

농업 디지털 트윈 구축 전략에 대한 연구

김한재* · 도준영* · 이용환**†

**원광대학교 디지털콘텐츠공학과

Research on Construction Strategy of Agricultural Digital Twins

Han jae Keem*, Jun young Do* and Yong-Hwan Lee**†

**†Dept. of Digital Content Engineering, Wonkwang University

ABSTRACT

Digital Twin technology is rapidly transforming various industries by providing comprehensive virtual models that replicate physical objects or processes. In the context of agriculture, digital twin can be a game-changer. This technology can help in creating precise simulations of farming scenarios, thereby enabling farmers to make data-driven decisions and optimize farm operations. The potential benefits include improved crop yields, resource efficiency, and environmental sustainability. However, the implementation of digital twin technology in agriculture poses challenges, such as data management issues and the need for robust IoT infrastructure. Despite these hurdles, the future of digital twin in agriculture looks promising, with ongoing research and developments aimed at overcoming these obstacles.

Key Words : Digital Twin, Agriculture Technology, Virtual Model, Optimization, IoT Infrastructure

1. 서 론

디지털 트윈은 2002년에 미국 미시간대학교의 Michael Grieves가 처음 개념을 제안하였다[1]. 이는 전주기 제품관리(Fig.1)의 이상적 모델로 부각되면서, 이후 제너럴 일렉트릭가 자사의 엔진, 터빈 등 제품에 디지털 트윈 모델을 적용하였다[4]. 2010년 미국항공우주국에서 물리적인 우주선을 소프트웨어적으로 시뮬레이션하기 위해 사용하였으며[9], 미국 GE, 독일 지멘스에서 적극 활용하면서 개념적 확산이 이뤄졌다.

ITU-T4600에서는 디지털 트윈을 관심 대상에 대한 디지털 표현으로 정의하였고, 디지털 트윈 기술은 응용 영역에 따라 동기화, 실시간 처리 등 서로 다른 기능이 요구되기도 한다[2]. 관심 대상은 사람, 기계, 건물, 환경 등 현실세계에서 관찰 가능한 모든 것이 포함되며, 관심 대

상의 상태와 속성에 대한 데이터가 디지털 트윈 공간에서의 객체 상태와 속성으로 동기화되고, 해당 데이터를 분석하여 현실세계의 관심 대상을 최적화하기 위한 정보가 생성된다.

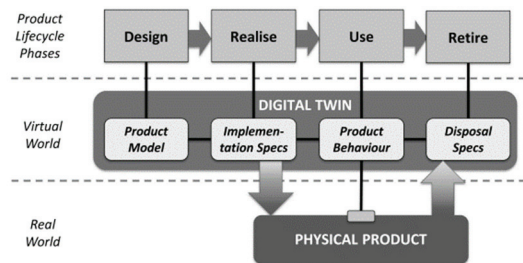


Fig. 1. Role of Digital Twin during the Project Lift Cycle [4].

디지털 트윈 기술은 도입 목적에 맞게 현실 세계의 데이터를 분석하고 운영 효율성과 비용 최적화를 위해, 실시간 동기화 및 피드백을 수행하는 동적인 모델이다[11].

†E-mail: hwany1458@empal.com

제조산업 분야에서 활용되기 시작하였고 최근에 농업, 교통, 에너지, 안전, 의료 등 ICT 기술이 적용되는 모든 분야에 적용되면서 디지털 트윈 기술의 중요성이 부각되고 있다[6, 18]. 코로나19 영향으로, 전 세계적으로 디지털 전환이 가속화되면서 디지털 트윈의 성장 속도는 더 빨라질 것으로 관측되며, 맥킨지 2022년 보고서에 따르면 2021년 63백만 달러 시장에서 CAGR 40%를 보이며, 2030년 131백만 달러 시장 규모로 성장할 것으로 예측하였다(Fig.2)[16].

