JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 25, No. 2, pp. 383-393, Feb. 2024

디지털 트윈의 국방분야 적용방안에 대한 검토

강 인 욱[1*] · 오 자 훈[2]
[1*]국방기술진흥연구소 전력지원체계연구센터 연구원
[2]육군3사관학교 컴퓨터과학과 교수

Review of the Application of Digital Twins to Defense

Inuk Kang[1*] · Jahun Oh[2]
[1*]Researcher, Combat Support Systems Research Center, Korea Research Institute for defense Technology Planning and advancement, Seoul 02455, Korea
[2]Professor, Department of Computer Science, Korea Military Academy at Yeongcheon, Yeongcheon 04314, Korea

[요 약]

디지털 트윈 기술은 현실 세계를 가상 환경에 동일하게 복제하는 기술로서, 최근 기반기술인 IoT, 빅데이터, 클라우드 및 인공지능 기술과 동반하여 발전이 이뤄지고 있다. 디지털 트윈은 현실 세계를 실시간으로 관제할 수 있으며, 시뮬레이션을 통해 최적의 의사결정을 지원할 수 있다는 점에서 민간・정부에서는 제조, 도시관리, 물류 분야 등에서 활발한 활용이 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 디지털 트윈 기술의 개념과 구성요소, 무기체계 개발 및 제조, 교육훈련, 군수보급, 사이버 작전 및 의사결정 지원 등 국방분야에 적용 가능성을 탐색하고 국내외 국방분야 디지털 트윈 관련 정책 및 개발동향을 분석한다. 또한, 디지털 트윈이 국방분야에 효과적으로 적용하기 위한 발전 필요 기술로 사이버 보안, 통합정보 기반 설명가능한 디지털 트윈, 경량화 트윈 환경 구축 기술을 제시한다.

[Abstract]

Digital twin is a technology that replicates the real world in a virtual environment and is being developed along with recent base technologies such as IoT, big data, cloud, and artificial intelligence technologies. Because digital twins can detect the real world in real time and support optimal decision-making through simulation, they are being actively used by the private and government sectors in manufacturing, urban management, and logistics. In this paper, we explore the concept and components of digital twin technology, their applicability to the defense field, including weapon system development and manufacturing, training and education, military logistics and supply, cyber operations, and decision-making support. We also explore policies and development trends related to digital twin technology in the domestic and foreign defense field. In addition, cyber security, explainable digital twin based on integrated information, and lightweight twin environment construction technology are presented as technologies that need to be developed for digital twins to be effectively applied to the defense field.

색인어 : 디지털 트윈, 국방 도메인, IoT, 인공지능, 가시화

Keyword : Digital Twin, Defense Domain, IoT, Artificial Intelligence, Visualization

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.2.383

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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.

Received 14 December 2023; **Revised** 26 January 2024
Accepted 31 January 2024

***Corresponding Author; Inuk Kang**
Tel: ※ 개인정보 표시제한
E-mail: c17618@krit.re.kr

Ⅰ. 서 론

디지털 트윈(Digital Twin)은 가상세계에 실제 사물의 물리적 특징을 동일하게 반영한 쌍둥이로, 3D 모델 구현과 이를 실제 사물과 실시간으로 동기화한 시뮬레이션을 거쳐 관제, 분석 및 예측 등 현실의 의사결정에 활용하는 기술이다. 대한민국 정부는 2023년 4월 디지털플랫폼정부 실현계획을 발표하며 AI, 클라우드, 정보처리, 네트워크 혁신기술을 바탕으로 행정 서비스 수준 제고와 사회 안전망 구성을 발표했다. 이를 위한 추진 과제로 국가 주요 인프라 관리 및 운영에 초연결 디지털 트윈을 구축하여 고품질 데이터 확보와 인공지능 기술을 활용한 과학적 의사결정체계 구현을 기획하고 있다. 또한, 교통, 안전, 에너지, 도시 4대 중점 분야 집중 발전을 통해 '디지털 트윈 코리아'를 추진하고 있으며, 이후 중점 분야 외 환경, 교육・훈련, 문화, 행정, 의료 등 다양한 분야로 확대를 계획하고 있다[1].

글로벌 동향으로 영국, 싱가포르는 국가 차원에서 디지털 트윈 사업을 추진하여 관련 기술 및 산업 경쟁력 강화를 도모하고 있다 . 싱가포르는 미래 도시 계획 및 관리를 위해 '버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)'를 추진 중으로 구조물과 지형을 디지털 트윈으로 구현해 건설 시 주변 경관과의 조화, 교통흐름, 일조권 침해 파악 등에 활용하고 있으며, 영국은 전 세계 디지털 혁신 중심지로 도약하기 위한 '국가 디지털 트윈 프로그램(National Digital Twin Programme)'을 추진 중에 있다[2]. 미국은 제조 분야에서 성능향상 및 불량률 개선과 더불어 원자재 영역까지 이를 확장해 전체 물류 및 공급망 차원에서 디지털 트윈 기술을 접목하고 있다.

디지털 트윈 기술의 접목은 현재에도 다방면에서 활발히 이뤄지고 있고, 이러한 디지털 전환에서 국방 분야도 예외가 될 수 없다. 군은 유사시 관계부처 합동으로 통합방위작전을 수행하므로 디지털 플랫폼을 발맞춰 발전시키는 것은 필수적인 사항이다. 현시점에서 우리 군의 국방 디지털 트윈의 활용 실태 분석과 향후 발전방향을 탐구하는 것은 중요할 것으로 판단된다. 기존 연구들은 시기적으로 4차 산업혁명이 언급된 2021년에 집중되어 있어 이후 등장한 초거대 언어 기반 및 생성형 인공지능 등 최신 기술 접목에 대한 탐구가 필요하다. 또한, 국내외 국방 분야에서 디지털 트윈 활용 방안을 제조업 분야에 한정한 것이 대부분이었으며, 현재까지 국방 분야에서 다차원적으로 디지털 트윈 적용방안 발굴에 대한 연구는 미진한 상태이다. 본 연구는 국방 내 다양한 분야의 특성과 디지털 트윈 활용 시 얻을 수 있는 효과, 이를 활용하는 국내외 사례를 분석하였다. 또한, 국방분야 특성을 고려하여 디지털 트윈 기술을 효과적으로 접목시키기 위해 필요한 기술인 디지털 트윈 보안 기술, 통합 정보 및 설명가능한 인공지능, 경량화 트윈 환경 구축 기술을 도출하였다.

Ⅱ. 디지털 트윈 개요

2-1 정의 및 특성

디지털 트윈은 최초 2002년 Michael Grieves의 제품 수명주기 관리(PLM: Product Life-cycle Management)를 위한 가상화・시각화에 대한 언급을 통해 탄생했다 [3]. 하지만, 이는 기술력 부족으로 인해 개념적으로만 존재했으나, 최근 AI, XR, 5G 등 다양한 기반기술의 등장으로 급속한 발전이 이뤄지고 있다. 디지털 트윈의 특징은 여섯 가지로 시스템을 구성하는 데이터와 정보의 유일성(Singularity), 물리 객체와 데이터 모델과의 밀접한 연결인 상관성(Correspondence), 요구조건에 의해 데이터 정보가 달라질 수 있는 응집성(Cohesion), 시간의 흐름에 따라 변경된 데이터를 확인할 수 있는 추적성(Traceability), 물리 객체의 변화를 가상 객체에 동기화할 수 있는 반영성(Reflectiveness), 가상 세계에서 이뤄진 시뮬레이션 결과와 정보를 실제 세계로 전달할 수 있는 단서 가용성(Cued Availability)이 있다[4]. 디지털 트윈은 실제와 동일한 가상모델 실험을 통해 현실에서 최적의 의사결정을 지원해야 하므로 현실객체의 모사와 동기화가 필수적으로 적용된다. 이는 현실과 동일할 필요 없이 가상공간에 대한 경험을 제공하는 메타버스와는 차이가 있다.

