효과와 비용 대 효과에 대한 연구를 제시하였다. 결론적으로 본 연구는 무기체계 소요가 결정된 시기부터 양산까지 신기술이 적용된 무기체계의 시험 및 평가의 어려움을 극복하기 위해 디지털트윈의 방법을 활용하여 향후 사용자가 안전하고 효율적으로 무기체계 전력화의 완전성을 검증할 수 있는 최적방안을 제시하는 것이다.

주제어 : 야전운용시험, 전력화평가, 디지털트윈, 미래 무기체계, 사례연구

* (제1저자) 육군 분석평가단, 자원분석과장, keyperson78@naver.com, <https://orcid.org/0000-0003-3199-5656>.

** (공동저자) 육군 분석평가단, 전력분석과장, sofjin67@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7958-2995>.

*** (공동저자) 육군 분석평가단, 분석평가단장, yjcho1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4018-6810>.

**** (교신저자) 육군 분석평가단, 탄약분석장교, popdin@naver.com, <https://orcid.org/0000-0002-3101-3440>.