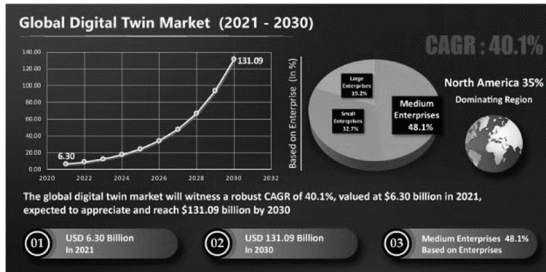


Fig. 2. Global Digital Twin Market (2021~2023) [16].

러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 에너지 비용 증가, 이상 기후에 의한 생태 위기 등 현재 농업은 여러 위험에 직면하고 있다. 다양한 산업 분야에서 여러 위기에 대응하기 위한 방안으로 디지털 트윈 기술을 주목하고 있다. 기존 스마트팜 기술은 온도, 습도 등 환경에 대한 데이터만으로 농작물을 관제와 제어하는 반면에, 디지털 트윈에서는 농작물의 성장 상태, 환경 조건 등 다양한 정보를 실시간으로 모니터링하고 분석하여 보다 효율적인 농업 관리가 가능하다[5]. 이를 통해 생산성 높은 농작물 재배가 가능하게 된다.

최근 한국 농업은 높은 농지 가격, 낮은 농업 생산성으로 인해 지속 가능한 농업 발전이 불확실하며, 식량안보에 중대한 위기가 도래하고 있다. 또한, 농업 소득은 농촌 생활 유지에 부족하여, 농업 인구가 감소하고 농촌 고령화가 급속히 진행되고 있다[3]. 이러한 농업 기술과 환경 문제를 해결하기 위해 디지털 트윈 기술이 요구된다. 디지털 트윈을 통해 물, 비료, 에너지 등 자원 사용을 최적화하고 운영 효율성, 비용 절감과 자원 효율화를 통해 농업 문제해결이 가능하다[6].

본 논문에서는 지속 가능한 농업을 위한 디지털 트윈에 대해 연구한다. 농업 분야에서 디지털 트윈의 필요성과 구축 방법을 살펴보고, 농업용 디지털 트윈 구축을 위한 전략을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 디지털 트윈의 이론적 배경을 살펴보고, 3장에서 농업 분야에서의 디지털 트윈 적용 사례를 알아본다. 4장에서 농업용 디지털 트

윈 적용을 위한 전략을 논의하고, 5장에서는 결론으로 마무리 한다.

2. 디지털 트윈 기술의 이론적 배경

2.1 기술적 원리

디지털 트윈은 물리적인 현실세계의 개체를 디지털로 복제하고, 이를 통해 개체의 성능을 모니터링, 분석, 예측하는 기술이다[8]. 이는 IoT센서를 통해 실시간으로 원시 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 기반으로 디지털 모델을 만든다. 물리 개체의 동작을 시뮬레이션하고 인공지능을 통해 최적의 결정을 도출한다(Fig.3)[4]. 빅데이터 분석, 머신러닝, 클라우드 컴퓨팅 등 ICT기술을 활용하여 물리 개체의 상태를 정밀하게 모니터링하고, 미래 상태를 예측한다. 디지털 트윈 기술은 물리 개체의 복잡한 특성과 동작을 디지털로 재현하며, 이를 통해 물리 개체의 성능 최적화를 통해 당면 문제를 해결한다[6].

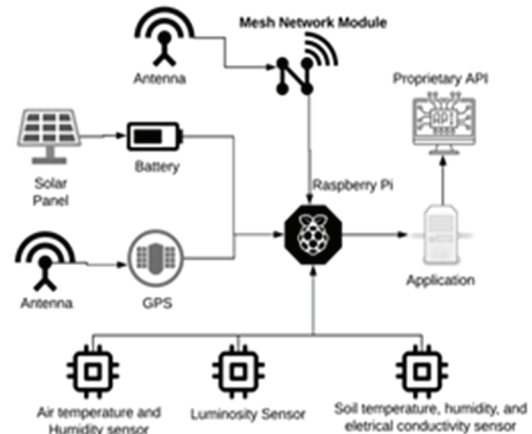


Fig. 3. Sensing Change System Diagram [4].