디지털 트윈의 발전단계는 가트너에서 제안한 현실 복사-통제-최적화로 구분한 3단계 기술 단계 모델이 일반적으로 이용되었으나, 현실 세계의 유기성, 복합성을 고려해 표 1과 같이 상호연계성과 자율기능을 추가하여 5개 단계까지 확장할 수 있다[5].

표 1. 디지털 트윈 기술 단계
Table 1. Technology stage of Digital Twin

Stage	Definition	Characteristics
1	Mirroring	Replicating a physical object into a Digital Twin
2	Monitoring	Control through Digital Twin-based physical object monitoring and relationship analysis
3	Modelling and Simulation	Optimization of physical objects applying Digital Twin simulation results
4	Federation	Reconstruct complex digital twin in which optimized individual physical objects are interconnected and optimize interoperability of physical objects
5	Autonomous	Optimize physical objects by autonomously recognizing and resolving problems in individual and complex Digital Twins

2-2 디지털 트윈 관련 기술

1) IoT

사물인터넷(IoT: Internet of Things)은 각종 사물에 센서, 통신기능을 내장해 인터넷에 연결하는 기술이다. 디지털

트윈에서 IoT 기술은 비단 사물에 국한되지 않고 사람, 체계 등 다양한 요소를 무선통신을 통해 연결을 수행하며, 가상환경 구현에 기초가 되는 기술이다. 각 개체는 자신을 구별할 수 있는 IP를 가지고 있으며, 각종 데이터 취득을 위해 센서를 추가한 채로 활동할 수 있다. 2027년까지 90% 이상이 IoT 기반의 플랫폼을 구비할 것으로 예상되며[6], 전세계의 데이터 정보를 실시간에 수집할 수 있을 것으로 기대되어 차후 IoT 기술 보편화가 심화할 것으로 보인다. 디지털 트윈은 IoT를 통한 실시간 정보수집을 기초로 분석, 조작 및 최적화가 이뤄지기 때문에 트윈 구현에 있어서 시작이 되는 기술이라고 할 수 있다.

2) 클라우드 컴퓨팅

클라우드 컴퓨팅은 크게 자료 관리를 위한 리소스나 인프라를 제공하는 IaaS(Infrastructure as a Service), 응용 및 개발을 운용할 수 있는 소프트 플랫폼을 제공하는 PaaS(Platform as a Service), 필요 소프트웨어 서비스와 이용이 가능한 SaaS(Software as a Service) 등으로 구분할 수 있다. 디지털 트윈은 각 객체로부터 다량의 정보를 수집하며 필요시 의사결정을 위한 정보를 개별 사용자에게 전달해야 한다. 클라우드 컴퓨팅은 대용량 서버의 저장공간 확보가 가능하며, 중앙 서버의 연산을 활용해 개별적 설치를 위한 소모적인 비용을 절감할 수 있고, 사용자는 원하는 정보에 원활히 접근할 수 있는 이점을 제공해준다.

3) VR/AR/MR

디지털 정보의 가시화는 현실 세계에 정보를 추가하여 전시하는 증강현실(AR: Augmented Reality), 현실공간과 분리된 디지털 공간 내 가공의 환경을 생성하는 가상현실(VR: Virtual Reality),과 위 두 가지의 중간지점인 혼합현실(MR: Mixed Reality)로 구분할 수 있다. 위 기술은 디지털 트윈의 주요 역할 중 디지털 방식으로 가상화된 공간정보 및 객체를 시각화하는 가시화(Visualization) 영역에 기여한다. 위 기술을 통해 사용자에게 물리적인 제약을 초월하고 다양한 환경을 제공할 수 있으며, 시공간적 제약의 극복과 기존 자료만으로 부족한 부분에 대한 파악이 가능하다.

4) 데이터 처리 및 모델링

또한, 다중의 정보 원천을 통해 공급되는 데이트 결합 및 융합을 위한 기술과 이를 실시간으로 디지털 트윈 플랫폼에 전송하기 위한 저비용 및 고속도 연산처리 기술이 필요하다. 일반적으로 XSLT(Extensible Stylesheet Language Transforms) 프로그램이나 글로벌 기업에서 활용하는 데이터 매핑, 신호처리 알고리즘을 적용할 수 있다.

수용한 정보를 가상세계에 표현하기 위해서는 고성능의 모델링 기술이 필요하다. 모델의 종류는 현실과 가상세계와 호환할 수 있도록 해주는 의미론적 모델링(Semantic modeling)과 가상현실 상에서 구축하는 물리적 모델로 분류할 수 있으며, 실시간, 고성능 상호작용을 위해서 다중 모델링이 필요하다. 일반적인 모델링 언어로는 Modelica, VHDL-AMS, Gosh 등이 있다[7].

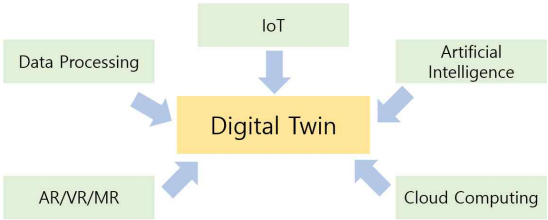

그림 1. 디지털 트윈과 기반기술 개념도
Fig. 1. Digital Twin and basic technology concept diagram

Ⅲ. 국방분야 적용방안

국방분야는 준비태세 확립을 위해 상시 적의 동태를 파악해야 하는 경계태세 유지, 유사 시 다양한 작전환경에서의 의사결정이 요구된다. 또한, 민간분야와 다르게 각종 악조건 시 운용이 전제되어 있으며, 국방분야 내에서도 민간 부처에서 수행하는 시설, 장비, 재난관리 등의 역할을 담당해야 한다. 디지털 트윈 기술은 기존 국방분야의 인력위주의 노동집약적 구조 개선을 통해 정부의 디지털플랫폼 전환에 기여할 수 있을 것이다. 이를 위해서 국방분야도 데이터, 네트워크, 인공지능(D.N.A)을 기반으로 한 국가 전략기술 적용과 국방개혁 4.0을 통해 첨단과학기술 기반 군 구조 발전을 추구하고 있다.

3-1 제조분야

국방분야의 제조는 군수품이 다양한 악조건 속에서 운용할 수 있는 요구성능을 만족해야 한다. 이를 위해 제조 과정에서는 소요기획, 설계 단계에서 극한환경을 조성하여 이를 검증할 필요가 있다. 또한, 무기체계는 복잡다단한 구조를 가지고 있어 제조 시 각 공정에 대한 모니터링이 요구되며, 전력화 이후 다양한 하부 장비의 정비 소요가 동반된다. 디지털 트윈이 최초 수행된 사례는 1960년대 NASA에서 우주선 제조 시 복잡다단한 과정을 원격에서 시스템 통제하는 제조 분야에서 시작되었으며, 민간분야에서는 지속적으로 복합 체계의 효과적인 설계, 제조, 시험평가 시 활용되었다.

