

디지털 트윈 기반 스마트 축사 - 사례 연구

조성균*, 김세한*

Digital Twin-Based Smart Livestock House - Case Study

Seng-Kyoun Jo*, Se-Han Kim*

요약

4차 산업혁명시대를 맞이하여 농업과 정보통신기술의 융합을 통하여 농업의 패러다임이 바뀌고 있으며, 전통적인 1차 산업으로 간주되었던 농업이 ICT를 활용한 융복합 산업의 등장으로 인하여 생태계에 큰 변화를 가져오고 있다. 이는 초기의 노동력 절감을 위하여 원격으로 관리했던 농업 생산 환경에서 더 나아가 자동화, 지능화를 통하여 노동력 절감은 물론 생산성과 운영의 효율화를 이룩함으로써 진정한 스마트 농업으로 빠르게 진화하고 있다. 본 논문에서는 최근 산업계의 핵심 키워드로 떠오르고 있는 디지털 트윈 기술 및 서비스 동향에 대해 살펴보고, 특히 축사를 대상으로 디지털 트윈 기술을 적용하여 효율적인 축사 운영을 위한 다양한 사례에 대해 알아본다. 또한, 구축한 디지털 트윈 기반의 스마트 축사를 통해서 가상의 디지털 공간에 축사를 구축하고, 현실 축사와의 데이터 연동을 통해 에너지 시뮬레이션을 수행함으로써 도출된 결과들에 대하여 기술한다.

키워드 : 디지털 트윈, 스마트팜, 스마트 축사, 에너지 분석

Key Words : Digital twin, smart farm, smart livestock house, energy analysis

ABSTRACT

Toward the area of the 4th industrial revolution, the paradigm of agriculture has been changed according to the convergence between agriculture and information and communication technology. This trend is accelerating the realization of smart agriculture owing to the activation of automation and intelligence for not only reduction of labor but also efficiency of production and maintenance. This article provides survey of digital twin which is an emerging keyword in recent industries in both technology and service perspectives and a case study for digital twin in a smart livestock house is performed. Digital twin enables to construct virtual livestock house a digital space and data between real and virtual livestock houses is exchanged. Also, results from energy simulations through digital twin-based smart livestock house are discussed.

1. 서론

세계 인구는 개발도상국가들의 높은 출산률과 의학 기술의 발전에 따른 평균 수명 연장으로 인하여 2023년에는 80억명, 2056년에는 100억명에 도달할 것으로

전망되고 있다¹⁾. 따라서 인구가 증가에 비례하여 지금보다 더 많은 식량을 생산해야 하지만, 기후변화에 따른 지구온난화로 인하여 식량 생산량이 늘어나는 인구의 소비량에 미치지 못할 것이라는 우려 섞인 목소리가 나오고 있다. 더 나아가 세계 각국에서는 식량

※ 본 연구는 2020년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00387, 축산 질병 예방 및 통제 관리를 위한 ICT 기반의 지능형 스마트 안전 축사 기술개발)

•° First & Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), skjo@etri.re.kr, 선임연구원, 정희원

* Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), shkim72@etri.re.kr, 실장, 정희원

논문번호 : KICS202005-110-0-SE, Received May 20, 2020; Revised July 21, 2020; Accepted July 27, 2020

위기에 대비하여 보호주의를 강화하고 있으며, 이는 식량에 대한 부익부빈익빈 현상을 더욱 가속화시키고 있다. 더욱이 최근 코로나 19로 인하여 일부 국가들이 곡물에 대한 수출을 제한함에 따라 전 세계적으로 식량 안보에 대한 경계심이 크게 대두되고 있으며, 선진국을 중심으로 농업 발전을 통해 안정적이고 지속적인 식량 생산 방법을 찾기 위한 연구개발에 심혈을 기울이고 있다.

농업은 인류가 가장 먼저 시작한 원시산업으로 여러 산업 중 가장 오랜 역사를 가지며 인류의 발달과 함께 성장해 왔지만, 오랫동안 첨단산업과는 거리가 먼 1차 산업이자 사양산업으로 인식되어 왔다. 하지만 “농업의 발전이 없으면 선진국이 될 수 없다”는 노벨상 수상자인 사이먼 쿠즈네츠의 말처럼 농업은 국민에게 건강하고 안정적인 먹거리를 제공하고, 식량 안보를 굳건히 할 수 있는 미래 기간산업으로써 앞으로 그 중요성은 점차 커질 것으로 예상된다¹⁵⁾. 최근들어, 다양한 정보통신 기술의 발전으로 인하여 농업에서도 새로운 변화를 겪고 있다. 기존의 노동력 중심의 1차 산업에서 첨단 기술을 적용함으로써, 자동화, 대량생산, 맞춤형 생산 등이 가능한 첨단 산업으로 진화하고 있다. <표 1>은 정보통신 기술의 발전에 따른 농업 생산 환경에 대한 변화를 설명한다.

