

논문 2022-59-9-18

스마트 축사를 위한 디지털 트윈 기술에 대한 연구

(A Research on Digital Twin Technologies for Smart Livestock)

김 철 립*, 김 승 천**

(Cheollim Kim and Seungcheon Kim[©])

요 약

극심한 기후 변화, 전쟁 등 외부 환경의 불확실성이 점차 증가하면서 세계 각국에서 농·축산업의 중요성이 날로 높아지고 있다. 농업 선진국을 중심으로 스마트팜 기술의 도입이 활발해지면서 농·축산업에서 데이터 활용의 중요성이 증가하고 있으나 아직 생산현장에서는 적용이 쉽지 않은 상황이다. 본 연구에서는 디지털 트윈 기술의 연구 및 활용 동향을 알아보고, 스마트축사에서 디지털 트윈 아키텍처, 플랫폼 등에 대해 살펴본다. 먼저 디지털 트윈의 개념, 기술을 알아본 후, 다양한 디지털 트윈 사례를 살펴보고 구체적으로 스마트 축사에 적용 가능한 디지털 트윈 아키텍처, 플랫폼 및 세부 기술을 살펴본다. 또한, 축산에서의 디지털 트윈 기술의 도입에 따른 변화를 논한다.

Abstract

As uncertainties in the external environment such as extreme climate change and war are gradually increasing, the importance of agriculture and livestock industry is increasing day by day in countries around the world. The importance of data utilization in agriculture and livestock industry is increasing as the introduction of smart farm technology is active mainly in advanced agricultural countries, but it is not easy to apply it in production sites yet. In this study, research and utilization trends of digital twin technology are investigated, and the digital twin architecture and platform in smart livestock houses are reviewed. First, the concept and technology of digital twin will be discussed, then various digital twin examples will be looked at, and the digital twin architecture, platform, and detailed technology applicable to the smart livestock house will be examined in detail. It also discusses changes resulting from the introduction of digital twin technology in livestock.

Keywords : Digital twin, Smart farm, AI, Big data, AR/VR

I. 서 론

디지털 트윈은 ICT 요소 기술(IoT, Cloud, Bigdata, AI 등)간 융합된 형태의 복합 기술이다. ICT 융합은 지능정보기술 등 다양한 ICT 요소 기술을 융합하여 미래 사회 문제에 선제적으로 대응하고, 전 산업의 디지털 전환을 이끄는 사람을 중심으로 한 혁신적인 신융합 기술·서비스 구현을 목표로 하는 인간을 위한 도구로써, 사람 중심(Human Driven)의 서비스를 목표로 한다.

ICT 융합 기술은 초개인화·초자동화·초연결화로 변화하는 미래사회에서 모두의 지속 가능한 삶을 제공하기 위한 ICT기술간 융합과 전통산업의 디지털 전환 등을 통해 혁신적인 신산업서비스를 창출하는 기술이다^[1]. 이러한 융합 서비스를 구현하는 기술로서 디지털 트윈 기술이 부각되고 있다. 디지털 트윈이란 현실 세계의 물리적 대상(사람, 사물, 공간, 시스템, 프로세스 등)을 디지털 세계의 디지털 대상으로 복제하여, 현실 세계의 문제해결, 또는 수정 및 개선 등을 위한 다양한 모의를

*정회원, **평생회원, 한성대학교 스마트융합건설링학과(Department of Smart Convergence Consulting, Hansung University)

© Corresponding Author(E-mail : kimsch@hansung.ac.kr)

※ 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

Received ; July 31, 2022

Revised ; August 16, 2022

Accepted ; August 26, 2022

디지털 세계에서 실행하여, 최적의 해답을 찾아 현실 세계에 적용함으로써 보다 안전하고 효율적인 현실 세계 구축에 필요한 디지털 기술간 융합된 기술 플랫폼이다^[2]. 디지털 트윈 기술을 적용하기 위해서는 가상화, 동기화, 모델링 및 시뮬레이션, 연함, 서비스 등 5가지 핵심요소 기술에 대한 이해와 디지털 트윈이 적용되는 응용 도메인에 대한 전문적인 지식 등 두 가지 조건 성립되어야 가능하다^[2].

생물을 생육하는 데 필요한 다양한 요소들이 상호 간 직간접적 영향을 미치는 복잡한 환경에 있는 농축산업에서 디지털 트윈 기술을 적용하는 것은 쉽지 않다. 생산·가공·유통·소비 부분과 환경오염·에너지·저탄소·질병 등 현안 해결 부분, 노동력 절감·생산성 최적화 부분 등 고려해야 하는 요소들이 다른 도메인에 비해 무척 다양하고 복잡하다. 스마트 시설원예에서는 시설, 장치, 작물, 인력의 가상화를 통해 작물 농작업의 모델링, 질병 방어시스템, 온실의 모델링 및 제어, 정식, 수확, 포장, 드론, 로봇 자동화, 온실내 에너지 등 효율화 및 교육 시스템 등에 디지털 트윈 기술의 활용이 가능하다^[22]. 또한, 스마트 축사의 경우 축사 시설, 장치, 동물행동, 인력 등의 가상화, 모델링을 통한 시뮬레이션, 현장제어, 인수 공통 질병 방어 시스템, 동물 행동과 환경에 따른 사양관리, 급이기, 축산 로봇 자동화, 공기질, 에너지 등 효율화, 축산교육 시스템 등에서 디지털 트윈 기술을 활용할 수 있다.

본 연구에서는 스마트축사에서 적용하는 디지털 트윈 기술의 동향 및 전망에 대해서 살펴본다. 먼저, 디지털 트윈 기술의 개념, 속성, 기술에 대해서 알아보고, 디지털 트윈 기술 및 서비스 동향을 사례들로 알아본다. 다음으로는 스마트 축사에서의 디지털 트윈 아키텍처 및 세부 기술을 살펴본다. 마지막으로 디지털 트윈 기술의 도입에 따라 예상되는 스마트 축산의 변화를 논한다.

II. 디지털 트윈 개념 및 기술

1. 디지털 트윈 개념

최근 다양한 응용 분야의 특성에 따라 디지털 트윈에 대한 구현 방법이 논의되고 있으며, 이에 따른 개념 모델 또한 다양한 형태로 발전되고 있다.

디지털 트윈은 보편적으로 현실 세계에 존재하는 물리적 대상의 형상, 성질, 상태 등의 정보를 소프트웨어를 이용한 가상의 세계에 동일하게 구축하고, 다양한

시뮬레이션과 두 공간 간의 상호작용을 통하여 의미 있는 가치를 창출하는 기술로 정의될 수 있다. 디지털 트윈은 실제 사물이나 시스템을 디지털로 표현한 것으로, 단순히 구조만 디지털화 한 것이 아니라 실제 사물이나 시스템에 장착된 센서를 통해 디지털화된 사물과 시스템의 상태를 실시간으로 대응시키거나 시뮬레이션을 통해 실제 사물에 미치는 영향을 사전에 예측이 가능하다. 이러한 장점을 이용하여 현재 에너지, 제조 분야에서 도입이 활발하게 이루어지고 있으며, 발생될 수 있는 문제점들을 사전에 미리 예측하고 대응함으로써 운영의 효율을 높이고 있다^[2].

