

# 공정에너지 절감을 위한 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템 설계와 구현

권순현, 김선혁, 이상금, 이좌형, 신영미, 도윤미, 허태욱  
한국전자통신연구원

kwonshzzang@etri.re.kr, seonh@etri.re.kr, sangkeum@etri.re.kr, jinnie4u@etri.re.kr,  
ymshin@etri.re.kr, ydoh@etri.re.kr, htw398@etri.re.kr

## Design and Implementation of Knowledge-based Digital Twin System for Process Energy Saving

Soon-Hyun Kwon, Seon-Hyeog Kim, Sang-Keum Lee, Joa-Hyoung Lee,  
Young-Mee Shin, Yoon-Mee Doh, Tae-Wook Heo  
Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

디지털 트윈 시스템은 현실 세계에 존재하는 물리적 개체에 대한 디지털 복제품을 생성하여 개체에 대한 모니터링, 예측, 분석을 수행하는 시스템이다. 이러한 물리적 개체들이 인과, 포함, 연관 관계를 맺는 것 같이 디지털 복제품들의 의미적 관계를 표현하는 디지털 복제품에 대한 모델링은 디지털 트윈 시스템에서 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 디지털 복제품에 대한 모델링, 복제품들의 의미적 관계, 그리고 디지털 복제품 구성을 통한 디지털 트윈 서비스 모델을 제공하는 공정 에너지 절감을 위한 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템의 구조를 제안한다. 본 논문에서 제시한 구조는 제지업종의 공정에너지 절감을 위한 디지털 트윈 시스템 구현을 통하여 검증한다.

### I. 서 론

제조업 혁신을 위한 4 차산업혁명(Industry 4.0)의 스마트 팩토리(Smart Factory)을 구현하기 위한 기술로서, 디지털 트윈(Digital Twin)에 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 디지털 트윈 시스템은 현실에 존재하는 개체(Entity)을 가상공간에서 동일하게 동작하는 디지털 복제품(Digital Replica)을 만드는 시스템이다[2]. 디지털 트윈 시스템을 기반한 디지털 트윈 서비스는 디지털 복제품을 서비스의 목적을 위해 구성하고, 구성된 개별 디지털 복제품의 출력을 수집 및 취합하여 모니터링, 시뮬레이션, 예측, 분석작업을 수행한다. 또한 수행된 결과를 토대로 물리적 개체에 대한 제어를 수행한다.

디지털 트윈의 대상이 되는 현실의 물리적 개체는 서로 간의 밀접한 관계를 가진다. 하나의 개체는 여러 개의 작은 개체로 구성되며, 각각의 출력을 통하여 개체의 상태를 결정한다. 특히, 제조업종 공장 디지털 트윈 대상이 되는 공정, 설비, 센서태그는 서로 밀접한 인과관계를 가지고 있으며, 한 대상의 조건의 변화는 전체 대상의 동작에 영향을 준다. 가상 공간에 물리적 개체에 대한 디지털 복제품을 생성하기 위해 물리적 개체의 연관 정보를 그대로 표현해야 한다. 또한, 이러한 디지털 복제품들의 조합을 통한 디지털 트윈 서비스를 구성하기 위한 메커니즘이 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 제조업종에서 공정에너지 절감을 위한 지식베이스 기반 디지털 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 공장의 디지털 트윈 대상이 되는 공정, 설비, 센서태그에 대한 명세정보와 그것들과의 연관 관계를 지식베이스로 모델링하고, 그 지식베이스를 토대로 디지털 복제품인 디지털 트윈 인스턴스(Digital Twin Instance)을 생성한다. 또한, 생성된 인스턴스를 구성하여 디지털 트윈 서비스를 생성하는 시스템이다. 디지털 트윈 서비스의 출력, 즉 특정 분석 서비스의 분석 정보는 공장 설비의 물리적 제어정보로 변환되어, 실제 공장 설비를 제어하거나 에너지 모니터링 대시보드와 3D 가상공간에 가시화된다.

제안한 시스템을 검증하기 위해 제지업종의 초지공정에서 사용되는 스팀, 전기등의 에너지 사용량의 모니터링하고 사용된 에너지를 시뮬레이션, 예측, 분석 작업을 수행하기 위한 서비스를 구현하여 검증하였다.

### II. 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템 구조

지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템은 공정 에너지 관리를 위한 디지털 트윈 대상(공정, 설비, 센서태그) 및 디지털 트윈 서비스의 명세 정보를 정의하는 디지털 트윈 지식베이스(Digital Twin Knowledge)와 지식베이스에 정의된 명세정보를 기반으로 디지털 트윈 인스턴스를 생성 및 제어하는 디지털 트윈 인스턴스

관리기(Digital Twin Instance Manager), 지식베이스 기반 디지털 트윈 서비스를 생성, 구성, 그리고 제어하는 디지털 트윈 서비스 관리기(Digital Twin Service Manager)로 구성된다. 그림 1은 공정에너지 절감을 위한 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템 구조를 나타낸 것이다.