농업에서 ICT(Information & Communication Technology)를 활용한 사례들을 살펴보면, 최근 5G의 상용화에 힘입어 농업용 드론으로부터 농작물에 대한

정보를 수신하고 근처의 클라우드 센터에 실시간 전송하여 농작물의 상태를 분석하고, 원격에 위치한 관리자는 모바일 단말을 통해서 농작물에 대한 제어가 가능하다. 또한, 인공지능 기술 적용으로 인하여 농작물에 대한 영상, 이미지 분석을 통해 병해나 생육 상태를 사람의 개입 없이도 판단이 가능해짐에 따라 농업 분야를 미래 첨단 산업으로 탈바꿈시키고 있다^{2,3)}

국제적인 시장조사 전문기관인 가트너(Gartner)는 매년 10대 전략 기술 트렌드를 발표하고 있는데, 2017년부터 디지털 변혁시대를 맞아 기업들이 주목해야 할 10대 전략 기술 트렌드 중의 하나로 디지털 트윈을 지속적으로 언급함으로써 이에 대한 관심을 모으고 있다⁴⁾. 디지털 트윈은 사실 2012년 미국 미시건 대학교의 마이클 그리브스 교수가 처음 용어를 사용했으니¹⁶⁾, 그 당시에는 개념적으로만 존재하였고, 최근 사물인터넷, 유무선 통신, 인공지능, AR/VR(Augmented Reality/Virtual Reality) 같은 기술의 발전에 힘입어 다양한 산업으로 활용 범위가 확대됨에 따라 많은 기업들에서 활발하게 도입함으로써 널리 알려지게 되었다.

디지털 트윈은 현실 세계에 존재하는 물리적 대상의 형상, 성질, 상태 등의 정보를 소프트웨어를 이용한 가상의 세계에 동일하게 구축하고, 다양한 시뮬레이션과 두 공간 간의 상호 연동을 통하여 의미 있는 가치를 창출하는 기술로 정의될 수 있다. 디지털 트윈은 실제 사물이나 시스템을 디지털로 표현한 것으로, 단순히 구조만 디지털화한 것이 아니라 실제 사물이나 시스템에 장착된 센서를 통해 디지털화된 사물과 시스템의 상태를 실시간으로 대응시키거나 시뮬레이션을 통해 실제 사물에 미치는 영향을 사전에 예측이 가능하다. 따라서, 도입 기업들은 디지털 트윈을 통해 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 미리 예측함으로써 사업의 효율성을 높이고 있다.

본 논문에서는 4차 산업혁명의 핵심 키워드로 등장한 디지털 트윈 기술에 대한 기술 및 서비스 동향에 대해 알아보고, 스마트 팜 특히 축산 분야에 디지털 트윈 기술을 적용한 사례에 대해서 알아본다.

II. 디지털 트윈 관련 기술 및 서비스 동향

2.1 디지털 트윈 기술 동향

프레딕스(Predix)¹⁵⁾는 GE社가 개발한 세계 최초의 산업인터넷 운영 플랫폼으로써, 플랫폼 내에서 사용자가 산업인터넷에 최적화된 애플리케이션을 개발하고 운영할 수 있도록 필요한 환경을 제공한다. 고객사들

표 1. ICT 활용에 따른 농업 생산 환경의 변화
Table 1. The trend of agriculture production environment using ICT

	1세대	2세대	3세대	4세대
의사 결정	관리자 (사람)	컴퓨터, 사람	컴퓨터	컴퓨터
핵심목표	편의성 향상, 노동력 절감	생산성 향상	플랜트형 대량 생산	개인화 소비, 유통
주요 기능	원격 모니터링, 제어	생산, 정밀, 지능화	전 과정 지능화	생산, 소비, 유통
핵심 기능	ICT 기술 (CCTV, 센싱, 제어기)	1세대 + IoT, 빅데이터, 클라우드, 드론	2세대 + 인공지능, 지능로봇, 에너지	3세대 + 스톱레이터, 블록체인
투자·운영 비용	낮음	중간	높음	높음

