

# 연합 디지털 트윈 기반의 디지털 트윈 모듈화 기법

권찬우<sup>1</sup>, 송석현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 창의융합학부 학부생

<sup>2</sup>안동대학교 정보통신공학과 교수

sky2793570@naver.com, ssh0423@andong.ac.kr

## Digital Twin Modularization Techniques Based on Federated Digital Twins

Chan-Woo Kwon<sup>1</sup>, Seok-Hyun Song<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Creative Convergence, Andong National University

<sup>2</sup>Dept. of Information and Communication Engineering, Andong National University

### 요 약

최근에 들어 디지털 트윈에 대한 관심이 급증하고 있다. 디지털 트윈은 컴퓨터 기반 시뮬레이션을 통해 물리적 사물이나 현상을 모사함으로써 대상을 최적화하는 기술이다. 그러나 기존의 독립된 디지털 트윈으로는 현실의 복잡한 상호작용을 분석할 수 없다는 한계가 존재한다. 이를 극복하고자 도입된 개념이 연합 디지털 트윈이다. 본 논문에서는 연합 디지털 트윈의 기술적 정의를 살펴보고, 이를 활용한 디지털 트윈의 모듈화 기법을 제안한다.

### 1. 서론

최근에 들어 디지털 트윈에 대한 관심이 급증하고 있다. 디지털 트윈은 현실의 물리적 사물이나 현상을 컴퓨터 기반 시뮬레이션 환경에 모사(模寫)하여 대상을 최적화하는 기술이다. 현재는 주로 특정 분야의 프로세스나 현상을 최적화하기 위한 단일 디지털 트윈이 연구되거나 개발되고 있다. 그런데 단일 디지털 트윈의 경우, 현실의 복잡한 상호작용을 분석할 수 없다는 한계가 존재한다. 각기 활용 분야에 정형화된 디지털 트윈은 다른 분야로의 확장이 제한된다.

이러한 맥락에서 현상 간의 상호 복합적인 영향을 분석하고 최적화할 수 있는 연합 디지털 트윈 개념이 등장하였다. 연합 디지털 트윈은 독립된 디지털 트윈들이 상호 연계하여 대상을 최적화하는 기술로, 현실의 복잡한 상호작용을 분석하여 최적화를 도출하는 것이 가능하다. 아울러, 트윈이 상호 연계된다는 점을 활용하면 기존의 디지털 트윈에 대한 모듈화도 가능할 것으로 보인다. 본 논문에서는 연합 디지털 트윈의 기술적 정의를 살펴보고, 이를 활용한 디지털 트윈의 모듈화 기법을 제안한다.

### 2. 기술적 정의

연합 디지털 트윈의 기술적 정의는 디지털 트윈의

전반적인 발전 단계를 통해 확인할 수 있다. 연합 디지털 트윈은 <표 1>과 같이 디지털 트윈의 기술발전 모델[1]을 통해 처음 제안되었다. 기술발전 모델은 본래 모사, 관제, 모의 단계의 단일 디지털 트윈으로 구성되었으나, 현실에서 발생하는 현상들은 개별적으로 발생하지 않고 복합적으로 상호작용한다는 점을 고려하여 독립된 디지털 트윈들이 서로 연합하는 단계인 4 단계와 머신러닝 등의 기술을 활용하여 통합적인 결정이 가능한 5 단계가 추가되었다.

기술 단계	정의	설명
5단계	자율 디지털 트윈 (Autonomous)	개별 및 복합 디지털 트윈에서 자율적으로 문제점을 인지하고 해결하여 물리대상 최적화
4단계	연합 디지털 트윈 (Federated)	최적화된 개별 물리대상들이 상호 연계된 복합 디지털 트윈 재구성 및 물리대상 상호운영 최적화
3단계	모의 디지털 트윈 (Modeling & Simulation)	디지털 트윈 모의결과를 적용한 물리대상 최적화
2단계	관제 디지털 트윈 (Monitoring)	디지털 트윈 기반 물리대상 모니터링 및 관계분석을 통한 제어
1단계	모사 디지털 트윈 (Mirroring)	물리대상을 디지털 트윈으로 복제