그림 1과 같이 2014년 마이클 그리브스(Michael Grieves)박사가 제안한 3차원 디지털 트윈은 물리적 공간의 물리적 실체, 가상 공간의 가상 실체, 물리적 실체와 가상 실체를 함께 연결하는 데이터와 정보의 연결로 구성되며, 항공기, 레이더 및 관련 기반 시설과 같은 물리적 실체는 기능을 포함하여 존재한다. 물리적 공간에서 특정 임무를 수행하고 실제 출력을 생성할 수 있다.

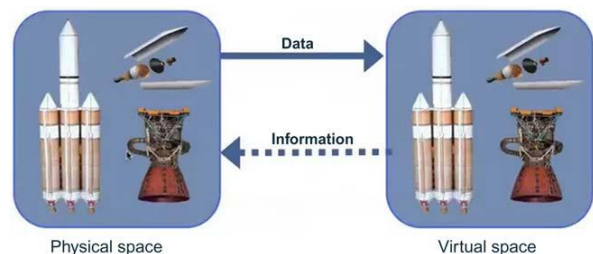


그림 1. 3차원 디지털 트윈의 개념
Fig. 1. Concept of 3-dimensional digital twin.

가상 실체는 기하학적 치수, 물리적 특성 및 행동 등을 포함한 다른 관점에서 물리적 대응물을 설명하는 일련의 모델로 구성되며, 실시간 동기화를 기반으로 충실한 매핑 및 높은 결합도로 실제적 수명(Life Cycle)을 동반하는 디지털 거울(Mirror)로 존재한다. 부품을 구성하는 모듈 간 상호작용은 연결을 통해 활성화된다^[3].

2. 디지털트윈의 주요 속성

앞서 논의한 바와 같이 디지털 트윈은 물리적 자산의 가상 표현이다. 이 정의를 확장하고 디지털 트윈을 구현하는 데 필요한 몇 가지 주요 속성을 살펴본다^[4].

첫째, 물리적 자산을 현실적으로 표현하고 그 행동을 반영하기 위해 트윈은 물리적 또는 생물학적 자산이 환경, 작업량 및 기타 변수와 상호 작용하는 방식에 대한 실시간 피드백을 받아야 한다.

둘째, 대용량 데이터를 실시간으로 수신, 저장 및 처리할 수 있는 트윈이 필요하다. 이를 위해서는 상당한 양의 컴퓨팅, 저장 및 데이터 처리 용량이 필요하다.

셋째, 쌍둥이는 지속적으로 전송되는 대량의 데이터를 이해할 수 있어야 한다. 이것은 대부분의 인간의 컴퓨팅 능력을 넘어서기 때문에 항상 AI 알고리즘을 사용하여 유용한 정보와 유용하지 않은 정보를 구별하는 것을 의미한다.

넷째, 쌍둥이는 시간이 지남에 따라 다양한 인과 관계 시나리오에 대해 학습할 수 있어야 하고 학습한 내용을 적용하여 물리적 자산의 성능을 개선할 수 있어야 한다.

마지막으로, 이 모든 것이 대화형 디지털 사용자 인터페이스를 통해 주요 의사 결정권자가 쉽게 사용할 수 있어야 한다.

3. 디지털 트윈 기술

디지털 트윈의 세부 기술은 크게 5분야로, 1)실제 물리적 세계를 컴퓨터 속의 가상의 세계로 구현하기 위한 디지털 가상화, 2)물리적 세계와 가상 세계의 연결과 가상 세계들 간의 연결을 위한 디지털 트윈 동기화, 3)실제 데이터를 기반으로 목적에 따른 모델링을 통한 분석 및 예측을 위한 디지털 트윈 모델링 및 시뮬레이션, 4)디지털 트윈들 간 연함을 위한 연합 디지털 트윈, 5)지능화된 다양한 서비스를 위한 지능형 디지털 트윈 서비스 기술 등이 요구된다.

1) 디지털 가상화

디지털 가상화는 시설, 기후, 거시/미시 환경, 노동, 로봇 등에 의해 생성되는 크고 이질적인 데이터에 대한 시공간 동기화 및 데이터 분류 전처리 기술이다.

2) 디지털 트윈 동기화

디지털 트윈 동기화는 시설, 환경 등의 물리적 객체와 가상으로 생성된 디지털 객체 간의 시공간 동기화 기술이다.

3) 디지털 트윈 모델링 및 시뮬레이션

디지털 트윈 모델링 및 시뮬레이션은 시설 및 환경(재료, 대기질, 수질, 공간 구성, 기후, 에너지 요소)에 대한 유체, 구조, 공기, 음향, 열역학 등의 시뮬레이션을 포함한 다중 모델링 및 물리적 시뮬레이션 기법이다.

4) 연합 디지털 트윈

연합 디지털 트윈은 생산, 유통, 가공, 소비 등 다양한 분야에서 가능한 디지털 트윈 모델 간의 공동 협업을 위한 분석, 식별 및 관리 시스템 운영 기술이다.

5) 지능형 디지털 트윈 서비스

지능형 디지털 트윈 서비스는 이용 목적에 맞는 서비스를 제공하기 위해 객체 정보를 다양한 형태로 표현하는 시각화 서비스 기술이다.

III. 디지털 트윈 관련 기술 및 서비스 동향

프레딕스(Predix)는 GE사가 개발한 세계 최초의 산업 인터넷 운영 플랫폼으로써, 플랫폼 내에서 사용자가 산업인터넷에 최적화된 애플리케이션을 개발하고 운영할 수 있도록 필요한 환경을 제공한다^[5]. 개발사인 GE는 프레딕스를 활용해 2017년 기준으로 80만 개에 달하는 현실과 가상의 상호 연동을 통한 디지털 트윈을 개발하며 디지털 트윈 확산에 앞장서고 있다. 한 예로, GE의 자회사인 GE항공은 제트 엔진 하나에 무려 200개가 넘는 센서를 장착해 항공기 이착륙과 운항 중 발생하는 각종 데이터를 수집한다. 이는 담당 엔지니어에게 시각화된 형태로 실시간 제공되며, 엔지니어는 이를 통해 엔진 고장 여부와 교체 시기 등을 예측한다. 그 결과 엔진 고장에 대한 검출 정확도는 10% 개선됐으며 정비 불량으로 인한 결항 건수도 1,000건 이상 감소하는 효과를 거둘 수 있었다고 한다.

이탈리아 자동차 제조업체인 마세라티社は 독일 지멘스社와 손을 잡고 디지털 트윈을 차량 생산에 적용을 시도하였다. 자사의 고급 세단인 기블리(Ghibli)의 개발 초기 단계부터 실제 모델과 가상의 디지털 모델 데이터를 동시에 생산에 전체 제조 공정을 최적화했으며, 시제품으로 도로 주행 자료를 수집한 뒤 디지털 모델을 이용하여 발생할 수 있는 다양한 상황에 대한 가상의 테스트를 거쳐 제품 개발의 정확도를 개선하고 생산 기간을 크게 단축하는데 성공하였다^[6].