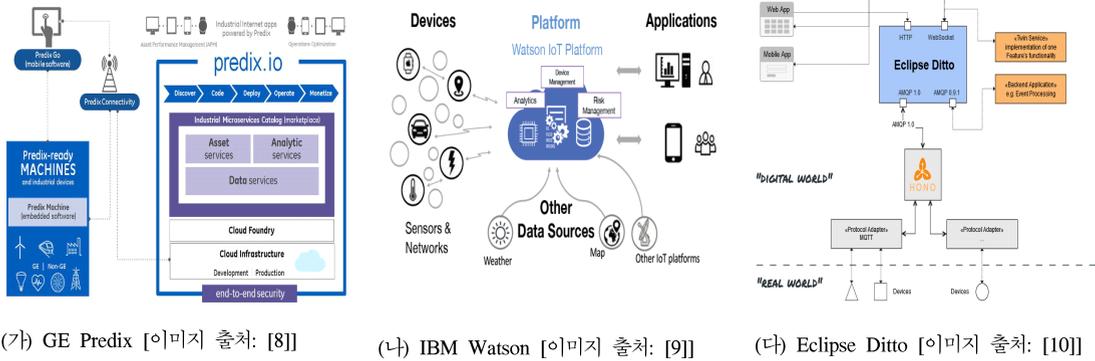


그림 1. 다양한 디지털 트윈 플랫폼
Fig. 1. Digital twin platforms

은 프레딕스 기반으로 운영되는 앱으로 산업 기계/설비에서 발생하는 대규모 데이터를 수집, 분석하고 이를 통해 운영 최적화를 달성할 수 있다. 초기에는 주로 제조 산업의 자동화에 초점을 맞추어 생산 전주기에서 발생하는 데이터를 체계적으로 수집하여 분석함으로써 향후 발생될 수 있는 문제점이나 성능에 대해 예측 서비스를 제공하였다. 2016년 프레딕스 공개 직후 지금까지 수만 명의 소프트웨어 개발자가 프레딕스를 이용하여 수백 개의 산업용 애플리케이션 생태계를 구축했으며, 특히 디지털 트윈의 개념이 적극적으로 도입된 이래로 개발사인 GE 역시 프레딕스를 활용해 2017년 기준으로 80만 개에 달하는 현실과 가상의 상호 연동을 통한 디지털 트윈을 개발하며 디지털 트윈 확산에 앞장서고 있다. 한 예로, GE의 자회사인 GE 항공은 이런 문제를 최소화하기 위해 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.

IBM사의 Watson IoT 플랫폼^[6]도 최근들어 디지털 트윈 서비스를 위한 플랫폼으로 등장하고 있다. IBM Watson은 사람과 컴퓨터간 새로운 파트너십을 가능하게 하는 코그니티브 컴퓨팅 플랫폼으로써 인공지능 소프트웨어를 의료, 금융, 방송 등 다양한 분야에 적용하기 위한 기반 기술을 제공하고 있으며, 디지털 트윈에 있어서 데이터에 기반한 예측을 위하여 인공지능이 핵심 기술로 부각됨에 따라 산업 분야를 확장하

여 디지털 트윈 플랫폼으로 발돋움하고 있다.

최근 소프트웨어 산업의 생태계가 경쟁·폐쇄적인 환경에서 협업·개방적으로 경제의 패러다임이 변화함에 따라 오픈소스를 기반으로 디지털 트윈을 구현함으로써 산업간 융합을 촉진시키고 있다. 한 예로, 이클립스(Eclipse) 재단에서 배포하고 있는 디토(ditto) 플랫폼^[7]을 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. 더 나아가 디지털 트윈의 핵심인 현실과 가상 공간의 데이터 연동 및 상태 관리를 위한 프레임워크 제공을 목표로 하고 있다. 현재까지의 완성도는 데이터 및 API에 대한 규격을 정의하고 있으나, 머지않아 오픈 소스 기반의 디지털 트윈 플랫폼으로 활용도가 높을 것으로 예상된다. <그림 1>은 GE Predix, IBM Watson, Eclipse Ditto에서 자사의 솔루션을 중심으로 디지털 트윈 제공을 위한 개념도를 보여주고 있다.

2.2 디지털 트윈 서비스 동향

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 특성 상 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 공간 상에 가상의 생산라인을 구축하고, 운영함으로써 제품의 생산률, 오류발생률, 수명 주기 등을 사전에 예측하여 공장 운영에 활용할 수 있다.

프랑스의 Dassault社의 경우, 로봇 제조 공정 과정에 대한 개선을 통한 작업 효율화 및 비용 절감을 목적으로 디지털 트윈 기술을 도입하여 생산라인의 배치, 하드웨어, 작업 디자인 등 생산 과정 전체에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 과거 대비 향상성이 10~15% 개선되었다.

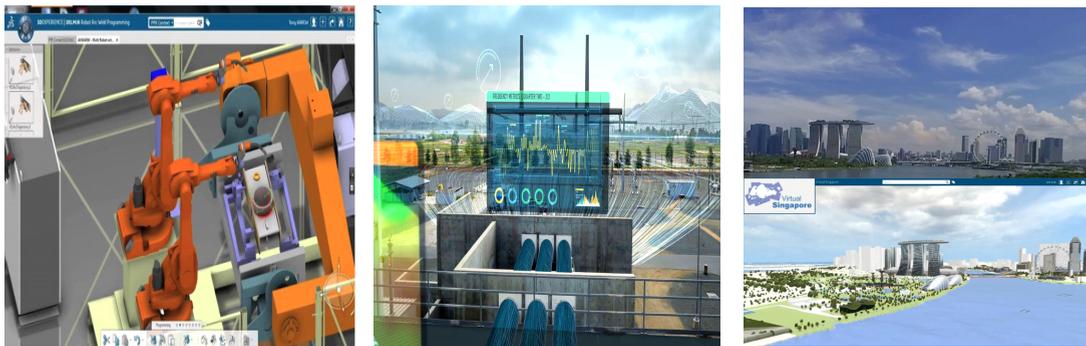
에너지 분야에 있어서는 디지털 트윈이 발전 시설 계획의 최적화와, O&M(Operation & Maintenance)의 효율화 그리고 에너지 소비를 최적화시키는데 주로 활용되고 있다. 에너지 소프트웨어 대표 주자인 GE는 자산성과관리 소프트웨어의 유지보수 최적화 기능을 전력망으로 확장시킨 디지털 변전소를 공개했다. GE의 디지털 변전소 솔루션은 전력망 핵심 요소의 신뢰성을 높이고, 자산 사용의 전 부문을 최적화한다. GE 파워는 가스, 증기, 원자력 발전소를 위한 새로운 디지털 파워 플랜트 소프트웨어를 출시했다. 이 소프트웨어를 통해 예상치 못한 가동중지 시간을 최대 5% 줄이고, 오탐률은 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 분해정비 교육 지원을 위하여 IDPP(Intelligent Digital Power Plant) 구현을 위한 디지털 트윈 기반의 발전운영 플랫폼 개발 사업에 착수하였다. 한국수력원자력은 SK텔레콤과 손잡고 사람의 조작 실수를 막고 설비 상 결함을 미리 확인하는데 도움을 줄 수 있는 디지털 트윈 기술을 활용, 자산을 소프트웨어로 가상화해 시뮬레이션함으로써 실제의 자산의 현재 상태, 생산성, 동작 시나리오 등에 대한 정확한 정보를 얻음으로써, 최