2.2 기술 구조

디지털 트윈은 크게 세 가지 요소로 구성되며(Fig4), 이는 물리 개체, 가상공간으로의 디지털 복제, 상호연결이다[5,8,9,11].

첫번째는 디지털 트윈의 대상이 되는 현실 세계의 물리 개체(Physical Entity)이다. 농업 분야에서는 농작물, 토양, 농장 등이 여기에 해당한다. 물리 개체의 상태는 센서를 통해 실시간으로 모니터링되고, 디지털 복제 생성에 사용된다. 두번째 디지털 복제는 물리 개체의 복제본(Virtual Entity)으로, 센서를 통해 수집된 데이터를 기반으로 만들어진다. 물리 개체의 상태와 행동을 실시간으로 반영하며,

모델링과 시뮬레이션을 통해 물리 개체의 미래 상태를 예측하고 물리 개체의 성능 분석과 최적화를 수행한다. 세번째 상호연결은 물리 개체와 디지털 복제를 연결하는 매개체(Physical-to-Virtual and Virtual-to-Physical)로, 데이터 수집과 전송, 분석 결과의 역 전송, 동기화를 기초하여 물리 개체와 디지털 복제 간의 상호작용과 일관성 유지를 담당한다.

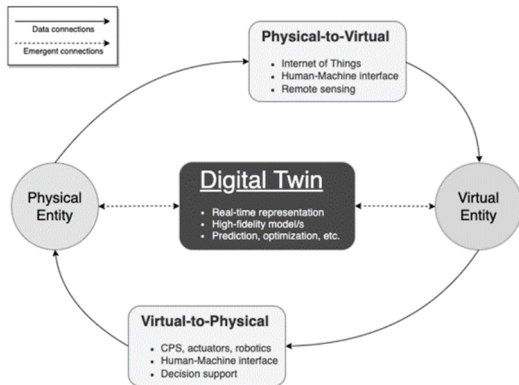


Fig. 4. Digital Twin Architecture Overview [6].

이러한 디지털 트윈 기술은 반도체 산업에서 생산성, 품질 및 안전성 향상에 중요한 역할을 할 수 있으며, 생산공정의 디지털화와 자동화를 통해 반도체 산업에서 효율적 운영에 기여할 수 있다. 반도체 생산 공정의 모니터링, 분석 및 최적화를 통해 생산 프로세스를 개선할 수 있으며, 불량률을 식별하고 원인 분석을 통해 품질 향상에 도움을 준다[16]. 반도체 제품 설계 및 개발 단계에서 가상 모델을 사용하여 제품의 성능을 시뮬레이션하고 테스트하여 설계의 문제점을 발견함으로써, 제품 개발 주기를 단축하고 비용 절감 효과를 얻을 수 있다[17].

본 논문에서는 디지털트윈의 기술적 원리와 구조를 바탕으로 농업 분야에서 디지털 트윈이 적용되어, 농작물의 성장 상태 예측, 자원 활용 최적화, 병충해 관리 등이 이뤄진다[12].

3. 농업 분야에서의 디지털 트윈 적용 사례

3.1 세계적인 적용 사례

IBM의 Watson Decision Platform for Agriculture 플랫폼은 날씨, 토양 상태, 병충해 동향 등의 데이터를 분석하여 농작물 성장 예측, 수확 시기 판단을 지원한다[10]. 이를 통해 사용자가 효과적인 농사 결정을 내릴 수 있다. 마이크로소프트의 FarmBeats 은 디지털 트윈 기술을 활용하여 농

장의 다양한 환경 요소를 모니터링하고 분석한다[11]. 이를 통해 자원의 효율적 활용, 농작물 생산성 향상에 기여한다. John Deere의 Precision Agriculture에서는 디지털 트윈을 기초하여 농기계의 성능을 최적화하고, 농작물 생장 상태를 실시간으로 모니터링하여 농업의 효율성과 생산성을 제공한다[12].