IBM사의 Watson IoT 플랫폼도 최근 들어 디지털 트윈 서비스를 위한 플랫폼으로 등장하고 있다^[7]. IBM Watson은 사람과 컴퓨터간 새로운 파트너십을 가능하게 하는 코그니티브(Cognitive) 컴퓨팅 플랫폼으로써 인공지능 소프트웨어를 의료, 금융, 방송 등 다양한 분야에 적용하기 위한 기반 기술을 제공하고 있으며, 디지털 트윈에 있어서 데이터에 기반한 예측을 위하여 인

공지능이 핵심 기술로 부각됨에 따라 산업 분야를 확장하여 디지털 트윈 플랫폼으로 발돋움하고 있다.

최근 소프트웨어 산업의 생태계가 협업·개방적으로 경제의 패러다임이 변화함에 따라 오픈소스를 기반으로 디지털 트윈을 구현함으로써 산업간 융합을 촉진시키고 있다. 한 예로, 이클립스(Eclipse) 재단에서 배포하고 있는 디토(ditto) 플랫폼을 들 수 있는데, IoT(Internet of Thing) 기반의 다양한 기기, 장치들에 대하여 객체화하여 API(Application Programming Interface)를 제공하고 있으며, 자사의 IoT 네트워크 플랫폼과의 연동을 통해 서비스를 쉽게 제공할 수 있다^[8]. 더 나아가 디지털 트윈의 핵심인 현실과 가상공간의 데이터 연동 및 상태 관리를 위한 프레임워크 제공을 목표로 하고 있다.

디지털 트윈 기술은 제조, 에너지, 교통, 도시, 헬스 등 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다. 현재 디지털 트윈 기술이 가장 활발하게 적용되고 있는 분야는 제조 공정 분야로써, 산업의 특성상 제조 분야가 디지털 및 소프트웨어에 의한 상황판단에 대해 수용성이 높고 관련 규제가 상대적으로 약하기 때문에 당분간 디지털 트윈 산업을 주도할 것으로 전망하고 있다. 물건을 제조하는 공장의 경우, 디지털 트윈 기술을 적용하면 디지털 공간상에 가상의 생산라인을 구축하고, 운영함으로써 제품의 생산률, 오류 발생률, 수명 주기 등을 사전에 예측하여 공장 운영에 활용할 수 있다. 프랑스의 Dassault사의 경우, 로봇 제조 공정 과정에 대한 개선을 통한 작업 효율화 및 비용 절감을 목적으로 디지털 트윈 기술을 도입하여 생산 라인의 배치, 하드웨어, 작업 디자인 등 생산 과정 전체에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 과거 대비 향상성이 10~15% 개선되었다^[20].

에너지 분야에 있어서는 디지털 트윈이 발전 시설 계획의 최적화와, O&M(Operation & Maintenance)의 효율화 그리고 에너지 소비를 최적화시키는데 주로 활용되고 있다. 에너지 소프트웨어 대표 주자인 GE는 자산 성과 관리 소프트웨어의 유지보수 최적화 기능을 전력망으로 확장시킨 디지털 변전소를 공개했다. GE의 디지털 변전소 솔루션은 전력망 핵심요소인 신뢰성을 높이고, 자산 사용의 전 부문을 최적화한다. GE 파워는 가스, 증기, 원자력 발전소를 위한 새로운 디지털 파워 플랜트 소프트웨어를 출시했다^[5]. 이 소프트웨어를 통해 예상치 못한 가동중지 시간을 최대 5% 줄이고, 오담률은 최대 75%, 운영 및 유지보수 비용은 최대 25%

감소시킬 수 있다. 국내에서도 에너지 분야에 디지털 트윈 기술을 적용한 사례들이 소개되고 있다. 한국중부발전은 발전소 운영 및 유지보수에 대한 시뮬레이션과 문제원인 분석, 설비별 분해 정비 교육 지원을 위하여 IDPP(Intelligent Digital Power Plant) 구현을 위한 디지털 트윈 기반의 발전 운영 플랫폼 개발 사업에 착수하였다^[17].

도시 분야에 있어서 싱가포르가 정부 주도로 2018년 도시 전체를 그대로 복제해 3D 가상현실로 구현해 놓은 버추얼 싱가포르를 완성했다^[17]. 버추얼 싱가포르에는 도로, 빌딩, 아파트, 테마파크 등 주요 시설은 물론 도로 주변에 있는 가로수, 육교 그리고 공원 벤치에 이르기까지 모든 구조물과 그에 대한 상세한 정보가 수록돼 있다. 도시를 통째로 옮겨놓은 버추얼 싱가포르는 도시 계획은 물론 교통, 환경 등 다양한 분야에서 스마트 국가 건설을 위한 가상 플랫폼으로 활용되고 있다. 실제로 싱가포르의 도시계획 담당자들은 싱가포르 북부의 미니 실리콘밸리라고 불리는 펀골(Punggol) 타운을 설계할 때 버추얼 싱가포르 플랫폼을 활용했다. 지역 전체의 건물들을 실제 건물이 완공된 것처럼 3D로 구현하고 여기에 바람이 불 때 공기의 흐름이 어떻게 진행되는지 실험했다. 그리고 실험결과를 반영해 각각의 건물 배치를 조정하는 방식으로 전체 지역이 통풍이 잘 되도록 설계함으로써 바람이 건물 사이를 잘 흘러나가도록 길을 만들어 타운 전체의 대기질을 높이는 효과를 거둘 수 있었다.

지금까지 디지털 트윈 기술 및 서비스 동향을 사례 중심으로 살펴 보았고 표 1에 정리하였다. 다음은 구체적으로 스마트 축사에서 디지털 트윈 기술에 대해 살펴본다.

IV. 축산을 위한 디지털 트윈 기술 및 적용

1. 디지털 트윈을 적용한 스마트 축사

가축에게 불필요한 고통을 주지 않고 쾌적한 환경에서 동물의 습성대로 키우는 등 높은 수준의 사육환경을 제공하기 위한 동물복지가 유럽을 중심으로 활발하게 실현되고 있다. 가축을 향한 인간의 윤리적인 책임을 다하고 건강하고 안전한 축산물을 소비자에게 제공하기 위하여 국내에서도 동물복지 요건을 만족하는 농가를 대상으로 인증을 해주고, 생산되는 축산물에 대해 인증마크를 제공하는 등 환경 친화적 축산업으로 나아가고 있다. 스마트 축사는 정보통신기술을 활용하여 가축에

표 1. 산업 및 부문에 걸친 해외 디지털 트윈 사례 연구 목록

Table 1. A list of international digital twin case studies across industries and sectors.