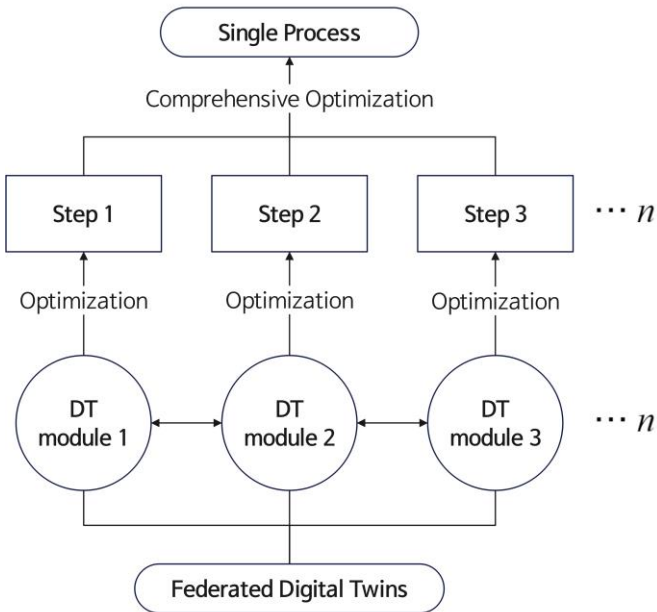
<표 1> 디지털 트윈의 기술발전 모델

연합 디지털 트윈은 디지털 트윈의 범주에 속하지만, 일반적으로 알려진 디지털 트윈이 독립적으로 작

동한다는 측면에서 이 둘은 엄밀히 구분되어야 한다. 어떤 트윈이 그 자체로 더 많은 분야의 상호작용과 변수를 고려할 수 있게 되었다고 해서, 그것이 연합 디지털 트윈으로 분류되는 것은 타당하지 않다. 연합 디지털 트윈이 갖춰야 할 핵심 기술은 트윈 간의 상호적인 소통 기능이다. 이것이 가능하게 되면, 연합 네트워크를 통해 서로 신호를 주고받으며 복합적인 문제를 효율적으로 처리할 수 있을 뿐만 아니라 기존에 구현되었던 트윈의 모듈화를 이끌어낼 수 있다.

### 3. 모듈화 기법 제안

지금까지 연합 디지털 트윈의 목적은 서로 다른 분야의 독립된 디지털 트윈을 연계하여 거시적인 대상을 최적화하는 것에 중점을 두었다. 일례로 스마트시티에 적용될 것으로 예상되는 연합 디지털 트윈은 소방, 치안, 의료, 교통 등의 여러 분야에 특화된 디지털 트윈이 연합하여 도시 전반의 최적화를 수행하게 된다. [2] 이러한 방식은 거시적인 관점에서 하나의 통일된 대상을 최적화하는 모듈 시스템의 특성을 갖는다. 이를 토대로 연합 디지털 트윈의 상호적 소통 기능을 활용하면 기존의 단일 디지털 트윈에 대한 모듈화가 가능해진다. 아래의 <그림 1>은 제안하는 디지털 트윈의 모듈화 기법을 도식화한 것이다.



<그림 1> 디지털 트윈의 모듈화 기법

상기 그림은 여러 개의 단계로 구성된 단일 프로세스에 연합 디지털 트윈 기반의 트윈 모듈을 적용한 모습을 보여주고 있다. 단계의 개수에 맞게 트윈 모듈이 배치되며, 각 모듈은 일대일로 할당된 단계를 최적화한다. 트윈 모듈이 프로세스의 단계별로 최적화를 수행하면, 해당 모듈로 구성된 연합 디지털 트윈이 최적화의 결과를 상호 분석 및 도출함으로써 결

국 전체 프로세스가 최적화되는 구조이다. 기존에 주로 연구되었던 연합 디지털 트윈의 경우 각 분야별로 디지털 트윈들이 상호 연합하였으나, 제안하는 기법은 프로세스의 단계별로 상호 연합하는 특성을 갖는다. 본래 단일 디지털 트윈을 활용하면 하나의 통일된 프로세스는 하나의 트윈으로 감당하는 구조가 형성될 수밖에 없었다. 특히 제조 공정과 같이 프로세스가 복잡하거나 길어질 경우, 이를 최적화하는 과정의 난도와 소요 시간이 증가했다. 그러나 언급한 모듈화 기법으로 제조 공정을 세분화하여 각 단계에 디지털 트윈을 도입한다면 보다 효율적인 디지털 공정의 설계가 가능해질 것이다.

모듈화 기법을 통해 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다. 단일 디지털 트윈을 프로세스의 단계마다 적용한 것과는 달리 프로세스의 각 단계를 관할하는 트윈 모듈을 구축하고, 이들을 연합하여 최종적으로 최적화된 결과물을 도출하므로 트윈들은 서로 최적화 과정 및 시스템 정보를 공유한다. 따라서 전체 프로세스의 동작은 병렬적인 연산이 가능하며 일관성을 지닌다. 또한, 단일 디지털 트윈 대비 프로세스 내에서 일부 단계를 추가하거나 변경하기 수월하다. 단일 디지털 트윈 기반의 프로세스를 수정하기 위해서는 트윈의 시뮬레이션 환경을 직접 변경해야 한다. 이러한 조치는 모델의 유지 및 보수에 취약하고 번거롭다. 반면에 프로세스의 단계별로 연합 디지털 트윈을 도입한다면 모듈을 추가 및 제거하는 것처럼 손쉽게 프로세스를 수정하는 것이 가능하다.

### 4. 결론

본 논문에서는 연합 디지털 트윈을 활용하여 기존의 디지털 트윈을 프로세스 중심으로 모듈화하는 방법론을 제시하였다. 이를 통해 연합 디지털 트윈의 활용 범위가 확장될 것이며, 전체 프로세스를 세분화하여 연합된 각 디지털 트윈에 적용함으로써 최적화 과정이 간소화되고 유지 및 보수가 용이해질 것으로 기대된다. 향후 디지털 트윈 모듈화 기법과 단일 디지털 트윈을 각기 활용하여 실제 프로세스를 최적화한 결과를 비교 및 분석함으로써 제안한 기법의 현실성 및 효율성을 검증하는 연구를 진행하고자 한다.

### 참고문헌

[1] 정득영, 디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5 단계(level) 모델, OSIA Standards & Technology Review 34.1, 10-16, 2021  
 [2] 최진철, 박찬원, 연합 디지털 트윈 기반 예측 및 의사결정 시스템 설계, 한국통신학회 학술대회논문집, 2023, 769-770