대한민국은 무기체계 개발 간 소요되는 기간, 비용, 위험 및 인력을 절감하고 해외 시험평가 시 발생할 수 있는 기술유출 대비, 운영유지비 절감을 위한 디지털 트윈 기술 접목에 주목하고 있다. 방위사업청은 2023년 10월 '무기체계 특성을 고려한 디지털 트윈 적용 방안' 주제로 토론회를 개최하였으며, 관련 TF를 구성하고 있으며[8], '무기체계 디지털 트윈

활용 지침'을 제정・발령하였다[9]. 해군에서는 2020년 국방실험과제로 실제로 시험할 수 없는 위험한 해난구조 상황을 구현하고 결과를 분석해 실제 해난구조 상황에 적용하는 것을 목표로 디지털 트윈을 이용해 해난구조 모의실험체계 개발을 수행하였다. 실험체는 해상크레인의 장력, 선박의 움직임, 자세 등 체계 특성과 파고, 파주기, 조류 등 자연환경의 계측 정보를 센서를 통해 인식하고 시뮬레이션을 수행하게 된다[10].

미국은 DARPA가 2010년 AVM(Adaptive Vehicle Make) 프로그램을 통해 최초로 컴퓨터 공간을 활용해 지상차량의 연구개발과 제조과정을 비용 및 시간 단축을 시도하였다[11]. 이후 발전을 거듭하여 F-35 개발 간에는 디지털 쌍둥이를 구축하여 설계, 제작 및 물리 역학 분석 뿐만이 아니라 다양한 상황에 대한 모의 시험을 수행하였으며, 이를 통해 미래 성능과 수명, 실패 확률 예측을 진행하였다. 생산 간에는 록히트 마틴 공장에서 공정 전체를 디지털 모델링 하였고, 이를 기반으로 실제 공정의 계획, 제작, 물품 이동 과정을 실시간 관리 및 측정에 활용하였다[12].

디지털 트윈은 제조공정 개선 외에도 유지관리 측면에서 활용될 수 있다. 디지털 트윈 설계도를 3D 프린터에 연결해 적시적으로 필요 부품을 제조하는 형식으로 즉각적인 현장정비를 통해 전투력 보존 및 발휘를 지원할 수 있다.

시험 평가 분야에서 무기체계는 민간 상용품보다 척박한 환경에서의 성능 유지와 야전 운용 시 기능 발휘가 요구되며, 이를 평가하기 위한 환경 구축, 시험평가 진행 등에 인력, 시간 및 비용이 소요된다. 또한, 인력에 의한 평가 수행으로 인해 오류의 가능성이 항상 내재하고 있다. 기존 방식에 가상환경 구축을 통한 디지털 트윈 기술 적용 시 제반 사항 준비에 대한 절감, 체계 매뉴얼에 따른 평가 진행을 통해 인간적 요소로 인한 평가 결과의 훼손 가능성을 최소화 하는 것이 가능하다.

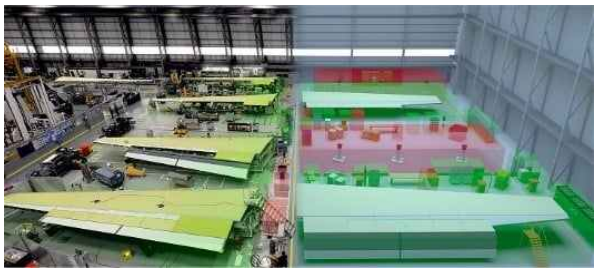

그림 2. 록히드마틴 F-35 제조공정의 디지털 트윈 기술 적용
Fig. 2. Application of Digital Twin technology to Lockheed Martin F-35 manufacturing process

또한, 디지털 트윈은 개발 이전 단계에서도 활용할 수 있다. '국방전력발전업무훈령' 상 무기체계 획득 절차는 연구개발이나 구매 이전 작전운용성능이나 군사요구도를 제시하는 소요제기, 선행연구 등 사전개념 단계를 거친다[13]. 연구개발 같이 물리적 형상이 없는 경우 기존 체계나 국외사례를 차용하는 등 경험적인 제시가 이뤄지고 있다. 이 과정에서 디지털 트윈을 거쳐 가상 환경을 통해 충분한 모의가 이뤄진 후 실질적인 요구성능 제시가 수행된다면 우리나라 환경에 적합한 기능발휘가 이뤄질 것이며, 과도한 성능 요구로 인한 비효율적인 획득이나 필수 성능 누락으로 인한 차후 문제점 발생을 예방할 수 있을 것이다.

3-2 교육훈련

국방분야 교육훈련의 목표는 '싸우는 대로 훈련'하는 것이므로, 실제 작전의 모든 상태와 환경을 유사하게 조성하여 훈련하는 것을 목표로 한다. 기존의 교육훈련 체계는 훈련공간의 제약, 안전, 비용상 제약으로 인해 전장의 복잡다단한 상황과 야간, 악천후 등 악조건의 상황을 형성하고 다양한 작전환경에 부합한 대응능력을 구비하는 것이 제한되고, 대규모의 전술훈련 외에는 효과적인 교육훈련 성과 달성이 용이하지 않다. 또한, 작전상황의 변화를 구현하는 것이 제한되어 일정한 사태를 바탕으로 훈련을 진행하거나 기존의 작전계획을 그대로 반복해 상황조치 능력 달성이 미비하였다. 디지털 트윈 기술은 구축된 가상환경을 다시 실제환경에 투영하거나 조작을 통해 환경 조성이 가능하다. 이를 이용해 훈련 시 원하는 시간, 장소를 묘사할 수 있다. 또한, 각종 시뮬레이션을 통해 무작위 상황모의를 통해 특정 사태에 국한되지 않으며, 예기치 못한 상황 및 우발상황 제시가 가능하다. 이를 통해 훈련인원은 각종 상황에 대한 대응능력 향상을 기대할 수 있다. 또한, 훈련 이후 추적 가능한 디지털 환경에서의 기록을 이용해 전반적, 특정 국면에 대한 정밀한 훈련상황 복기를 통해 효과적인 사후강평이 가능할 것이다.

또한, 차후 전장공간은 지상, 해상, 공중을 넘어 우주 및 사이버 영역까지 확장하고 있으며, 사용되는 무기체계는 첨단화하여 전쟁국면은 지속적으로 복잡해질 것이다. 디지털 트윈 기술은 실제 세계의 복잡한 시스템을 모델링하고 시뮬레이션 함으로써 대비해야 할 미래전의 복합성, 무인화, 지능화 등 다양한 변수를 사전 체험하고 대응할 수 있는 역량을 구비하는데 핵심적인 역할을 할 것이다.

대한민국은 '합성훈련환경(STE) 플랫폼'을 통해 시뮬레이터, 워게임 모델, 게임 등을 동일한 가상공간에 통합하여 시공간 불문 훈련이 가능한 훈련체계 구축 사업을 시행 중이다[14].

미군은 육군 미래사령부 내 합성훈련환경 교차기능팀 조직을 편성해 다차원의 전투 준비를 위한 훈련 체계를 운용 중에 있다[15]. 디지털 트윈 기술을 활용하여 항공기, 탱크 및 VR 훈련 프로젝트를 확장하고 있다. UH-60 블랙 호크 헬리콥터를 3D 스캔하여 디지털 트윈을 생성, 이를 통해 병사들이 무기 분해 및 유지보수 훈련을 받을 수 있다[16].