근 사고로 안전 문제가 불거진 원자력 발전소에 안전성을 높이기 위한 사업을 착수하였다.

도시 분야에 있어서 싱가포르가 정부 주도 2018년 도시 전체를 그대로 복제해 3D 가상 현실로 구현해 놓은 버추얼 싱가포르를 완성했다. 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 옮겨 놓은 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 실리콘 벨리라고 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 실험 결과를 반영해 각각의 건물 배치를 조정하는 방식으로 전체 지역이 통풍이 잘되도록 설계함으로써 바람이 건물 사이를 잘 흘러나가도록 길을 만들어 타운 전체의 대기 질을 높이는 효과를 거둘 수 있었다. 그림 2는 디지털 트윈 기술을 활용한 다양한 사례 들을 보여주고 있다.

III. 디지털 트윈 기반 스마트팜: 축산을 중심으로

본 장에서는 디지털 트윈을 축산 분야에 적용하여 스마트 축사를 제공하는 방안과 이를 활용한 사례로써, 디지털 트윈을 활용한 축사 에너지 분석 사례에 대해 기술한다.



(가) 로봇 제조 프로세스 시뮬레이션 사례 (Dassault社)

(나) 디지털 에너지 발전소 (General Electric社)

(다) 싱가포르의 버추얼 싱가포르 프로젝트

그림 2. 디지털트윈 기술의 적용 사례들
Fig. 2. Application examples of digital twin technology

3.1 디지털 트윈 기반 스마트 축사 개요

가축에게 불필요한 고통을 주지 않고 쾌적한 환경에서 동물의 습성대로 키우는 등 높은 수준의 사육 환경을 제공하기 위한 동물복지가 유럽을 중심으로 활발하게 실현되고 있다. 이는 가축을 향한 인간의 윤리적인 책임 외에도 건강하고 안전한 축산물에 관한 소비자의 욕구도 한몫을 하고 있다. 이를 위하여 국내에서도 동물복지 요건을 만족하는 농가를 대상으로 인증을 해주고, 생산되는 축산물에 대해 인증마크를 제공하고 있으며 더 나아가 장기적으로 전체 축산업을 환경친화적으로 개선하고자 하는 움직임이 일어나고 있다. 스마트 축사는 이러한 요구를 실현하기 위한 수단으로써 다양한 정보통신기술을 활용하여 가축에게 보다 쾌적한 사육 환경을 제공함과 동시에 노동집약적인 1차 산업을 보다 지능화되고 고효율을 지향하는 차세대 축사를 의미한다. 초기의 스마트 축사는 다양한 센싱 장치를 이용하여 원격에서 가축에 대한 모니터링 및 제어 기기에 대한 운영이 가능하여 노동력을 크게 절감할 수 있었다.

최근 인공지능, 빅데이터 같은 정보통신기술의 비약적 발전으로 인하여 데이터에 근거한 정밀 농업 (precision agriculture)이 미래 4차 산업으로 떠오르고 있으며, 이에 발맞추어 스마트 축사도 축사의 내·외부로부터 수집한 데이터와 센싱을 통한 가축의 상태 정보를 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 인에이블러로써, 디지털 공간 상에 가상 의 축사를 구축하고, 실제 축사와의 실시간 데이터 연동을 통해서 현실에서는 불가능하거나 제약이 많이 따르는 축사 환경, 제어, 운영에 대한 다양한 시뮬레이션이 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.

그림 3은 디지털 트윈을 이용하여 스마트 축사를 제공하는 개념도이다. 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.

그림 4는 디지털 트윈을 이용하여 시뮬레이션 수행에 따른 정보 흐름에 대한 예를 설명한다. 실제 축사에 설치된 다양한 센서류(온도, 습도, 암모니아 등)로부터 데이터를 수집하고, 분석에 필요한 데이터를 선별하고 저장한다. 분석의 목적에 따라 시뮬레이션의 종류를 선택 후, 해당 시뮬레이션을 수행하기 위한 사전 작업을 처리하고 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션이 완료되면 목적에 따라 결과를 분석하고 최종적으로 제어를 위한 의사결정을 수행한다. 마지막으로