기업	부문	디지털트윈 형태와 잇점
GE Aviation	항공 제조	제트 엔진 하나에 200개가 넘는 센서를 장착해 항공기 이착륙과 운항 중 발생하는 각종 데이터를 수집하여 시각화된 형태로 실시간 제공되며, 엔지니어는 이를 통해 엔진 고장 여부와 교체 시기 등을 예측함 ^[5] .
Boeing	항공 제조	디지털 트윈 자산 개발 모델은 최초 부품 및 시스템에서 40% 품질 개선을 보여 다음 단계에 걸쳐 엄청난 생산성 향상을 제공함 ^[18] .
Halliburton	유전 서비스	다양한 센서를 사용하여 유정을 시추하는 동안 다양한 차원의 데이터를 캡처함. 드릴링을 보다 효율적으로 만들기 위해 가상 모델과 함께 이것을 사용함 ^[19] .
IBM	인공지능 소프트웨어	IBM Watson은 코그니티브(Cognitive) 컴퓨팅 플랫폼으로써 인공지능 소프트웨어를 의료, 금융, 방송 등 다양한 분야에 적용하기 위한 기반 기술을 제공함 ^[7] .
Eclipse	IoT 소프트웨어	디토(ditto) 플랫폼은 IoT(Internet of Thing) 기반의 다양한 기기, 장치들에 대하여 객체화하여 API(Application Programming Interface)를 제공하고 있으며, 자사의 IoT 네트워크 플랫폼과의 연동을 통해 서비스를 쉽게 제공함 ^[8] .
Dassault	소프트웨어	인체의 다양한 부분에 디지털 트윈을 사용함. 따라서 개인정보를 덜 침해하면서 개인화된 의료 개입의 혜택을 받도록 도움 ^[20] .
GE Power	소프트웨어	가스, 증기, 원자력 발전소를 위한 새로운 디지털 파워 플랜트 소프트웨어를 통해 예상치 못한 가동중지 시간을 최대 5% 줄이고, 오염물은 최대 75%, 운영 및 유지보수 비용은 최대 25% 감소시킬 수 있음 ^[5] .
Unilever	FMCG	공장의 가상 모델을 만들어 주요 공장 성능 매개변수와 생산 변수를 추적하고 개선함. 280만 달러를 절약하는 데 도움이 되었음 ^[21] .
Royal Dutch Shell	석유 및 가스	디지털 트윈을 사용하여 가치 있는 자산의 사실적인 실시간 모델을 설계하고 재현함. 결과적으로 유지 보수 비용과 가동 중지 시간을 줄일 수 있음 ^[21] .
Bridgestone	타이어 제조	타이어 센서의 실시간 데이터를 실험하여 정밀 안전 시스템을 개선함 ^[21] .
한국중부발전	발전	발전소 운영 및 유지보수에 대한 시뮬레이션과 문제원인 분석, 설비별 분해 정비 교육 지원을 위하여 디지털 트윈 기반의 발전 운영 플랫폼 개발 사업중 ^[17] .
싱가포르	스마트 시티	도시 전체를 그대로 복제해 3D 가상현실로 구현해 놓은 버추얼 싱가포르에는 도로, 빌딩, 아파트, 테마파크 등 주요 시설은 물론 도로 주변에 있는 가로수, 육교 그리고 공원 벤치에 이르기까지 모든 구조물과 그에 대한 상세한 정보가 수록돼 있음 ^[17] .

게 보다 쾌적한 사육 환경을 제공하고 지능화로 고효율을 지향하는 차세대 축사를 말한다. 초기의 스마트 축사에서는 다양한 센싱 장치를 이용하여 원격으로 가축 모니터링 및 제어가 가능하게 되었다.

최근 인공지능, 빅데이터 같은 정보통신기술을 통한 데이터에 근거한 정밀 농업(precision agriculture)의 개념이 스마트 축사에도 적용되고 있다. 축사의 내·외부로부터 수집한 데이터와 센싱을 통한 가축의 상태정보를 이용하여 축사의 환경 및 가축의 상태에 대하여 복합적으로 분석하고 예측하여 가축의 운영, 생산과 유통 전반에 적용함으로써 지능화를 부여해가고 있다. 디지털 트윈은 이러한 지능형 스마트 축사를 가능케 하는 하나의 기술로써, 디지털 공간상에 가상의 축사를 구축하고, 실제 축사와의 실시간 데이터 연동을 통해서 현실에서는 불가능하거나 제약이 많이 따르는 축사 환경, 제어, 운영에 대한 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 또한, 그 결과를 미리 예측함과 동시에 축사 운영을

위한 의사결정에 활용함으로써 축사 운영에 있어서 과거에는 불가능했던 요소들이 점차 현실화되면서 궁극적으로 축사 운영에 있어 지능화와 효율화를 실현할 수 있다.

실제 축사에 설치된 다양한 센싱 장비로부터 환경, 운영, 가축의 생체에 관련된 데이터를 수집하여 목적에 따라 다양한 분석 방법을 이용하여 시뮬레이션을 수행, 분석함으로써 축사의 환경, 제어, 운영에 대한 결과를 도출하여 이를 바탕으로 축사를 제어할 수 있다. 이러한 과정은 계속적으로 반복되며, 실제 축사와 가상 축사는 실시간으로 데이터 연동을 함으로써 시간이 지날수록 제어에 대한 정확도를 높일 수 있다.

2. 축산분야 적용을 위한 디지털 트윈 아키텍처

축산을 위한 디지털 트윈 플랫폼의 효율적 구현을 위해서는 현장 중심의 정형, 비정형 데이터의 구성뿐만 아니라 시스템을 구성하는 구조에 대한 이해가 필수이