디지털 트윈 기술은 현장 전투원과 지휘관 및 참모의 역량 향상에 국한되지 않고 무인 전투체계 발전에도 기여할 것이다. 새로운 랜덤 유한 집합 기반 알고리즘을 통해 실시간으로

전장 상태를 학습하며, 이는 전장의 다양한 요소와 상황을 분석하는 기반이 될 것이다. 다량의 전투 데이터 학습을 통해 무인 전투 시스템은 실시간으로 전장 상황에 대응하고 적응할 수 있는 유연한 사고를 탑재할 수 있을 것이다.

그림 3. 미 육군 합성훈련환경 활용 훈련사례
Fig. 3. Training case using the U.S. Army STE(Synthetic Training Environment)

3-3 군수보급

전시 군은 작전지역 내 기동로와 보급로를 관리하고 이동통제를 실시해 부대전개 및 지속지원 활동이 원활하게 이뤄지도록 전장순환통제를 실시한다. 이를 위해 이동상황 파악 및 보고, 미인가 차량 및 인원에 대한 도로유입 통제, 도로 상 장애물 및 피해복구, 고장차량 정비 또는 구난 과업 등을 수행한다. 전시에는 한정된 공간 내 전투부대 전개, 지속지원을 위한 수많은 이동소요와 우선순위 선정 소요가 발생하고, 기동로와 보급로는 교량 파괴, 도로 파손, 협소한 도로, 결빙 및 유실 등 다양한 지형 및 기상의 영향을 받으며, 군 차량 이외에도 다양한 민간인, 피난민 및 차량이 존재한다. 이외에도 적 및 동조세력에 의한 후방지역 보급로 파괴와 각종 전복활동으로 우발상황이 상존할 것이다. 기존 전장순환통제를 위한 제반자료는 도로상태, 이동관리 상황 및 부대위치 등 기본적인 정보 제공에만 한정되어 있다. 부족한 정보는 지휘관 및 참모의 임의적 판단을 유도하여 오판의 가능성이 상존한다. 또한, 전시 총력전 개념으로 민・관・군・경이 통합된 전장순환통제 활동이 요구되고 있다. 군은 국군수송정보체계 운용 및 유사시 정부부처 및 경찰에 상호연락관을 운용하는 등 통합방위 발휘를 위한 노력을 수행하지만, 정보체계의 부처 간 정보유통이 제한되어 있고, 디지털 트윈 도입이 민간분야보다 지연되어 실시간의 상황인식과 대응이 적시에 이뤄지지 못할 우려가 있다. 디지털 트윈을 통한 군수・보급 분야 가시화는 복잡한 군수품의 전체 흐름을 파악하고, 실시간 모니터링을 통해 예측할 수 없는 변수 상황에 대안을 적시에 제공할 수 있다. 특정 기동로 파괴 시 단순히 최기・예비 기동로만을 선택하는 것이 아닌 전반적인 상황을 고려한 시뮬레이션을 통해 단시간에 최적의 대안을 지원할 수 있다는 점에서 지속지원 수준을 향상시킬 수 있다. 또한, 필요 시 부처 간 트윈 체계 통합을 위해 사전에 호환 가능하도록 설계가 이뤄진다면 민간, 정부분야에 대한 정보를 적시에 파악해 통합적인 대응이 가능할 것이다.

차후 군수보급은 작전부대 기동화로 인한 속도 향상과 작전범위 확장으로 인해 지원범위가 확대될 것이다. 또한, 각종 첨단기술을 도입한 장비를 운용함에 따라 다종의 부품에 대한 적시・적소・적량의 원활한 지원이 요구될 것이다. 이러한 점에 있어서 디지털 트윈은 숫자로 기록되는 물류량의 데이터를 시각화를 통해 운용 인원의 직관적인 이해를 용이하게 하며, 실시간 상황변화를 반영하여 최적의 선택을 지원할 수 있을 것이다.

3-4 감시정찰

경계작전은 작전지역 안으로 접근하는 대상을 사전 감지하고 침투한 적은 동선을 역추적하여 작전지역 확대를 방지하는 것이 핵심적인 사항으로 전천후 탐지와 신속한 대응이 항시적으로 요구된다. 현재 인구감소로 인한 병력감축을 해결하기 위해 GOP 부대의 '과학화경계시스템'과 해안 경계부대의 '해안복합감시체계' 도입을 진행 중에 있다[17]. 하지만, 감시체계의 레이더의 잡음신호나 광망센서의 민감도로 인한 오취명이 지속적으로 문제점으로 지적되고 있으며, EO/IR, 레이더, CCTV 등 다수의 감시장비가 복합적으로 운용되고 있으나 체계 간 분리되어 운용해 정보 융합 시 경계작전 수행인원에 의한 종합적 판단이 요구되는 제한사항이 존재한다. 이러한 상황에서 디지털 트윈 기술의 공간을 그대로 가상에 구현하여 실제 현상을 제어하는 장점은 기존 경계작전 능력을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 민간분야에서 디지털 트윈 기술을 활용하여 자연재해와 사회재난 등 불확실성이 크고 예상이 어려운 사태에 대한 명확한 예측 및 탐지와 상황 발생 시 정확한 대응이 가능하도록 개발하고 있다[18]. 경계작전 분야에서도 디지털 트윈을 활용하게 된다면 사전에 적, 동조세력의 침투수단, 방법 및 예상침투로에 대한 분석과 이에 대한 효과적인 대응방안을 마련하는 데 과학적인 도구를 활용할 수 있으며, 상황판단-대응 주기가 짧아져 선제적 대응이 가능할 것이다. 또한, 다양한 감시수단이 융합되어 구축된 가상공간에서 사전 탐지와 침투 발생 시 적의 움직임이 실시간으로 도시되기 때문에 지속적인 접적유지를 통한 관리가 가능하여 최종적으로 적의 침투 좌절을 이룰 수 있다.

정찰 분야에서는 디지털 트윈을 이용해 전장 가시화와 시뮬레이션 정보 제공을 통한 지휘결심 지원이 가능할 것이다. 작전 시 지휘관은 상황평가를 통해 상황인식, 호기 및 위협 식별, 차후 행동에 대한 결심을 바탕으로 대응을 수행하게 되며, 이러한 일련의 절차를 보조하기 위해 NAI(Named Area of Interest : 중요감시지역)-DP(Decision Point : 결심지점)-TAI(Target Area of Interest : 관심타격지역)의 절차를 거친다[17]. 여기서 첫 번째 과정이 되는 지점은 적의 상황에 대한 정보를 습득하는 것이며, 적시적인 정보 제공은 민첩한 대응의 기초가 되며, 반대로 시기를 상실한 정보는 결심

보좌의 기능을 상실할뿐만 아니라, 주도권 상실을 불러 일으킬 수 있다. 이를 위해 부대의 능력과 상황을 고려하여 감시부대 및 자산을 배치 및 조정한다. 정보수집을 위한 자산은 병력, 유・무인 정찰기, 지상감시레이더, 정찰위성 등이 있으며, 정보는 종류에 따라 영상정보, 신호정보, 인간정보로 분류하며 이를 융합하여 적 상황 및 방책을 판단한다[19]. 하지만, 정보수집 또한 경계작전과 마찬가지로 다종의 정보를 융합하는 과정에서의 혼선이 존재하며 인력에 의해 판단이 이뤄지므로 경험적, 직관적 판단의 영향을 배제할 수 없다. 또한, 소규모 부대일수록 시각적 정보에 의존하여 획득할 수 있는 정보의 양이 감소한다. 여기서 디지털 트윈 기술은 진동, 열 등 다종의 센서 배치를 통해 시각에만 의존하던 정찰의 능력과 신뢰성을 제고할 수 있으며, 제 감시수단의 통합과 2차원 수준의 정보를 가상공간의 3차원 영역까지 확장하여 정보를 판단하는 인원 및 지휘관에게 입체적이고 현실감 있는 정보를 전달할 수 있다.