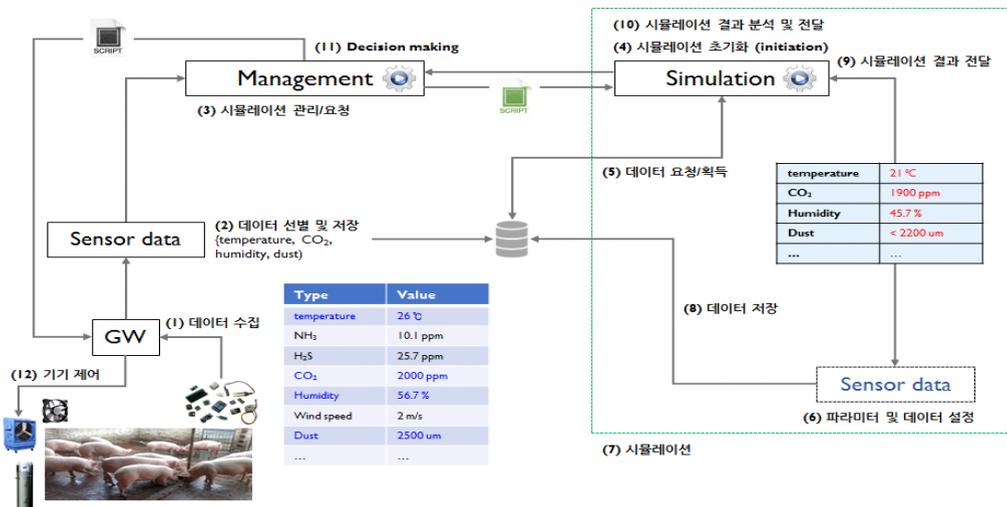


그림 3. 디지털 트윈 기반 스마트 축사를 이용한 시뮬레이션 정보 흐름도
Fig. 3. Information flow of smart livestock house using digital twin

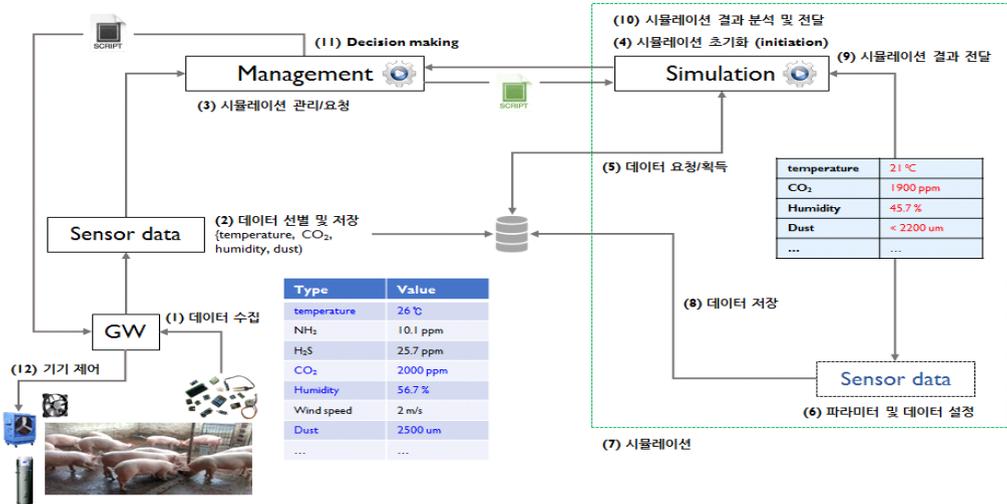


그림 4. 디지털 트윈 기반 스마트 축사를 이용한 시뮬레이션 정보 흐름도
Fig. 4. Information flow of smart livestock house using digital twin

분석된 결과를 바탕으로 실제 축사의 제어에 적용한다.

3.2 사례 연구: 디지털 트윈 기반 스마트 축사 에너지 분석

지금까지 디지털 트윈 기술을 활용한 스마트 축사를 제공하는 개요에 대해 설명하였다. 본 절에서는 축사 운영에 있어서 중요한 요소인 에너지에 대하여 실제 구축된 디지털 트윈 플랫폼을 이용하여 축사 운영에 있어서 의미있는 결과를 도출한 사례들에 대하여 기술한다. 가축들에게 최적의 사육 환경을 제공하기 위해서는 무엇보다도 일정한 온도를 유지시켜 주는 것이 중요하다. 하지만 우리나라는 계절적 요인과 축사의 위치에 따른 환경적 요인에 따라 기온 변화가 뚜렷하기에 일정하게 온도를 유지하기 위해서는 계절·시간대 별 냉난방 장치를 적절히 운영해야 한다. 현재 축산 농가의 경우, 주로 오래된 경험에 의존한 나머지 실시간으로 변하는 환경적 요인에 대한 적극적인 고려 없이 계절·시간대별 정적 운영 방법을 택하고 있다. 예를 들어, 여름 장마철인 경우 설정된 온도를 유지하기 위하여 일정 시간 동안 배기팬을 가동함으로써 온도를 맞추고자 노력하지만, 이는 반대로 습한 외부 공기를 축사 내로 유입시킴으로서 축사 내의 습도는 급격히 증가하게 되며 이는 가축의 면역력을 약화시키고 악취를 심화시키는 등 부작용을 초래할 수 있다. 또한, 냉난방 장치들은 기본적으로 전력을 소비하는 기기이므로 전력 사용에 따른 비용을 발생시키기 때문에 축산 농가 입장에서는 전력 사용을 최소화함

과 동시에 최적의 사육 환경을 제공함으로써 운영의 효율화를 실현할 수 있는 대책 수립이 시급한 실정이다.