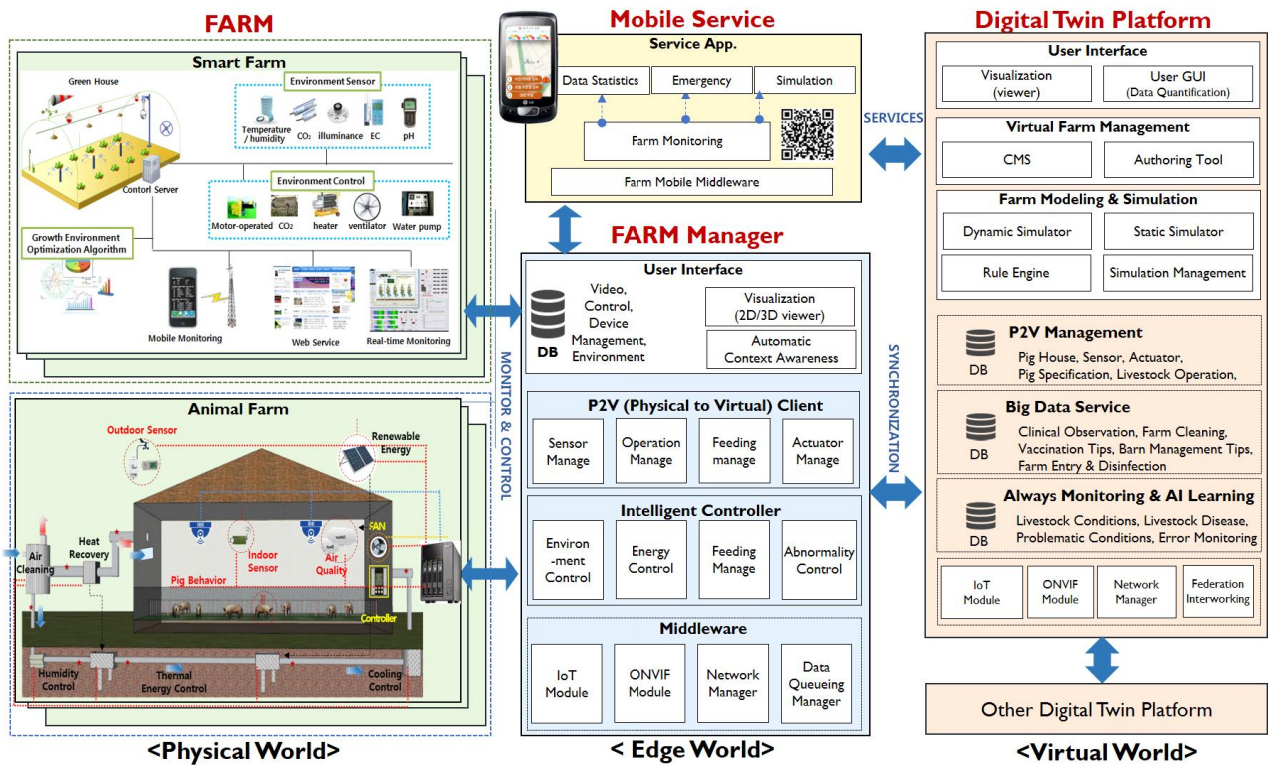


그림 2. 농·축산을 위한 계층적 디지털 트윈 아키텍처
Fig. 2. Architecture of hierarchical digital twin for agriculture & livestock.

다. 그림 2와 같이 농·축산 분야에서 디지털 트윈의 적용을 위해서는 현장을 구성하는 실제 농장(Physical World), 농장을 위한 운영 시스템(Edge World), 다양한 실시간 정보의 모델링, 분석 및 예측을 위한 디지털 트윈 플랫폼(Virtual World)으로 구성된다. 농장을 위한 운영 시스템 및 농장 내의 시스템 구성은 한국의 정보통신 단체표준에 정의되었다^[9].

농장내 운영 시스템은 생산 시설 내에서 센서 노드를 통하여 다양한 센싱 정보를 수집하고 이를 활용해 성장 환경을 조성하는 설비기기의 제어 노드를 통해 운영이 가능한 시스템으로 성장 환경 관리 및 제어와 같은 서비스 기능 제공이 가능하다^[23]. 디지털 트윈의 적용을 위한 농장의 운영 시스템(FARM Manager)은 농장에서의 영상, 제어, 센서, 관리 등의 로컬 정보의 데이터베이스를 수집하며, 이를 가시화하고 자동으로 상황을 인식하기 위한 사용자 인터페이스를 제공하고, 디지털 트윈 플랫폼과의 실시간 데이터의 전달 및 비대칭적 데이터 교환을 위한 클라이언트 모듈을 제공한다. 또한 디지털 트윈 플랫폼에서 제공하는 다양한 예측 및 최적 정보를 기반으로 농장을 제어하기 위한 경량화된 제어 소프트웨어가 탑재되어야 하며, 원격으로 떨어진 다수

의 농장에서 발생하는 다양한 형태의 실시간 데이터의 트래픽을 관리하기 위한 미들웨어가 탑재되어야 한다. 그리고 사용의 편리성을 모바일 단말기를 통한 모니터링과 편의 중심의 원격 제어가 가능한 모바일 서비스 앱이 필요하다. 디지털 트윈 플랫폼은 다수의 농장 운영 시스템과의 실시간 인터랙션이 가능해야 한다. 또한 사용자 레벨에 따른 다양한 기능의 제공이 가능한 확장 가능한 구조여야 한다. 첫 번째 디지털트윈의 사용자는 농장주와 작업자, 현장 컨설팅 관련자, 시스템 설계 및 개발자, 데이터 분석가 등 레벨에 따른 사용자 인터페이스의 제공이 가능해야 한다. 이를 위한 다양한 수준의 가시화 및 요구하는 품질의 데이터 제공이 가능한 형태여야 한다. 두 번째, 가상의 농장을 설계하고 구성하기 위한 가상 팜 관리 기능이 제공되어야 한다. 농장의 구성은 생산 목적 및 현장에 따라 매우 다양한 형태로 되어 있다. 또한 재사용성과 타 농장과의 비교 분석을 위한 표준화된 포맷을 제공하는 농장 저작도구의 제공이 필요하다. 세 번째, 농장의 가상화는 농장의 신규 설계 및 구축, 기존 시설의 개보 수, 구축된 시스템의 최적 운영 등이 고려되어야 한다. 신규 설계 및 구축 단계에서는 다양한 시설의 구성에 따른 시설 모델

링, 내 외부 기상정보의 모델링, 제어 모델링, 작물 및 동물의 모델링, 작업자의 모델링 등이 고려되고 쉽게 이해가 가능한 통합적 모델링이 가능해야 한다. 특히 한번 구축 되면 변경에 따른 큰 비용이 소모되므로 변경이 쉬운 형태의 구성도 함께 고려되어야 한다. 농가의 대부분은 이미 시설을 보유한 경우 많다. 하지만 실제 운영 과정에서 설계와 다르게 운영되는 경우가 많으며, 이에 따른 기존 시설의 변경을 고려한 모델링과 시뮬레이션 기능이 고려되어야 한다.

현장에서 기존의 시설을 개보수하는 경우 그에 따른 비용과 생산이 중단되는 점을 고려하였을 때 디지털 트윈 플랫폼을 통한 가상의 운영환경에서 시뮬레이션은 개보수에 따른 불확실성을 줄이는 데 필수적이다. 예를 들어 축사 내의 불안정한 대기 환경의 개선을 위해 배기 팬을 추가하는 경우, 농장주는 높은 설치비용과 개선에 대한 불확실성으로 시설에 대한 투자를 망설일 수밖에 없다. 디지털 트윈 기술을 활용하면 배기팬 설치 전 가상의 시뮬레이션을 통해 현재 시설에서의 결과를 미리 예측해볼 수 있어 추가 시설투자에 따른 리스크를 최소화할 수 있다. 현장에 설치된 센서와 구동기의 운영은 에너지 최적화, 운영비용 최소화, 노동력 최적화, 생산성 최대화 등 다양한 목적의 모델링을 통한 시뮬레이션을 통해 현장의 최적제어가 가능해야 한다. 상기 목적의 모델링과 시뮬레이션을 위한 동적, 정적 시뮬레이터와 이를 농장 운영 시스템에 실시간으로 전달하기 위한 다양한 규칙 엔진 등의 제공이 가능해야 한다. 디지털 트윈 플랫폼은 농장 운영 시스템과 실시간으로 연계되며 재사용성과 다양한 서비스 제공을 위한 사용자별 P2V(Physical to Virtual) DB, 빅 데이터 서비스, 상시 감시 및 다양한 학습 모델의 제공을 통한 예측 DB를 보유한다. 또한 기후, 유통, 에너지 등 축산 산업에서 중요한 또 다른 디지털 트윈 플랫폼과의 연합을 위한 인터페이스의 제공이 가능해야 한다.