3-5 사이버 보안

디지털 트윈 기술은 실제 세계를 가상공간으로 투영하는 것에 국한되지 않고 가상환경 자체에 대한 위협 식별 분야까지 확장할 수 있다. 그리고 이를 네트워크 및 컴퓨터를 통해 각종 정보 교환 및 공유가 이뤄지는 사이버 공간에 적용할 수 있다. 사이버 작전은 적의 사이버 위협 및 공격으로부터 아군의 정보체계를 보호하는 방어적 활동과, 적 사이버 역량의 효과 창출을 거부, 방해, 저하 및 파괴하는 공세적 활동으로 나눌 수 있다. 기존 사이버 보안 분야는 IDS, IPS 등 탐지 후 사후대응의 방어체계가 주를 이뤘다. 또한, 최근 생성형 AI 기술을 통해 다각화되는 사이버 공격 경로를 예상하고 선제적으로 대응하는 데 제한이 있으며, 주로 국가 및 군사 중요시설의 정보체계에 대한 사이버 방어를 수행하기 때문에 해당 환경에 대한 훈련을 진행하거나 공격 발생 시 주요 인프라의 물리적 피해를 평가하는 것이 제한되고 있다[20].

디지털 트윈 기술 활용 시 인공지능을 활용한 공격 시나리오 및 도구를 생성하여 가상의 모의 해킹을 통해 아 방어체계의 취약점을 확인할 수 있으며, 트윈 환경으로 모사된 세계에서의 피해 정도를 확인할 수 있다. 실제로 NASA는 사이버 보안 탐지를 위해 IIR GPS 위성의 디지털 트윈 제작을 통해 해킹, 취약성 검토 등의 모의 침투를 수행하고 있다[21]. 또한 디지털 트윈은 실시간 정보를 사용하기 때문에 공격 및 방어 시 초 단위의 시뮬레이션을 통해 변이과정을 예측하고 분석을 통해 적보다 빠른 취약점 확보 및 아측의 대응수단 강구에 활용할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

3-6 의사결정 지원

미래 전장은 다양한 정보체계로 인해 접하는 정보량이 폭증함에 따라 오히려 최적의 의사결정이 제한될 것으로 예상된다. 전장에서의 의사결정 지연은 작전반응시간 지연과 수동적 대응을 불러일으킬 수 있다. 최근 막대한 정보량을 처리하여 의사결정자의 건전한 판단을 지원할 수 있는 인공지능 발전이 이뤄지고 있으며, 이는 국방 분야에도 활발히 이뤄지고 있다[22]. 효과적인 의사결정 지원을 위해서는 크게 정확한 전장공간과 상황인지, 인식한 정보를 토대로 대응책을 수립하는 방책구상이 필요하다. 디지털 트윈은 전장 가시화 및 상황묘사, 시뮬레이션을 통한 다양한 방책 제시를 통해 전장 지휘관 및 참모의 대응능력을 한 층 향상시킬 수 있을 것이다.

전장인식은 멀티모달 데이터를 이용하여 다방면의 데이터를 중첩하여 신뢰성 있는 환경을 구축하는 방향으로 이뤄지고 있다. 미 DARPA는 다영역 전장인식을 위한 AIDA (Active Interpretation of Disparate Alternatives) 프로젝트를 수행 중이다. 이를 통해 다양한 비정형 데이터의 정보를 추출하여 맵핑, 상관관계를 분석, 시뮬레이션을 통한 다양한 가설과 이에 대한 신뢰도를 제시한다[23]. 국방분야의 디지털 트윈 기술은 비단 국가 차원에서의 연구개발과 도입에 국한되지 않고 있다. 최근 러시아-우크라이나 전쟁 간 우크라이나 군은 미 Palantir 사의 Gotham을 도입하였다[24]. 해당 체계는 기존에 마약, 테러행위를 감시하며 2011년 오사마 빈 라덴을 사살했던 넵튠 스피어 작전에 활용되고, 영상, 신호, 위성정보, SNS 등 다양한 데이터 수집 수단을 통해 적 부대 위치 가시화, 대응 방책 추천을 수행한다. 또한, 해당 회사는 초거대 언어모델을 기반으로 의사결정 뿐만 아니라 공급망, 데이터 관리를 단일 체계로 관리가 가능한 AI-Platform을 개발하였다.

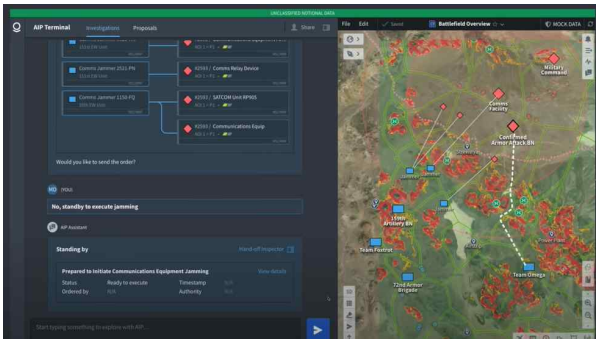

그림 4. Palantir 사 AI-Platform 실사 화면
Fig. 4. Palantir's AI-Platform performing screen

의사결정 지원은 개인 전투원까지 확대되고 있다. 미군은 전장인지를 위해 통합시각증강시스템(IVAS: Integrated Visual Augmented System) 도입을 통해 전장에서 식별된 정보를 개인 전투원의 전자 고글에 도시하여 상황인식을 보조한다. 작전계획 수립 시에는 공통의 작전상황도를 공유하고 각종 시뮬레이션을 통해 소규모 부대에서도 최소 손실을 통해 적에게 최대 피해를 강요할 수 있는 방안을 구상할 수 있다[25].

또한, 전투상황에만 한정되지 않은 의사결정 지원을 위한 연구개발을 진행 중에 있다. DARPA의 COMPASS(Collection

and Monitoring via Planning for Active Situational Scenarios) 프로젝트는 군사적 대립이 시기적으로는 개전 이전 장기간에 걸쳐 이뤄지고 있으며, 공간적으로는 역외 및 회색지대(Gray Zone)에서 광범위하고 복합적으로 이뤄진다는 인식에서 출발하였다. 해당 환경은 물리, 사회, 심리, 종교적 요소가 혼재되어 있으며, 적과 국내외 상황에 따라 다양한 의도와 이로 인한 불확실성이 증대된다. COMPASS는 이를 해결하기 위해 장단기적 평가의 구분과 PMESII-PT 정보를 비롯하여 SNS, 사이버 환경 등 다양한 정보수집을 통한 추론을 통해 행위 관계자에 대해 보다 심층적인 분석을 수행한다[26].