이러한 축사 운영에 따른 효율성은 디지털 트윈 기술을 적용하여 가상의 축사에서 다양한 시뮬레이션을 통하여 결과를 도출하고 이를 분석함으로써 높아질 수 있다. 본 절에서는 디지털 트윈 기반 스마트 축사 프로토타입 시스템을 통하여 축사의 운영 환경, 특히 온도 제어를 중심으로 1) 가상 제어 기기, 2) 가상 지역, 3) 가상 재생에너지 사용에 따른 다양한 시뮬레이션 분석 사례에 대해 알아본다.

먼저 의미있는 결과 도출을 위하여 실제 순천시 낙안면에 위치한 돈사를 테스트베드 축사로 선정하여, 축사 내부 환경 정보(온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아)와 외부 환경 정보(풍속, 풍향, 일사량, 일조량) 수집을 위한 센서를 설치하였으며, 해당 정보에 대해 데이터를 실시간 수집하고 조회할 수 있도록 축산 데이터베이스를 구축하였다. 에너지의 사용량 및 효율 분석을 위해서는 건축 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 오픈 소스 기반의 EnergyPlus 시뮬레이션 소프트웨어^[11]를 사용하였으며, 정확도 높은 결과를 도출하기 위하여 실제 테스트베드 축사의 지형적 요건을 그림 5와 같이 축사 외관을 모델링하였다.

마지막으로 축사의 온도 제어에 활용되는 장치는 배기팬으로 한정하였고, 국내에서 상용으로 시판되고 있는 제품과 제품에 따른 성능 사양 정보를 시뮬레이션의 입력으로 활용하였다.



그림 5. 실제 테스트베드 축사를 대상으로 축사 모델링
Fig. 5. Livestock house exterior modeling based on real testbed livestock house

3.2.1 가상 제어 기기 사용에 따른 에너지 사용 예측
축사에 외벽에 설치된 배기팬은 가축의 분뇨로부터 발생하는 각종 오염된 공기를 외부로 배출하고 외부에 있는 신선한 공기를 내부로 유입시킨다. 동시에, 축사 내 온도를 일정하게 유지 시킬 수 있는 쾌적한 사육 환경을 제공하기 위한 필수적인 제어 장치로서 많은 축사에서 사용하고 있다. 효율적인 축사 운영을 위해서는 축사 설계 시에 목적에 따라 다양한 요소 (예를 들어, 축사의 형태, 면적, 지리적 위치, 사육 두 수 등) 들을 종합적으로 검토하여 반영해야 한다. 하지만, 이 모든 요소들을 복합적으로 분석하는 것은 쉬운 일이 아니며, 현실에서는 주로 축사 내부의 면적에 따라 배기팬의 종류와 개수가 결정되고 있으며, 이로 인하여 운영에 따른 효율에 있어 많은 문제점이 드러나고 있다.

축산 디지털 트윈 플랫폼은 이러한 문제를 해결하고자 디지털 공간 상에 가상의 축사를 구축하고, 현실 축사로부터 수집된 데이터들을 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써, 설계 단계에서 미리 축사 구축에 따른 다양한 성능에 대한 예측을 가능하게 해 준다. 또한, 축사 운영을 위한 제어 기기에 대하여 가상의 축사에 적용하여 미리 운영을 해 봄으로써 이에 대한 성능 예측도 가능하다. 표 2는 테스트베드 축사에 설치되어 운영되고 있는 배기팬의 사양을 보여준다.

현재 테스트베드 축사에 설치된 배기팬에 대한 성능 비교 분석을 위하여 그림 6과 같이 국내에서 시판되고 있는 다양한 배기팬을 가상의 기기로 디지털 트윈 플랫폼에 등록하여, 가상의 축사에 적용하여 에너

표 2. 테스트베드 축사에 설치된 배기팬 사양 정보
Table 2. Ventilation fan profiles installed in the tested livestock house

제품명	소비 전력 (W)	풍량 (CMH)	Design Flow Rate (m3/s)	Fan Pressure Rise
SLF-500D4	418	8,500	2.36	177
SLF-500A4	535	8,500	2.36	227



(가) SLF-350A4 (나) SLF-300D2 (다) SLF-500D4

그림 6. 상용 배기팬 종류 [12]
Fig. 6. Commercial ventilation fan

지 소비량을 예측하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 비교 분석을 위하여 다양한 배기팬의 사양 정보를 이용하여, 전체 환풍량 (CMH:Cubic Meter Hour)을 일정하게 유지시키기 위한 조합들을 도출한 결과는 표 3과 같으며, Case 2의 경우는 실제 테스트베드 축사에 설치된 배기팬 조합이다. 시뮬레이션 수행 결과, 배기팬의 조합에 따라 에너지 사용량이 상이함으로 보여주고 있으며, 특히 case 4의 경우, 전체 환풍량은 테스트베드 축사와 동일하게 유지하면서 에너지 소비는 34% 절감되는 것을 확인하였다. 기존에는 설치된 배기팬이 고장 및 노후로 인하여 교체를 해야 하는 경우, 배기팬의 사양에 의존하여 교체를 하였으나, 축산

표 3. 배기팬 조합에 따른 에너지 사용량 시뮬레이션 결과
Table 3. Simulation results of energy usage according to combination of ventilation fans