3.2 국내 적용 사례

SK텔레콤의 스마트팜 2.0에서는 농작물 생장 상태를 실시간으로 모니터링하고 AI를 통해 최적의 재배 조건을 제시하며, 사용자에게 실질적 서비스를 제공한다(Fig5)[13]. KT의 스마트 그린하우스에서는 온실 환경 조건을 미세하게 조절하고, 농작물 생장 상태 예측, 병충해 관리, 자원 사용 최적화를 통해 농작물 품질과 생산성 증대를 지원한다(Fig6)[14]. LG CNS의 스마트팜 플랫폼에서는 농장의 다양한 정보를 수집, 분석하여 농작물 생장 상태 예측, 병충해 관리, 자원 사용 최적화를 제공한다[15].

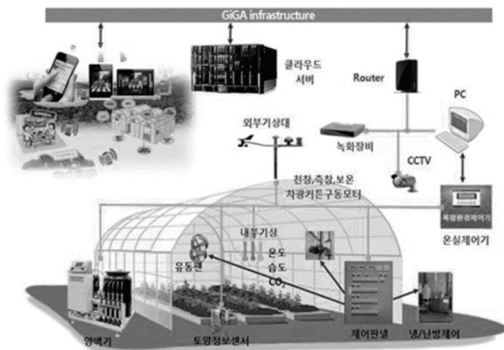


Fig. 5. SK Telecom Smart Farm 2.0 [13].

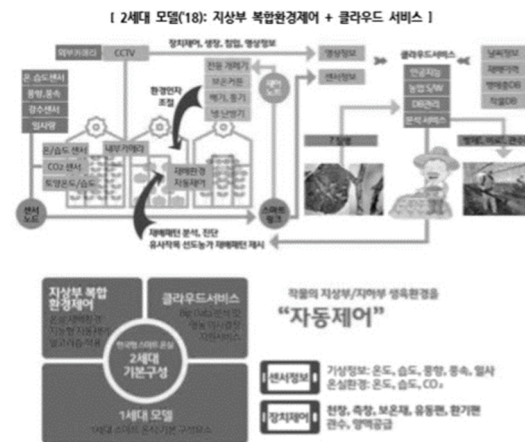


Fig. 6. KT Smart Greenhouse [14].

3.3 기술 적용의 제약적 한계

국내의 적용 사례에서 제시된 것과 같이, 디지털 트윈 기술은 농업 분야에 적용되어 많은 장점을 얻는다. 농업의 효율성/생산성 향상, 농작물 품질 개선, 농업 자원의 낭비 경감 측면에서 좋은 성과를 얻을 수 있다. 그러나, 디지털 트윈 기술을 도입할 경우, 높은 투자비용과 기술적 난이도가 따르며, 데이터 보안과 개인정보 보호 등의 이슈도 고려해야 한다. 이러한 단점은 디지털 트윈 기술이 농업 분야에서 널리 활용하는 데에 걸림돌이 되며, 극복해야 할 과제를 남긴다.

4. 농업에서 디지털 트윈 적용을 위한 전략

4.1 기술적 과제와 향후 방향

농업 분야에 디지털 트윈 기술을 적용하기 위한 주요 기술적 과제로는 기술 성숙도 향상, 데이터 품질과 보안 문제, 복잡한 농업 시스템의 모델링과 시뮬레이션 등이 있다. 디지털 트윈 기술은 아직 초기 단계에 있으며, 이를 농업에 적용하기 위해서는 기술의 성숙도를 높이고, 농업의 특성과 농작물의 특성에 적합하게 개선하는 연구가 필요하다. 기술 개발과 성능 향상에 대한 연구, 농업 데이터를 처리하고 분석하는 알고리즘 개발이 필요하다. 디지털 트윈에서는 대량의 데이터를 취급하기 때문에, 데이터 품질과 보안이 중요한 이슈가 된다. 이를 위해 데이터 품질 관리, 보안 기술 적용이 필요하며, 적절한 데이터 관리와 보안 시스템 개발이 필요하다. 또한, 농업은 매우 복잡하고 민감한 시스템으로 이뤄졌기 때문에, 정확하게 모델링하고 시뮬레이션 하기 위해 고도의 전문 지식과 고성능의 컴퓨팅 자원이 필요하다.