위 사례들은 디지털 트윈이 물리적 데이터에 국한되지 않으며, 추론 과정 후 대응 방안을 제시까지 이뤄진다 점에서 기술수준 5단계인 자율 수준의 사례라 할 수 있다.

Ⅳ. 국방 디지털 트윈 구축을 위한 필요기술

앞서 언급한 것처럼 디지털 트윈 기술은 실제 세계를 가상공간에 옮겨 입체적이며 직관적인 상황인지가 가능하고, 각종 시뮬레이션을 통해 최적의 의사결정이 가능하다는 장점이 있다. 디지털 트윈이 국방 분야에 알맞게 적용되기 위해서는 안보 환경으로 말미암은 기술적인 도전과제와 군 특성에 적합한 적용을 위한 기술개발이 이뤄져야 할 것이다.

4-1 디지털 트윈 보안 기술

디지털 트윈 기술은 IoT, AI, 5G 등 첨단 기반 기술을 구성요소로 하고 있어 해당 요소에 내재한 보안 취약점을 그대로 드러낼 수밖에 없으며, 이에 대한 보안조치가 병행되어 이뤄져야 할 것이다. 디지털 트윈은 방대한 양의 데이터를 처리함과 동시에 정보보안의 3요소인 기밀성, 무결성, 가용성을 보장해야 한다[27]. 간단없는 정보 흐름을 위해 IoT 인프라와 클라우드 플랫폼에 대한 보안조치를 구현되어야 한다. 트윈 구축을 위해 다수의 노드와 이를 연결하는 네트워크가 사용되기 때문에 공격자 입장에서는 공격 범위가 광범위해지며, 간단한 센서의 경우 그 난이도가 현격히 하락하는 장점이 있다[28].

또한, 디지털 트윈을 역이용한 공격에 대한 대응이 필요하다. 디지털 트윈이 가상환경을 통해 현실세계를 통제할 수 있으므로 공격자는 사이버 공간을 통해 실제 물리 시스템을 타격하는 새로운 사이버 공격행위를 수행할 수 있다[29]. 이외에도 트윈 공간을 이용해 수집 데이터나 시뮬레이션 결과를 조작, 왜곡해 올바르지 못한 의사결정으로 이끌 수 있어 내부 위협에 대한 예방 및 대응이 담보되어야 한다.

다양한 IoT 기기 간 데이터 전송과 공유가 이뤄지는 디지털 트윈 공간 내 취약점을 이용한 보안 위협에 대한 대응이 이뤄져야 한다. 이에 대해서는 전송되는 데이터, 패킷 암호화와 기기 상호인증 기술을 활용할 수 있다. 각 기기에서 전송되는 정보의 암호화를 위해 키 및 권한 토큰 생성, 암・복호화 등을 수행한다. 또한, 아측의 기기를 위장한 동일 기기로부터의 복제 공격에 대응하기 위해 디지털 워터마킹과 같은 고유의 패턴을 통해 피아식별이 가능하다. 이를 통해 만일 위변조되거나 악의적인 정보를 접할 시 거부 및 필터링이 이뤄질 수 있다[30].

또한, 수집되는 정보 중 민감정보에 대한 안전성 및 보안성 확보를 위해서는 중요 데이터 및 로직을 보호해야 한다. 이는 메인 프로세서 내 별도의 보안 영역에 분리하는 방식으로 이뤄질 수 있으며, 고유 특성 기반 인증 토큰을 통해 검증한 후 견고한 환경에서 연결 및 전송 절차를 진행할 수 있는 인증 방식을 적용할 수 있다. 신뢰 실행 환경(Trusted Execution Environment) 구축을 통해 엔드 디바이스에 대한 정보를 무작위로 수집 및 악의적 접근에 대해 대응할 수 있다[31].

적에 의해 정보를 가장한 허위 첩보 유포 등에 대응하기 위해서는 역으로 공격자를 유인해 침입에 성공한 것처럼 가장해 아군의 초기 위협대응 시간 확보와 추적할 수 있는 허니팟[32]을 활용할 수 있다. 이는 기존의 메인 네트워크와 격리해 운용하여 중단 없는 정보유통이 가능하다는 장점이 있다.

4-2 통합 정보 기반 설명가능한 인공지능

국방과 민간분야의 가장 큰 차이점은 적이 상존하고 있으며, 이로 인해 수집되는 정보의 질과 양에서 차이가 발생한다. 전장은 적의 활동으로 인해 행동의 자유가 보장된 공간이 제한되므로 센서 설치를 위한 시공간적 제약이 존재해 불충분한 정보 수집이 전제가 된다. 또한, 적에 의한 각종 기만 및 방해활동을 통해 수집된 정보의 신뢰성을 온전히 보장할 수 없다. 그러므로, 전장에서 정보는 본질적으로 모든 것을 알 수 없고, 여러 해석이 가능하며, 적의 기만에 취약하기 때문에 불완전한 것을 기초로 한다. 또한, 선제적인 대응을 위해선 현재의 정보를 바탕으로 예상되는 미래에 적의 능력, 방책을 예측해야 한다. 즉, 전장에서는 가상환경 트윈 구축 단계에서부터 부족한 기반시설을 바탕으로 적의 활동을 가정 및 추정하는 기술이 요구될 것이다. 부족한 데이터를 보강하는 방법에는 상급부대 및 각종 주변 정보 및 징후를 활용하는 기술이 이용될 수 있다. 적의 활동은 정치, 사회, 군사문화 등의 환경과 지형 및 기상, 상급부대로부터 부여받은 임무와 각종 지침 등으로부터 직간접적인 영향을 받으므로, 이에 대해 민・관 분야의 포괄적인 정보 융합이 필요하다.

디지털 트윈 환경 내 무형적 요소의 결합이 이뤄져야 한다. 전투를 수행하는 역량이나 힘의 요소를 뜻하는 전투력은 병력, 무기, 장비, 물자 및 시설 등 유형적인 요소 뿐만 아니라 정신력, 사기, 군기, 훈련수준 및 리더십 등 무형적 요소로 결합되어 있다. 군 특성상 임무 완수의 중요성이 여타 직업군에 비해 강해 막대한 손실을 감수하면서도 전투에 임한다. 이로 인해 때에 따라 유형적으로 불리한 상황을 극복한 전쟁 사례

가 다수 존재하며, 대한민국 KCTC 훈련결과 분석 결과 정량적으로 이 차이는 71%까지 보여짐을 확인할 수 있다[33]. 전투는 이를 수행하는 인간의 심리적인 요소에 의한 돌발사례가 다수 발생한다. 전장은 불확실과 우연의 연속이고[34], 이는 군기나 훈련상태와 무관한 전투원의 인간적인 면모에 의해 발생하곤 한다. 전장에서 발생할 수 있는 일반적인 심리현상은 개인차에 따라 필승의 신념과 패전의식의 공존, 공포, 유언비어, 공황, 지각능력의 저하, 가치기준의 저하, 전투 신경증 및 피로증이 발생할 수 있다[35]. 전장에서 디지털 트윈을 통해 보다 정밀한 의사결정 지원을 위해선 위와 같은 돌발적인 상황과 전투원의 심리 등 정성적 요소가 반영되는 행동에 대한 학습과 모델링이 이뤄져야 할 것이다.