경우	배기팬 조합	개수	전체 환풍량 (CMH)	에너지 절감 효과
1	SLF-350A4	15	86,680	14%
	SLF-300D2	10		
2	SLF-500A4	6	85,000	-
	SLF-500D4	4		
3	SLF-730A6	4	84,400	11%
	SLF-500D4	4		
4	SLF-960A6	4	85,336	34%
	SLF-300D2	2		

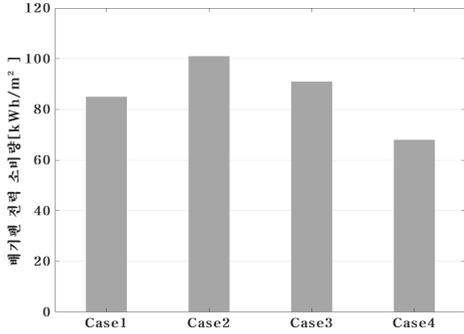


그림 7. 배기팬 조합에 따른 에너지 사용량 예측 결과
Fig. 7. Prediction of energy consumption according to combination of ventilation fans

디지털 트윈 플랫폼으로 인하여 사전에 다양한 배기팬을 가상의 배기팬으로 적용하고 실제 축사의 데이터를 활용함으로써 가상의 운영을 통한 다양한 성능 예측이 가능해졌음을 보여준다.

3.2.2 가상 지역 선택에 따른 에너지 사용 예측

외부 기후 조건은 에너지 사용에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 따라서 축사 건립을 위해서는 에너지 소비를 최소화할 수 있는 지역적 분석이 필요하다. 축산용 디지털 트윈 플랫폼은 가상의 공간에 실제 축사를 건립하는 경우, 외부 기후 조건을 활용하여 시



그림 8. 시뮬레이션을 위한 가상 지역 설정
Fig. 8. Configuration of virtual regions for simulation

뮬레이션을 수행하여, 운영에 대한 성능 예측이 가능하다.

국토교통부의 건축물의 에너지절약 설계 기준^[13]에 따르면, 국내의 경우 지역별 상이한 기후 조건에 따라서 그림 8과 같이 크게 4개의 지역 (중부 1지역 (대관령), 중부 2지역 (천안), 남부 지역 (순천), 제주 지역)으로 구분하고 있으며, 각 지역에 따라 대표 지역을 선정하여 테스트베드 축사를 해당 지역에서 운영하는 경우에 따른 에너지 사용량을 비교하였다. 실제 지역의 기상데이터를 수집하기가 어려운 관계로 남부 지역을 제외하고는 기상청 기상자료개발포털^[14]에서 제공하는 기상 데이터를 활용하였다.

그림 9은 테스트베드 축사를 가상 지역(천안, 대관령, 제주)에 건립하는 경우 제어(난방, 냉방, 조명, 팬, 펌프)에 따른 연 에너지 소비량 예측 결과를 보여준다. 외부 기후 조건에 따라 대관령의 경우 난방에 대한 에너지 소비가 타 지역보다 클 것으로 예측되며, 제주의 경우 온화한 기후로 인하여 타 지역보다 난방과 냉방에 소비되는 에너지가 상대적으로 적음을 확인할 수 있다.

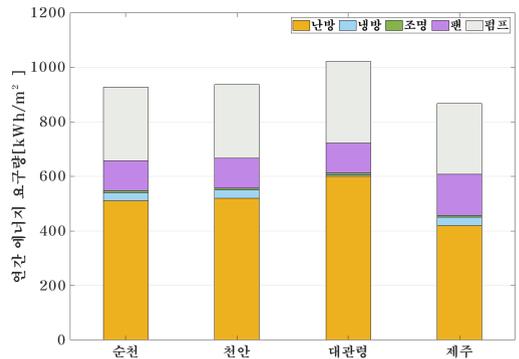


그림 9. 가상 지역에 따른 에너지 소비량 예측 결과
Fig. 9. Prediction of energy consumption according to virtual regions

3.2.3 태양에너지 사용에 따른 에너지 사용 예측

최근 축사 지붕에 태양광 패널을 설치하여 축사에 필요한 전력을 공급함으로써 전력 사용에 따른 비용을 줄이는 축사들이 늘어나고 있다. 하지만, 축사의 지역적 위치와 외부 기후 조건에 따라 생산할 수 있는 에너지량이 결정되기 때문에 충분한 검토 없이 태양광을 설치하기에는 위험 부담이 크다. 따라서, 태양광 패널 설치에 따른 경제적 효과를 분석하기 위하여 축산 디지털 트윈 플랫폼은 가상의 축사에 태양광 패널을 설치하고, 가상의 지역을 대상으로 시뮬레이션을

수행함으로써 사전에 에너지 발전량에 대한 예측이 가능하다.

그림 10은 순천의 테스트베드 측사를 대상으로 지붕에 태양광 패널을 설치하는 경우, 가상 지역의 외부 기후 조건에 따른 태양열 에너지 생산량을 예측한 결과이다. 지역적 위치에 따라서 천안과 순천 지역이 타 지역보다 양과 질의 태양열로 인하여 보다 많은 태양열 에너지가 생산되는 것으로 유추될 수 있다. 표 3은 생산되는 태양열 에너지가 전체 에너지 소비량을 기준으로 어느 정도 절감을 시킬 수 있는 지에 대한 자급률으로써, 천안과 순천 지역의 측사가 타 지역에 비하여 높은 자급률을 보여주고 있다.