3. 축산을 위한 디지털 트윈 플랫폼

디지털 트윈 기반의 축산 서비스는 생산 시스템을 구성하는 다양한 기술 요소들의 가상화를 통한 다양한 모델링과 시뮬레이션을 할 수 있으며, 이를 통해 내·외부 환경 상태의 정밀 예측, 센서·구동기·기자재 등의 수명 예측, 장비 제어 및 관리, 정밀 가시화를 통한 사용자의 높은 이해도 향상 등의 서비스 제공이 가능하다. 또한 현장에서 시간적·비용적 이유로 불가능한 다양한 테스트가 가능하며, 디지털 트윈 서비스를 통해 농장을 원

격에서 모니터링하고, 수동·자동으로 단순·복합 제어 관리하는 운영 시스템과의 실시간 연동을 통해 지능화된 관리 서비스의 제공이 가능하다. 최종적으로 농장경영 의사결정에 필요한 보고 자료 조회 및 사전 예측 결과를 통해 농장의 생산, 경영의 극대화를 가능하게 한다.

디지털 트윈 기술의 도입은 현장에 도입되는 센서, 제어기 등의 ICT장비 뿐만 아니라 노동 편리성과 생산성을 위해 구축된 기자재의 고장 진단과 수명 예측을 통해 유지보수의 편리성과 불필요한 장비의 도입 방지를 통한 무분별한 투자를 막는 효과도 가져올 수 있다. 축사의 내부 환경은 대부분 고온다습하거나 장비의 수명을 급격하게 줄이는 분진 및 가스를 포함하고 있어 그 수명이 일반적인 대기 환경에 비해 짧다. 이는 농민뿐만 아니라 시스템을 공급하는 기업에도 적절한 교체 시점과 A/S가 가능하게 하여 첨단 기술의 적용에 따른 부작용을 감소시킬 수 있다.

현재 대부분의 국내 농가는 직간접적인 온 오프라인 컨설팅 서비스를 활용하고 있으나 그 신뢰성에는 대부분 의구심을 갖는 경우가 많다. 예를 들어 축사내 공기 순환과 환기량은 온습도와 암모니아 조절에 절대적 영향을 미치며, 이를 고려한 축사의 설계, 환기 시스템의 구축 및 운영이 중요하다^[10~12]. 디지털 트윈 기술이 적용되면 입체적인 가시화를 통해 쉽게 이해할 수 있으며, 객관적 시뮬레이션 데이터를 통해 효과적 운영이 가능하다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 눈에 보이지 않는 공기에 대한 거동 예측과 에너지 효율 측면에서 설명 가능한 도구를 제공함으로써 온오프라인 농가 컨설팅 서비스뿐만 아니라 전문가 양성의 교육 자료로 활용할 수 있다^[13~15].

축산 산업은 전 세계적으로 탄소 배출과 수질오염을 발생하는 주요 산업 중 하나이다. 생산과정에서의 폐기물, 축산 악취, 다양한 질병(인수공통 전염병 등)의 원인이 된다. 한국의 경우 축산농가의 수는 감소하고 있지만 증가하는 수요를 만족시키기 위하여 축산 시설물이 대형화 되고 있는데 특히 축사로 이로 인한 악취 등으로 인해 주변 민가의 민원이 증가하고 있는 실정이다^[16]. 이러한 현장문제 해결은 디지털 트윈 기술의 다양한 분석 방법 및 사전 예측 기능을 활용하여 악취 등 오염 원인에 대한 객관적인 데이터 제공과 함께 조치후 부작용을 최소화함으로써 지역 주민 간의 갈등을 해소하는데 도움을 줄 수 있다.

축산 산업은 고령화 및 노동력 부족, 인건비 증가 등으로 인한 어려움이 있으며, 이를 극복하기 위해 시스

템 자동화와 데이터 중심의 영농을 통한 선진화를 추진하고 있다. 특히 기후와 먹거리가 다른 해외 시스템 도입의 한계로 인해 한국형 스마트팜 기술의 확보는 더욱 중요하다. 디지털 트윈 플랫폼은 매우 복잡한 형태의 농업 생산에 있어 경험적 생산에서 예측 가능한 복합 데이터 분석 중심의 생산을 가능하게 한다.

스마트축산은 기존 경험 중심 축산업과 ICT 기술의 융합을 통해 생산성을 향상하기 위한 축산업 방식이다. 특히 원격에서 제어가 가능한 1세대 수준의 기술이 현장에 보급되고 있으나, 다양한 정부의 보조 사업이 있음에도 불구하고 기술 도입비가 높아 투자 대비 효과에 있어서 부정적인 의견도 존재하는게 현실이다. 디지털 트윈은 다양한 조건에 따른 매우 지능화된 방식의 생산을 가능하게 하고, 특히 단순한 원격 제어 수준에서 공간의 제약 없이 가상의 디지털 트윈에서 현실 세계 제어가 실시간으로 이루어져 무인화가 가능하도록 할 수 있다. 무인화는 결국 사람을 대신할 수 있는 로봇 관련 기술과의 융합을 통해 운영 관리에 필요한 인력·비용·시간 절감 효과가 가능할 때 그 효과가 나타날 것으로 판단된다. 현재 개발되고 있는 로봇 기술은 무인화보다 편리성 중심이지만 디지털 트윈 기술과의 연계를 통해 육안으로 확인이 불가하거나 위험성이 높은 작업을 실시간 모니터링 하거나 가상공간에서 제어하여 사고 예방 및 피해 최소화 가 가능하도록 할 수 있다.

디지털 트윈 플랫폼은 생산 분야 뿐만 아니라 생산물의 가공 및 포장, 운송 및 소비 등과 연계된 스마트 시티, 스마트 환경 등 다양한 디지털 트윈 간 상호작용과 실시간 자율 협력을 위한 디지털 트윈 연합을 통해 디지털 트윈 모형 간 연계를 통한 새로운 비즈니스 모델로 발전할 것으로 예상된다. 특히 표준화된 공통 서비스 엔진 기술과 개방형 인터페이스를 통한 연합 디지털 트윈에서 신규 서비스가 생성될 수 있는 기술이 확보될 것으로 전망된다.

4. 스마트축사에서 디지털 트윈 적용 사례

지금까지 스마트 축사에 적용하기 위한 디지털 트윈 기술들을 살펴보았다. 가축 농장에서는 물리적 자산으로부터 실시간으로 얻을 수 있는 데이터가 많다. 디지털 트윈은 이러한 실시간 데이터를 기반으로 가축의 건강과 웰빙을 개선하고 수익을 극대화할 수 있다. 본 절에서는 디지털 트윈 플랫폼을 이용하여 축사 운영 시뮬레이션 분석 사례들에 대해서 기술한다.