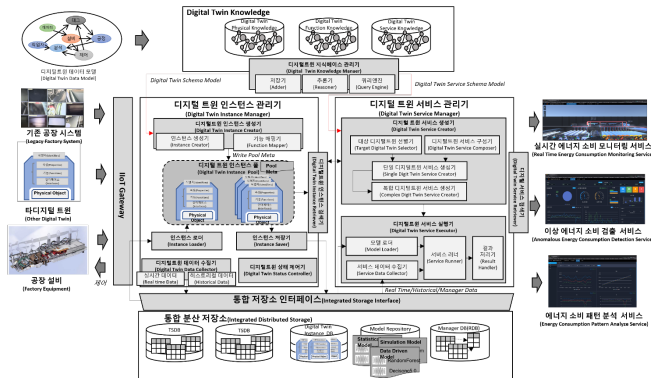


그림 1. 공정에너지 절감을 위한 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템 구조

지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템을 통해 현실 개체에 대한 디지털 트윈 인스턴스를 생성하고, 디지털 트윈 서비스를 구성한다. 공장의 디지털 트윈 대상에 대한 명세정보를 Industry 4.0의 자산관리셸(asset administration shell, ASS) 표준[3]을 준용하여 정의한다. 또한, 디지털 트윈 인스턴스 구성을 통한 디지털 트윈 서비스 명세정보인 입력(input), 출력(output), 목적(goal)을 정의한다. 그림 2는 지식베이스 기반 디지털 트윈 인스턴스 생성 및 서비스 구성을 나타낸 것이다.

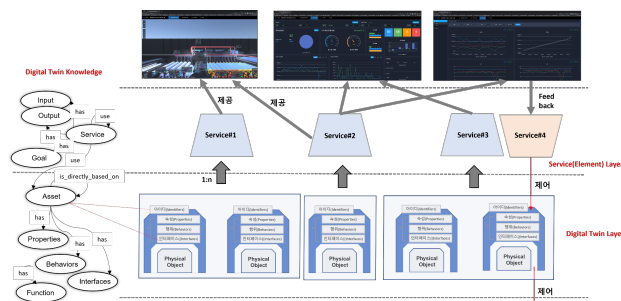


그림 2. 지식베이스 기반 디지털 트윈 인스턴스 생성 및 서비스 구성

### III. 공정에너지 절감을 위한 디지털 트윈 시스템 구현

본 논문에서 제시한 지식베이스 기반 디지털 트윈 시스템은 제지업종 초지공정에서 사용하는 에너지(스팀, 전기)를 효과적으로 모니터링하고, 이상 에너지 패턴을 분석하여 사전에 이상에너지 사용에 대한 알람을 제공하는 용도로 구현되었다. 이를 위해 사용되는 실제 설비는 전건조기(Pre-Driver)와 스팀의 압력을 측정하는 센서 태그(DCS STM Press(Gr.1))와 전건조부의 적산전력을 측정하는 센서 태그(Pre-Driver 전력 적산)을 사용한다. 예를 들어 스팀의 압력을 측정하는 센서 태그인 DCS STM Press(Gr.1)은 속성정보로서 id, type, unit, sensing\_interval 등을 표시하며,

동작정보로서 sense, save, retrieve 등이 있다. 이러한 디지털 트윈 인스턴스를 이용하여 디지털 트윈 서비스를 구성한다. 센서의 압력 데이터를 저장하는 서비스(DCS STM Press(Gr.1) Save Service), 스팀과 전력의 사용 패턴을 학습하여 생성된 모델을 이용하여 이상 에너지 패턴을 분석하는 서비스(Energy Anomaly Analyze Service)가 그 예이다. 각각의 모니터링 정보와 분석정보를 통하여 이상에너지 대시보드 및 3D 가상 설비에 가시화한다. 그림 3은 제지업종 공정에너지 절감을 위한 디지털 트윈 시스템 구현을 나타낸 것이다.

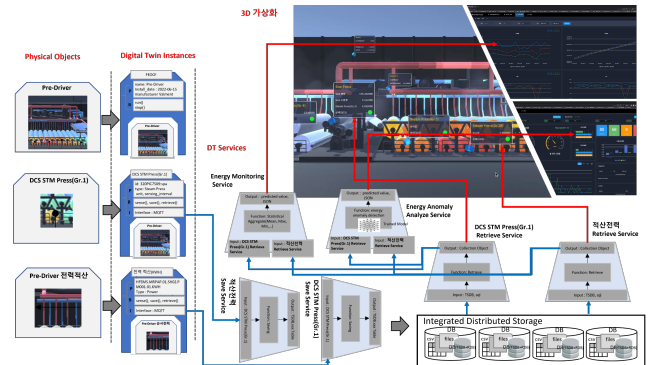


그림 3. 제지업종 공정에너지 절감을 위한 디지털 트윈 시스템 구현

### IV. 결론

본 논문에서는 디지털 트윈 대상이 되는 현실 개체를 효과적으로 디지털 복제품인 디지털 트윈 인스턴스로 생성하고, 생성된 인스턴스를 구성하여 디지털 트윈 서비스를 생성하기 위해 지식베이스의 명세정보를 사용하는 시스템 제언했다. 또한 이를 검증하기 위해 제지업종의 공정에너지 모니터링 및 이상 에너지 사용패턴을 분석하는 서비스에 적용했다. 제언한 시스템은 디지털 트윈 구성요소(인스턴스, 서비스)등을 지식베이스를 통하여 통일적으로 관리할 수 있으며, 향후 명세정보 정의만으로 새로운 트윈을 확장할 수 있는 시스템이라고 할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호. 20202020800290)

### 참고 문헌

- [1] Park, Kyu Tae, et al. "Design and implementation of a digital twin application for a connected micro smart factory," International Journal of Computer Integrated Manufacturing 32.6 (2019): 596-614.
- [2] Jiang, Yuchen, et al. "Industrial applications of digital twins," Philosophical Transactions of the Royal Society A 379.2207 (2021): 20200360.
- [3] Tantik, Erdal, and Reiner Anderl. "Integrated data model and structure for the asset administration shell in industrie 4.0," Procedia Cirp 60 (2017): 86-91