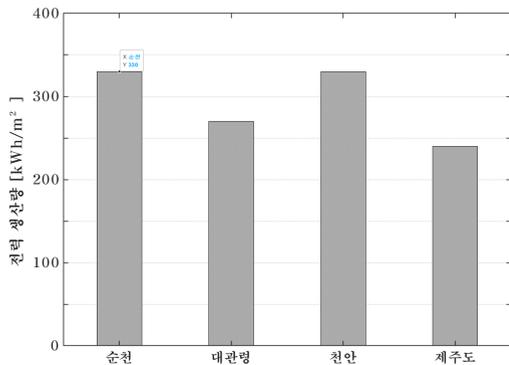


그림 10. 지역별 태양광 에너지 발전량 예측 결과
Fig. 10. Prediction of solar power generation according to virtual regions

표 3. 태양 에너지 사용에 따른 자급률
Table 3. Energy self-sufficiency rate from solar power according to virtual regions

	순천	대구	천안	제주
자급률	35%	27%	35%	28%

IV. 맺음말

1차 산업으로 간주되던 농업 분야가 정보통신기술의 도입으로 인하여 점차 지능화되면서 생산성 향상뿐만 아니라 운영에 있어서도 효율성을 크게 증가시키고 있다.

본 논문에서는 최근 가상과 현실 공간을 통해서 다양한 지능형 서비스를 제공하고 있는 디지털 트윈 기술을 농업 특히 축산업에 적용하기 위한 축산 디지털 트윈 플랫폼에 대해 알아보았다. 축산 디지털 트윈 플랫폼은 디지털 공간 상에 가상의 축사를 구축하고, 실제 축사와의 데이터 연동을 통해서 목적에 따라 다양

한 시뮬레이션을 수행함으로써 현실에서 불가능한 상황들에 대한 예측을 가능케 해준다. 마지막으로 축산 디지털 트윈 플랫폼의 프로토타입 시스템을 이용한 사례 연구로써, 실제 테스트베드 측사를 대상으로 한 다양한 축사 에너지 분석을 통하여 향후 활용에 대한 가능성을 확인하였다.

References

- [1] "World Population Prospects 2019: Highlights," Tech. Rep., United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019.
- [2] M. Bhang and H. Hingoliwala, "Smart farming: Pomegranate disease detection using image processing," in *Proc. Comput. Sci.*, vol. 58, pp. 280-288, 2015.
- [3] H. Sun, Q. Zhu, J. Ren, D. Barclay, and W. Thomson, "Combining image analysis and smart data mining for precision agriculture in livestock farming," in *2017 IEEE iThings and IEEE GreenCom and IEEE CPSCoM and IEEE SmartData*, pp. 1065-1069, 2017.
- [4] *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020*, from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020>
- [5] *Predix Platform / Industrial Cloud Based Platform (PaaS)*, from <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>
- [6] *IBM Watson*, from <https://www.ibm.com/kr-ko/watson>
- [7] *Eclipse Ditto - open source framework for digital twins in the IoT*, from <https://www.eclipse.org/ditto/>
- [8] from <https://marketrealist.imgix.net/uploads/2016/11/ServiceMax-Article-2.png?auto=compress%2Cformat&fit=scale&h=auto&iplib=php-1.2.1&w=696&wpsize=medium696w>
- [9] from <https://image.slidesharecdn.com/watsoniot-pricing-sept2016-161212234827/95/watson-iot-platform-sizing-pricing-sept-2016-3-638.jpg?cb=1481586625>
- [10] from <https://blog.bosch-si.com/wp-content/uploads/ditto-in-action-1136x805.png>

[11] *EnergyPlus*, from <https://energypplus.net>
 [12] *SUNG IL*, from <https://autofankorea.com>
 [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “건축물의 에너지절약설계기준,” 국토교통부고시 제 2017-881호, from <http://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준>
 [14] Korea Meteorological Administration, *기상자료개방포털*, from <https://data.kma.go.kr/cmnn/main.do>
 [15] J. R. Lee, “미래 농업 R&D의 이해와 우리의 선택,” *Sci. and Technol. Policy*, vol. 190, pp. 4-18, 2013.
 [16] M. Grieves, “*Origins of the digital twin concept*,” URL: https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept (2016).

김 세 한 (Se-Han Kim)



1998년 2월 : 한국항공대학교 컴퓨터공학 학사
 2000년 2월 : 한국항공대학교 통신공학 석사
 2006년 7월 : 충남대학교 통신공학 박사 (수료)
 2000년 1월~2000년 10월 : 삼성종합기술원 연구원

2000년 10월~현재 : 국전자통신연구원 책임연구원 (실장)

<관심분야> 스마트팜, 농축수산 ICT, IoT, AI

조 성 균 (Seng-Kyoum Jo)



2004년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학 학사
 2006년 2월 : 한국과학기술원 전자공학 석사
 2006년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> 스마트팜, 농축수산 ICT, IoT, AI

[ORCID:0000-0003-2621-419X]