4.1 디지털 트윈을 적용한 정밀 축산

축산 분야의 디지털 트윈 기술은 아직 초기 단계에 있지만 정밀 축산(Precision Livestock Farming : PLF)의 사용은 현재 기술을 활용하여 동물 복지 관리를 개선하고 이에 따라 동물 제품 생산을 개선하고 있다. 인건비 상승과 함께 축산업의 자동화 요구 증가는 PLF 추세를 주도하고 있다. 실제로 PLF 시장은 2020년 31억 달러에서 2025년 48억 달러로 크게 성장할 것으로 예상된다^[26]. PLF를 통해 축산업 산업의 문제를 해결하는 독특한 방법을 보여줌으로써 가축 농장에서 디지털 트윈 기술을 구현할 수 있는 길을 열었다. 디지털 트윈 기술 개발의 핵심 도구인 웨어러블 동물 센서는 Neethirajan과 그의 팀이 설명한 대로 PLF에서 이미 사용되었다^[27].

4.2 가축의 실시간 3D 안면의 가상화

적대적 생성 신경망(Generative Adversarial Network : GAN) 머신 러닝 알고리즘을 사용하여 농부는 가축의 실시간 3D 얼굴을 가상의 디지털 트윈으로 생성할 수 있다. 농부는 가상 모델에 있는 귀 위치 및 눈 영역과 같은 항목을 조사하여 동물 행동을 더 잘 예측하고 가축 스트레스를 예측하며 통증 및 질병의 초기 징후를 관찰할 수 있다.

4.3 양돈 축사의 에너지 관리

온도, 습도 및 암모니아 등의 요인은 축사 내부의 가축의 편안함과 건강에 큰 영향을 미친다. 건축 전에 양돈 축사의 디지털 트윈을 생성하여 농부는 최적의 조건을 만들기 위해 창문, 팬 및 히터의 효율성을 테스트할 수 있다. ETRI에서는 EnergyPlus의 시뮬레이션과 한국의 실제 양돈 농장에서 사용할 고효율 팬을 결정하기 위해 디지털 트윈을 만들었다^[17]. 온도 및 습도 데이터는 실제 양돈 축사에서 수집되어 시뮬레이션에 사용되었다. 연구원들은 다양한 팬 용량과 위치를 테스트하고 그 결과를 바탕으로 가장 에너지 효율적이고 효과적인 솔루션을 선택했다.

4.4 방목 가축의 움직임 모니터링

축산 농가는 GPS(Global Positioning System)와 WSN(Wireless Sensor Network) 추적 기술을 사용하여 넓은 방목 지역에서 특정 동물의 위치를 식별할 수 있을 뿐만 아니라 방목 패턴과 행동을 관찰할 수 있다^[25]. 또한 질병이 조기에 발견되면 추적 기술을 통해 농부가

아픈 가축에 가까이 있었던 동물을 쉽게 찾아낼 수 있어 질병의 확산과 가축의 손실을 방지할 수 있다.

4.5 젖소의 성장과 발달에 대한 이해

젖소의 디지털 트윈은 송아지에서 성체까지의 동물 성장 및 발달 단계를 더 잘 이해하는 데 사용할 수 있다. 다중 에이전트 기술 플랫폼은 센서와 종단 데이터를 결합하여 동물의 표현형 특성을 개발한다. 동물의 모양, 행동 및 생리적 기능을 기록하고 동물 발달의 다중 에이전트 계획과 생활 단계 및 생산 주기 관리에 사용할 수 있다.

4.6 가축 모니터링을 위한 AI 기반 컴퓨터 비전

아일랜드의 신생 기업인 Cainthus는 스마트 카메라 시스템을 사용하여 24시간 동물과 작업을 모니터링한다. 고급 AI 기술과 결합된 이 카메라 시스템은 이 실시간 시각적 데이터를 농부가 전화, 데스크톱 컴퓨터 또는 모바일 장치에서 검토할 수 있도록 실행 가능한 통찰력으로 변환한다. 미국 농업 회사인 Cargill은 소의 건강을 추적하기 위해 Cainthus와 협력하고 있다.

4.7 증강 현실로 동물 행동 비교

돼지와 닭의 활동을 관찰하고 센서 기술을 통해 생체 신호를 기록함으로써 농부는 디지털 트윈을 사용하여 꼬리 물기 및 깃털 쪼는 것과 같은 해로운 행동을 예측하고 예방할 수 있는 새로운 솔루션을 설계할 수 있다. 실시간 데이터와 시뮬레이션을 사용하여 농부는 돼지와 닭이 헛간, 축사 및 인구의 변화뿐만 아니라 특정 환경에서 어떻게 반응할지 예측할 수 있다. 증강현실 기술은 예측된 행동과 실제 행동을 비교하여 가축의 복지를 향상시키는 통찰력을 제공한다.

4.8 하이테크 보수계로 번식을 위한 열 주기를 감지

SmartAgriFood 및 Fractals 가속기 프로젝트^[28]의 일환으로 디지털 트윈이 하이테크 보수계를 사용하여 젖소의 움직임을 감지하는 데 사용되었다. 이러한 모니터링을 통해 농부는 인공 수정 노력의 효율성을 극대화할 수 있다.

V. 결 론

디지털 트윈 기술은 응용 분야의 특성을 고려한 데이터 중심의 가시화, 모델링 및 도메인 간 연함이 고려되

어야 한다. 디지털 트윈의 장점은 시간과 비용 등 현장에서 검증 및 예측이 어려운 부분에 대한 기술적 해결을 통해 사용자에게 다양한 이해 능력을 키우는 데 큰 도움이 된다. 특히 축산과 같이 살아 있는 동물을 다루는 분야에서는 가축을 키우는 관련 시설, 내부 및 외부의 환경 정보, 사람의 작업 정보, 생물의 특성 등을 고려하여야 하며 이에 필요한 유의미한 결과 도출을 위해서는 상당한 시간이 소모되는 특징을 갖는다. 타 응용 분야에 비해 많은 시간이 걸리는 점과 비용 측면을 고려하면 반드시 디지털 트윈이 적용되어 현실과 연계하여 사용되어야 한다.

축산 농가에서 광범위한 채택이 되도록 하기 위해 디지털 트윈 기술에 대한 더 많은 사례 연구가 필요하다. 향후 수년간 세 가지 중요한 추세에 예상된다. 첫째, 축산업에서 디지털 트윈 채택의 이점을 검증하기 위해 전 세계적으로 자금이 지원되는 시험 프로젝트 수가 크게 증가할 것이다. 둘째, 이러한 시험 프로젝트를 위한 대부분의 자금은 정부, 연구 기관, 개인 투자자 및 민간 투자 기관으로부터 나올 것으로 예상된다. 축산 농가에서는 이러한 실험에 투자할 가능성이 거의 없다. 마지막으로, 디지털 트윈을 구현하는 데 필요한 모든 관련 기술의 비용은 계속해서 더욱 감소할 것이다. 이로 인해 인건비가 증가하고 대규모 운영이 증가하는 축산업 분야에서 특히 디지털 트윈 기술이 매력적일 수 있다. 축산업 분야에서 디지털 트윈이 널리 채택되기까지는 적어도 수 년은 더 걸리겠지만, 앞에서 논의한 세 가지 추세에 따라 축산분야에서 디지털 트윈 기술이 주류로 채택이 될 것이다.