표 2. 의사결정 조언을 위한 데이터 통합 필요 분야
Table 2. Required data integration for decision making support

Level	Source	Data description
PMESII	News	Keywords, topics, actors and events Articles in mainstream publications
	Culture/ Census	Doctrine(Communisim) Intensity, zealots, rebellious level, etc.
	Social Media	Keywords, topics, actors and events Microblogs, Media, forums, etc.
	Utilities	Critical Infrastructure maps and models
	Police report	Crime, riots, protests, etc.
	Cyber	Reports of services disruptions and cyber-attacks
Tactical	Mission	Analysis of the tasks assigned, essential task, purpose of the operation, etc.
	Terrain/ Weather	Observation and fields of fire, avenue of approach, key terrain, etc.
	Troops/ Support	Availalble troops or support, combat support, friendly force, etc.

또한, 부족한 정보일지라도, 학습된 모델과 수집된 정보를 기반으로 실제 작전을 수행하는 지휘관 및 참모를 설득할 수 있는 결과를 도출해야 한다. 이는 납득 가능한 대안의 제시, 부족한 정보에 대한 비약 없는 추론과 필요 시 제한사항을 정직하게 보여주어 최종적으로 의사결정에 도움이 되는 설명가능한 인공지능(X-AI, Explainable AI) 기술 발전을 요구한다. 이는 기존에 인간이 이해하지 못하는 방식으로 이뤄진 딥러닝 방식을 개선하여 설명 가능한 특징을 학습 및 추론하고, 설득할 수 있는 인과관계 모델을 사전에 학습해 구조적인 해석이 가능한 기술의 확보가 필요하다. 이에 대한 효과성 척도로는 DARPA 가 수행하고 있는 X-AI 5개 기준인 사용자 만족도, 이해도, 작전 수준의 향상, 신뢰도 및 정확도를 기준으로 제시할 수 있다[36].

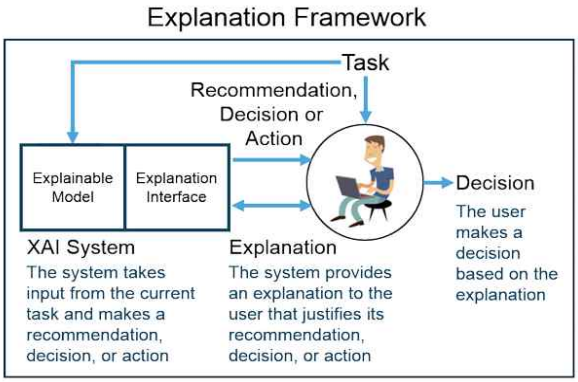

그림 5. 미 DARPA 설명가능 인공지능 체계도
Fig. 5. Architecture of DARPA's XAI System

4-3 경량화 트윈 환경 구축 기술

국방분야의 디지털 트윈은 다양하고 방대한 데이터를 시각화하여 전장가시화를 통한 신속한 의사결정과 작전반응시간의 단축, 주도권 확보를 보장한다. 원활한 시각화 위해서는 복합적인 데이터의 높은 수준의 데이터 재현 수준과 변화하는 상황에 대한 실시간 최신화가 필요하다[37]. 또한, 육군 기준 전술제대 이하인 대대급 부대까지 높은 단계의 디지털 트윈 환경을 활용하기 위해서는 한정된 데이터 대역폭 내 경량화된 데이터 환경 구축이 필요하다. 모델 경량화를 위해서는 환경 구축에 필요한 다양한 기능을 즉시 사용할 수 있으며, 필요 소프트웨어 구성요소 재활용이 가능한 Unity를 비롯한 게임엔진을 활용하는 방법이 있다. 게임엔진은 VR 제작을 통한 교육훈련 및 개인 전투체계 호환이 용이하며, 각종 GIS 데이터 기반 시뮬레이션 연구에 이용되고 있어[38] 경량화 트윈 환경 구축에 적합할 것으로 판단된다.

또한, 방대한 양의 수집 데이터를 한정된 성능을 가진 기기에 활용할 수 있는 경량화된 딥러닝 모델이 필요하다. 이는 추론을 수행할 때 디버깅 시스템을 통해 계층별로 중단점과 반복, 롤백 기능과 함께 실시간으로 파라미터 값을 확인함으로써 적용한 옵션이 유효한지 판단하는 기술의 적용을 통해 극복이 가능하다. 디버깅을 통해 상이한 옵션을 적용하며 적용한 사항이 유효한지 판단할 수 있으며 비교분석을 통해 제한된 성능 내 최적의 경량 모델을 확인할 수 있다[39].

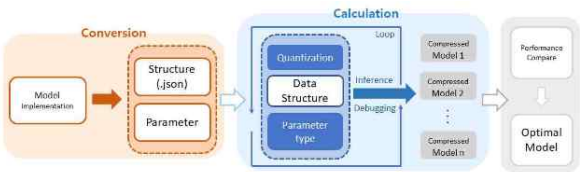

그림 6. 경량화 딥러닝 모델 체계도
Fig. 6. Light deep learning model system diagram

V. 결 론

이 연구는 국방 분야의 특성과 디지털 트윈의 적용방안 및 이에 기대되는 발전방안을 탐색할 수 있었다. 향후 인구감소로 인한 병력감축으로 군은 기존의 인력, 노동 위주의 임무수행을 첨단기술로 전환해야 할 것이며, 디지털 트윈은 그 변화에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 국방 분야의 특성인 적 사이버 공격에 대한 대응 필요성, 부족한 정보를 보강하기 위한 통합적인 정보수집 및 정성적 요소의 반영, 소규모 부대의 네트워크 역량에 맞춘 경량화된 디지털 트윈 환경 기술 등을 도출하였다.

본 연구는 적용가능한 국방분야의 특징 분석과 이를 디지털 트윈 기술을 통해 부담을 경감, 목표 달성을 용이하게 할 수 있는 방안에 대한 개괄적인 제시를 수행하였다. 세부적인 임무수행 및 업무 프로세스 모델링과 과제 도출은 차후 전반적인 연구를 통해 이뤄져야 할 필요가 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] Presidential Committee on the Digital Platform Government, Digital Platform Government Realization Plan, Author, Seoul, 2023.

[2] Department for Business and Trade, National Digital Twin Programme (NDTP), Author, London, UK, October 2023.

[3] M. Grieves, *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*, New York, NY: McGraw-Hill, 2005.

[4] J. H. Woo, "A Fundamental Consideration of Digital Twins," *Society for Computational Design and Engineering Webzine*, June 2023.

[5] D. Y. Jeong, S. T. Kim, and Y. B. Kim, "Digital Twin Technical Definition and Detailed Development 5-Level Model," *Weekly ICT Trends*, No. 1983, pp. 15-27, February 2021.

[6] The Business Research Company, IIoT Platform Global Market Report 2023, Author, Hyderabad, India, 2023.

[7] H. R. Cho and K. M. Park, "Application of Digital Twin in Metaverse," *Broadcast and Media Magazine*, Vol. 27, No. 3, pp. 79-91, July 2022.

[8] Yeonhap News. DAPA, 'Application of Digital Twin Weapon System' Debate [Internet]. Available: https://www.yna.co.kr/view/AKR20231013038400504.

[9] Artificial Intelligence Times. Designing the Future of Weapon Systems with Digital Twins!...DAA Agency Establishes 'Weapon System Digital Twin Utilization Guidelines' [Internet]. Available: https://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=29931.