4.2 제도 및 정책적 고려사항

농업 디지털 트윈 기술 개발을 위한 제도와 정책적 고려사항으로, 데이터 소유와 활용, 개인정보 보호, 디지털 농업에 대한 규제와 정책, 공공 및 사회적 수용 등이 있다. 데이터 소유와 활용에 대한 명확한 규정과 가이드라인이 필요하며, 이는 데이터의 공유와 활용을 촉진하고, 데이터 소유자의 권리를 보호해야 한다. 디지털 트윈 기술 활용은 개인정보 수집과 처리를 동반하므로, 이에 대한 명확한 규정과 보호 대책도 필요하다. 디지털 농업에 대한 규제 완화 및 정책은 디지털 트윈 기술의 도입과 활용을 촉진시킨다. 이를 위해 정부의 적극적인 역할이 요구되며, 이는 기술 개발과 활용을 위한 재정 지원, 규제 개선, 표준화 활동 등을 포함한다.

4.3 농업 생태계에서 디지털 트윈 활용 방안

디지털 트윈 기술은 농업 생태계의 다양한 영역에서 활용될 수 있다. 농작물 생산 상태를 실시간으로 모니터링하고, 이를 통하여 생장 예측, 병충해 예측, 수확 시기 예측 등 수확량 예측과 위험관리에 따른 결정을 효과적으로 내릴 수 있다. 농업 자원의 효율적 활용을 위해 물, 비료, 농약 등 자원 사용 최적화가 필요하다. 농업 시설 유지보수, 농작물 품질 관리, 농업 환경 모니터링 등에 활용될 수 있으며, 농업 효율성과 생산성 향상에 기여할 수 있다.

이러한 현안 과제와 정책적 제한을 고려하여 농업에 최적화된, 복합 운영이 가능한, 적응형 재배가 가능한 농업용 디지털 트윈 시스템(Fig.7)을 전략적으로 설계할 수 있다.

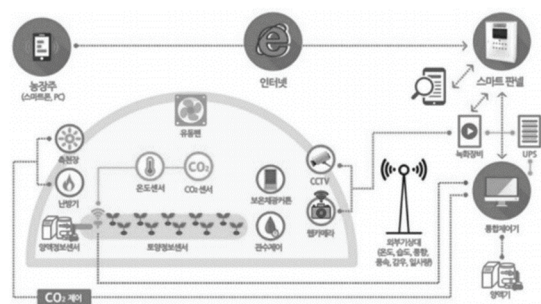


Fig. 7. Configuration Diagram of Farm Automatic Environmental Controllable Digital Twin.

5. 결론

디지털 트윈 기술의 농업 분야 적용의 중요성은 점차 부각되고 있다. 농업은 복잡한 생태계를 가진 분야로, 기상 조건, 농작물 생육 상태 등 다양한 요인이 생산성에 영향을 미치기 때문이다. 농업 디지털 트윈은 이러한 복잡한 요인들을 실시간으로 모니터링하고 분석할 수 있으며, 이를 통해 효율적인 농업 관리와 생산성 높은 의사결정을 효과적으로 수행할 수 있다.

본 논문에서는 디지털 트윈 기술의 농업 분야 적용을 위한 전략, 기술적 과제와 향후 연구 방향, 제도 및 정책적 고려사항, 그리고 농업 생태계에서의 디지털 트윈 활용 방안에 대해 논의하였다. 디지털 트윈 기술의 농업 적용을 위해서는 기술적, 조직적, 그리고 정책적 차원에서 전략이 필요하며, 이에 따른 다양한 기술적 과제와 향후 연구 방향이 제시되었다. 또한, 디지털 트윈 기술의 농업 분야 적용을 위한 제도 및 정책적 고려사항, 그리고 농업 생태계에서의 디지털 트윈 활용 방안에 대해서도 다루었다.