REFERENCES

- [1] D. Y. Jeong, Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP), ICT R&D Technology Roadmap 2025 (ICT Convergence, 2020)
- [2] D. Y. Jeong, "Technical Definition of Digital Twin and Five-Level Model," OSIA S&TR Journal, Vol. 34, no. 2, pp. 10-16, March 2021
- [3] M. Grieves, Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication, WhitePaper, NASA, Washington, DC, USA, 2014.
- [4] S. Neethirajan and B. Kemp, "Digital Twins in Livestock Farming," Animals, Vol. 11,

- issue 4, pp. 1008, 2021,
- [5] Predix Platform, Industrial Cloud Based Platform (PaaS), from <https://www.ge.com/digital/iiot-pl atform>
- [6] Y. H. Lim, "Digital twin, digital duplication from factory to city," Spatial Information Magazine Vol. 17, April 2018.
- [7] IBM Watson, from <https://www.ibm.com/kr-ko/watson>
- [8] Eclipse Ditto - open source framework for digital twins in the IoT, from <https://www.eclipse.org/ditto/>
- [9] TTA.KO-06.0286, Requirements Profile for Environmental Control and Monitoring System in Greenhouse, TTA, 2012, Retrieved from <http://www.tta.or.kr>
- [10] U. H. Yeo, I. B. Lee, R. W. Kim, S. Y. Lee, and J. G. Kim, "Computational fluid dynamics evaluation of pig house ventilation systems for improving the internal rearing environment," biosystems engineering, 186, pp. 259-278, 2019.
- [11] R. W. Kim, I. B. Lee, T. H. Ha, U. H. Yeo, S. Y. Lee, M. H. Lee, and J. G. Kim, "Development of CFD model for predicting ventilation rate based on age of air theory using thermal distribution data in pig house," Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 59, no. 6, pp. 61-71. 2017.
- [12] S. Y. Lee, I. B. Lee, R. W. Kim, U. H. Yeo, J. G. Kim, and K. S. Kwon, "Dynamic energy modelling for analysis of the thermal and hygroscopic environment in a mechanically ventilated duck house," biosystems engineering, Vol. 200, pp. 431-449. 2020.
- [13] R. W. Kim, J. G. Kim, I. B. Lee, U. H. Yeo, S. Y. Lee, and C. Decano-Valentin, "Development of three-dimensional visualisation technology of the aerodynamic environment in a greenhouse using CFD and VR technology Part 2: Development of an educational VR simulator," Biosystems Engineering, Vol. 207, pp. 12-32, 2021.
- [14] R. W. Kim, J. G. Kim, I. B. Lee, U. H. Yeo and S. Y. Lee, "Development of a VR simulator for educating CFD-computed internal environment of piglet house," biosystems engineering, Vol. 188, pp. 243-264, 2019.
- [15] J. G. Kim, I. B. Lee, K. S. Yoon, T. H. Ha, R. W. Kim, U. H. Yeo, and S. Y. Lee, "A study on the trends of virtual reality application technology for agricultural education," Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 27, no. 2, pp. 147-157, 2018.
- [16] U. H. Yeo, C. Decano-Valentin, T. Ha, I. B. Lee, R. W. Kim, S. Y. Lee and J. G. Kim, "Impact Analysis of Environmental Conditions on Odour Dispersion Emitted from Pig House with Complex Terrain Using CFD," Agronomy, Vol. 10, no. 11, pp. 1828, 2020.
- [17] S. K. Jo and S. H. Kim. "A case study of digital twin-based smart livestock," Journal of the Korean Telecommunications Society, Vol. 45, no. 8, pp. 1472-1481, 2020.
- [18] III Bellamy, W. AVIATIONTODAY. Available Online: <https://www.aviationtoday.com/2018/09/14/boeing-ceo-talks-digital-twin-era-aviation/>. (Accessed on Dec 17, 2020)
- [19] Powers, G. Deloitte. Available Online: <https://deloitte.wsj.com/cio/2017/09/25/at-hall-iburton-real-time-data-delivers/>. (Accessed on Dec 17, 2020)
- [20] DASSAULT SYSTEMES. Available Online: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/solutions/life-sciences/the-living-heart-project/>. (Accessed on Dec 18, 2020)
- [21] The Future Factory. Available Online: <https://www.thefuturefactory.com/blog/59>. (Accessed on Dec 18, 2020)
- [22] S. H. Byeon and J. B. Park, "Single Motor and Solenoid Actuator-based Four-wheel Steering System Design for Improving the Rotational Performance of Smart Farm Robots," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 59, no. 1, pp. 131-137, 2022.
- [23] S. G. Kim, S. B. Cho, S. W. Suh and J. H. Kim, "Design and Implementation of Control Module based on Wi-Fi Network for Smart Farm," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 57, no. 3, pp. 91-98, 2022.
- [24] EnergyPlus, from <https://energyplus.net>
- [25] J. K. Park and E. Y. Park, "Animal Monitoring Scheme in Smart Farm using Cloud-Based System," ECTI-CIT Transactions, Vol. 15, no. 1, pp. 24-33, Nov. 2020.
- [26] MarketsandMarkets. Precision Livestock Farming Market with COVID-19 Impact Analysis by System Type, Application, Offering, Farm Type, Farm Size and Geography-Global Forecast to 2025. 2020.

Available online: <https://www.reportlinker.com/p05812010/Precision-Livestock-Farming-Market-by-Functional-Process-Hardware-Application-And-Geography-Analysis-Forecast-to.html> (accessed on 18 December 2020).

- [27] S. Neethirajan, "Recent advances in wearable sensors for animal health management," *Sens. Bio Sens. Res.*, Vol. 12,

pp. 15-29, 2017.

- [28] C. N. Verdoux and J. W. Kruize, "Digital Twins in Farm Management: Illustrations from the FIWARE Accelerators Smart Agri Food and Fractals," In *Proceedings of the 7th Asian-Australasian Conference on Precision Agriculture Digital*, Hamilton, New Zealand, pp. 1-5, 16-18 October 2017.

저 자 소 개



김 철 림(정회원)

1998년 2월 : 한국외국어대학교
컴퓨터공학과(공학사)

2000년 2월 : 한국외국어대학교
컴퓨터공학과(공학석사)

2019년 3월~현재 : 한성대학교
스마트융합컨설팅학과
박사과정

<주관심분야: 인공지능, 빅데이터, 디지털트윈,
스마트팩토리, 스마트팜>



김 승 천(평생회원)

1994년 2월 : 연세대학교

전자공학과(공학사)

1996년 2월 : 연세대학교

전자공학과(공학석사)

1999년 8월 : 연세대학교

전기컴퓨터공학과

(공학박사)

2000년 1월~2001년 1월 : Univ. of Sydney
Research Fellow

2001년 2월~2003년 8월: LG전자 DTV/DA
연구소 선임연구원

2009년 7월~2010년 7월: Univ of Oregon
방문교수

2003년 3월~현재: 한성대학교 IT융합공학부 교수

<주관심분야: 네트워크 보안, 블록체인 서비스,
사물인터넷 보안, 5G 이동통신망 서비스>