[10] J. Lee and S.-H. Ham, "A Study on the Application of Digital Twin Technology for Each Stage of the Naval Weapon System Force Development Work," *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, Vol. 29, No. 1, pp. 11-24, April 2022. http://doi.org/10.52798/KADIS.2022.29.1.2

[11] DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency). Adaptive Vehicle Make (AVM) [Internet]. Available: https://www.darpa.mil/program/adaptive-vehicle-make.

[12] A. F. Mendi, T. Erol, and D. Doğan, "Digital Twin in the Military Field," *IEEE Internet Computing*, Vol. 26, No. 5, pp. 33-40, September-October 2022. https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3055153

[13] Ministry of National Defense, National Defense Power Generation Service Order, Author, Seoul, MND Instruction No. 2845, September 2023.

[14] News1. 'Train Anytime, Anywhere'… Full-Fledged Promotion of the Establishment of a Scientific Training System for the Military [Internet]. Available: https://www.news1.kr/articles/?4990951.

[15] U.S. Army. Synthetic Training Environment Offers Multi-Dimensional Combat Preparation [Internet]. Available: https://www.army.mil/article/254005/synthetic_training_environment_offers_multi_dimensional_combat_preparation.

[16] Red Six Aerospace. Boeing, Red 6 Complete First Augmented Reality Test Flight [Internet]. Available: https://red6ar.com/boeing-red-6-complete-first-augmented-reality-test-flight.

[17] E.-S. Shin, T.-H. Kim, J.-E. Cha, and J.-K. Han, "Study on Effective Operation of the Advanced Border Surveilance System of ROK.Army," *Korean Journal of Military Art and Science*, Vol. 77, No. 2, pp. 344-362, June 2021. https://doi.org/10.31066/kjmas.2021.77.2.013

[18] J. Noh, H. Park, and S. Myeong, "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*, Vol. 25, No. 1, pp. 1-33, March 2022. https://doi.org/10.22896/karis.2022.25.1.001

[19] H. K. Yoo and J.-M. Chung, "Improvement Methods for Intelligence Surveillance and Reconnaissance (ISR) Capabilities of the ROK Triad System Using Extended Reality (XR) and Digital Twin Technologies," *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, Vol. 30, No. 2, pp. 155-165, August 2023. https://doi.org/10.52798/KADIS.2023.30.2.12

[20] Korea Innovation Foundation/Innopolis Foundation, Promising Market Issue Report: Digital Twin, Author, Daejeon, Global Market Trends Report, July 2021.

[21] B. Y. Kim, "In the Digital Twin Era, Information Protection Policy Tasks," *Planning and Policy*, No. 474, pp. 49-56, April 2021.

[22] D. H. Kim and S. J. Lee, "Utilizing Artificial Intelligence (AI) and Battlefield Digital Twin (DT) Intelligent Command Decision Support Technology Trends and Development Plans," *Defense Science & Technology Plus*, Vol. 252, No. 2, pp. 25-38, 2021

[23] DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency). Active Interpretation of Disparate Alternatives (AIDA) [Internet]. Available: https://www.darpa.mil/program/active-interpretation-of-disparate-alternatives.

[24] Reuters. Ukraine is Using Palantir's Software for 'Targeting,' CEO Says [Internet]. Available: https://www.reuters.com/technology/ukraine-is-using-palantirs-software-targeting-ceo-says-2023-02-02/.

[25] U.S. Army. Army Accepts Prototypes of the Most Advanced Version of IVAS [Internet]. Available: https://www.army.mil/article/268702/army_accepts_prototypes_of_the_most_advanced_version_of_ivas.

[26] DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency). Collection and Monitoring via Planning for Active Situational Scenarios (COMPASS). [Internet]. Available: https://www.darpa.mil/program/collection-and-monitoring-via-planning-for-active-situational-scenarios.

[27] Y. W. Kim, "Digital Twin Concept and Technology and Use Cases by Industry Sector," *Intelligence Information Technology Trend*, No. 1, pp. 31-47, May 2021.

[28] ITWorld. 'Something Evil' is Coming…New Security Problems that Digital Twins will Bring [Internet]. https://www.itworld.co.kr/news/290599.

[29] B. Y. Kim, "In the Digital Twin Era Information Protection Policy Tasks," *Journal of Land*, Vol. 474, No. 7, pp. 49-56, 2021.

[30] H. Na and D. Choi, "Review of Metaverse Security Threats and Response Measures," *Review of KIISC*, Vol. 32, No. 4, pp. 19-32, August 2022.

[31] S. Pinto, T. Gomes, J. Pereira, J. Cabral, and A. Tavares, "IIoTEED: An Enhanced, Trusted Execution Environment for Industrial IoT Edge Devices," *IEEE Internet Computing*, Vol. 21, No. 1, pp. 40-47, February 2017. https://doi.org/10.1109/MIC.2017.17

[32] A. Matta, G. Sucharitha, B. Greeshmanjali, M. P. Kumar, and M. N. S. Kumar, Honeypot: A Trap for Attackers, in *The New Advanced Society: Artificial Intelligence and Industrial Internet of Things Paradigm*, Hoboken, NJ: Wiley, ch. 5, pp. 91-101, 2022.

[33] J. Kim and S. Jeong, "A Study on the Combat Effect and Components of Intangible Combat Force: Focusing on Korea Combat Training Center (KCTC) Combat Training and Combat Simulation Data Analysis," *Journal of Advances in Military Studies*, Vol. 5, No. 2, pp. 47-71, August 2022. https://doi.org/10.37944/jams.v5i2.150

[34] C. von Clausewitz, *On War*, Scotts Valley, CA: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012.

[35] S. Lee, "A Study on the Psychological Stability of Soldiers in the Early Stage War and Improvement Plan to Uplift Fighting Spirit," *Korea Journal of Military Affairs*, Vol. 1, pp. 181-217, June 2017. https://doi.org/10.33528/kjma.2017.06.1.181

[36] DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency). Explainable Artificial Intelligence (XAI) [Internet]. Available: https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence.

[37] J.-H. Jeon, Y. Gil, and H. Baek, "Digital Twin Data Generation and Authoring Platform for Ultra-precision Visualization," in *Proceedings of 2021 Annual Fall Conference on the Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, Online, pp. 18-20, November 2021.

[38] Y. Lee, S. Lee, C. Hyun, and C. Jin, "Development of Light-Weight Smart City Digital Twin Model and System for Web Service," *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 193-207, September 2021. https://doi.org/10.7315/CDE.2021.193

[39] M. S. Kim, J. Y. Seon, T. H. Kim, and K. S. Ham, "Deep Learning Model Compression and Debugging System Design for Digital Twin, " in *Proceedings of 2022 Annual Fall Conference on Korea Energy Society*, Yangyang, p. 126, October 2022.

강인욱(Inuk Kang)

2017년 : 육군사관학교 공학학사
2022년 : Texas A&M 대학원 (공학석사)

2023년～현 재: 국방기술진흥연구소 연구원
※관심분야 : 딥러닝, 객체탐지, 국방기술기획 등

오자훈(Jahun Oh)

2017년 : 육군사관학교 공학학사
2023년 : Texas A&M 대학원 (공학석사)

2023년～현 재: 육군3사관학교 컴퓨터과학과 교수
※관심분야 : 인공지능, 증강현실, 디지털 워터마킹 등