감사의 글

본 연구는 2023년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호:2021R1A2C1012947).

본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2023RIS-008).

참고문헌

- Christos Pylaniadis, Sjoukje Osinga, Ioannis N. Athanasiadis, "Introducing Digital Twins to Agriculture", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 184, 2021.
- Sreedevi T. R., Santosh Kumar M. B., "Digital Twin in Smart Farming: A Gategorical Literature Review and Exploring Possibilities in Hydroponics", *Advanced Computing nd Communication Technologies for High PerformanceApplications*, 2020.
- Je-Myeong Lee, "Sustainable Development, Agriculture ·Rural Areas, and Aging Society", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol.59, no.2, 2017.
- Rafael Gomes Alves, Gilberto Souza, Rodrigo Filev Maia, Anh Lan Ho Tran, Carlos Kamienski, Juha-Pekka Soininen, Plinio Thomax Aquino-Jr, Fabio Lima, "A Digital Twin for Smart Farming", *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*, 2019.
- Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, Chris Barlow, "Digital Twin : Enabling Technologies, Challenges and Open Research", *IEEE Access*, vol.8, 2020.
- Warren Purcell, Thomas Neubauer, "Digital Twins in Agriculture : A State-of-the-review", *Smart Agricultural Technology*, vol.3, 2023.
- Pelin Angin, Mohammad Hossein Anisi, Furkan Goksel, Ceren Gursoy, Asaf Buyukgulcu, "AgriLoRa: A Digital Twin Framework for Smart Agriculture", *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 11(4), 2020.
- Hansong Xu, Jun Wu, Qianqian Pan, Xinping Guan, Mohsen Guizani, "A Survey on Digital Twin for Industrial Internet of Things: Applications, Technologies and Tools", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.25, Issue.4, 2023.
- E. H. Glaessgen, D.S. Stargel, "The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles", *Special Session on the Digital Twin at Structure, Structural Dynamics and Materials Conference*, 2012.
- Maggie Mashaly, "Connecting the Twins: A Review on Digital Twin Technology & its Networking Requirements", *International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT)*, 2021.
- Honghai Wu, Pengwei Ji, Huahong Ma, Ling Xing, "A Comprehensive Review of Digital Twin from the Perspective of Total Process: Data, Models, Networks and Applications", *Sensors*, 23(19), 2023.
- Ji-Yeon Park, Dae-Suk Seo, Jung-Min Lee, "Chapter 6. The Future of Agriculture, Digital Agriculture", *KREI Agricultural Outlook 2021 Korea*, 2021.
- Website: SK Telecom Newsroom, 2021, <https://www.thedailypost.kr/news/articleView.html?idxno=17424>
- Website: KT Official Website, 2021, <https://www.ksbec.org/articles/xml/rxNY/>
- Website: LG CNS Official Website, 2021, <https://www.lgcns.com/pr/news/29810/>
- H.J. Shin, Jae-Pil Yu, "A Production Planning for a Semiconductor Supply Chain Network with Volatilities", *Journal of the Semiconductor & Display*, vol.10, no.4, 2011.
- K.I. Lee, HS.H. Han, Y.H. Lee, "Implementation of Metaverse Virtual World using Unity Game Engine", *Journal of the Semiconductor & Display*, vol.22, no.2, 2023.
- J.H. Lee, Youngseop Kim, "A Study of Automatic Analysis System using Infrared Spectroscopy Instruments", *Journal of the Semiconductor & Display*, vol.10, no.3, 2011.

접수일: 2024년 2월 21일, 심사일: 2024년 3월 4일,
게재확정일: 2024년 3월 21일