

스마트 팩토리에 적용 가능한 디지털 트윈 관리시스템 프레임워크에 관한 연구

박동진^{1*}, 최명수², 양동식²

¹공주대학교 산업시스템공학과 교수, ²공주대학교 산업시스템공학과 학생

A Study on a Framework for Digital Twin Management System applicable to Smart Factory

Dongjin Park^{1*}, Myungsoo Choi², Dongsik Yang²

¹Professor, Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

²Student, Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

요약 제조 혁신을 위한 스마트 팩토리의 구현을 위하여 점차 디지털 트윈이 많이 개발되고 또 적용될 것이다. 특히 개발된 디지털 트윈에 대하여 시뮬레이션 및 최적화 분석을 실시함으로써 설비의 예지보전과 같은 중요한 의사결정을 지원할 수 있다. 본 연구는 사용자 관점에서 이러한 분석을 지원하는 체계인 디지털 트윈 관리시스템(DTMS: Digital Twin Management System)의 개념적 구조를 제시한다. 디지털 트윈은 다양한 분석 모듈과 데이터 등으로 매우 복잡하게 구성되어 있다. 스마트 팩토리가 진행될수록 디지털 트윈의 관리는 더욱 어려워지게 될 것이다. 따라서 이를 체계적으로 관리를 가능하게 하는 DTMS가 필요하다. 본 연구는 DTMS의 개발을 위하여 제조공학, 의사결정지원시스템, 그리고 최적화 분야에서 제시된 이론 및 체계들을 문제 해결 관점에서 통합한다. 그리고 제시된 프레임워크의 현실적용 가능성을 보이기 위하여 DTMS를 디스플레이 제조공정에 적용해 본다. 본 연구에서 제시된 DTMS는 전형적인 DSS(Decision Support System) 구조를 띤다. 즉 DTMS는 대화관리시스템, 모델관리시스템, 그리고 데이터관리시스템 등과 같은 3개의 서브시스템과 분석용 디지털 트윈 및 최적화 툴로 구성된다. 본 연구를 통하여 제시한 DTMS는 스마트 팩토리를 지향하는 경쟁력이 있으며 복잡한 산업 영역에 적용될 수 있다. 학문적으로는 새로운 시각에서 디지털 트윈의 분석을 조명한 것으로 추후 연구의 방향을 제시했다는 점에서 의미가 있다.

주제어 : 스마트 팩토리, 디지털 트윈, 의사결정지원시스템, 시뮬레이션, 최적화

Abstract In order to implement a smart factory for manufacturing innovation, more digital twins will be developed and applied gradually. In particular, simulation and optimization of digital twins makes it possible to support critical decision-making like a predictive maintenance of the equipment for manufacturing. In terms of a user perspective, this study suggests the conceptual framework of Digital Twin Management System (DTMS) for supporting the analytical and managerial activities for Digital Twins. We integrate the methods and structure of the area like Manufacturing Engineering, Decision Support Systems, and Optimization for developing the DTMS. The framework suggested in this study shows a typical DSS which consists of dialog management system, model management system and data management system. It also includes Analytical Digital Twins and simulations & optimization module. The framework is being applied in one of the most competitive and complex industrial sector. Also this study is meaningful to suggest a new direction of research.

Key Words : Smart Factory, Digital Twin, DSS, Simulation, Optimization

*Corresponding Author : Dongjin Park(mispdj@kongju.ac.kr)

Received July 27, 2020

Accepted September 20, 2020

Revised August 20, 2020

Published September 28, 2020

1. 서론

4차산업혁명의 중요한 기반 개념 및 기술로 디지털 트윈에 대한 관심이 커지고 있다. 최근 ICT 기술의 발전으로 인하여 디지털 트윈은 다양한 분야에서 구체적으로 구현되고 있으며 그 활용성이 점차 커지고 있다[1].

제조 혁신을 위한 스마트 팩토리의 구현을 위해서도 디지털 트윈이 개발되고 또 적용되고 있다. 특히 디지털 트윈에 대하여 시뮬레이션 및 최적화를 실시함으로써 예측판단 혹은 설비의 예지정비와 같은 중요한 의사결정을 지원할 수 있다. 사이버상에서의 이러한 분석과 결정이 다시 사이버 물리 시스템(CPS: Cyber Physical System)의 물리적 생산시스템에 전달됨으로써 스마트 팩토리의 궁극적인 목표인 자율화를 달성할 수가 있는 것이다[2].

디지털 트윈은 다양한 트윈 모델과 데이터 등으로 매우 복잡하게 구성되어 있다. 따라서 스마트 팩토리가 진행될수록 점차 디지털 트윈의 개수와 데이터의 사이즈가 커지고 복잡하게 되기 때문에 이들을 체계적으로 관리하는 것은 매우 중요한 과제이다. 즉 시스템적인 지원이 없이는 이들을 효율적으로 관리할 수 없을 것이다.

Rosen과 동료들(2015)은 디지털 트윈에 대한 분석을 기존의 시뮬레이션 방법으로는 해결할 수 없는 모델기반의 시스템 엔지니어링(MBSE: Model-Based Systems Engineering)으로 규정하고 새로운 도전영역으로 언급하였다[2]. 이러한 맥락에서 Weyer와 동료들(2016)은 구체적으로 자동차 제조기업에서 설비 디지털 트윈에 대한 분석모형을 제시하였다[3]. 그러나 해당 연구에서는 첫째, 각 디지털 분석모형을 독립적인 단위로 간주하여 분석모형 간의 통합을 통한 폭넓은 의사결정의 지원이 어려웠다. 둘째, 분석모형과 데이터모형을 체계적으로 관리하는 관점이 간과되었다. 따라서 재사용 및 모형의 생성 등에 있어서 어려움이 있다. 그리고 Kunath와 Winkler(2018)이 최초로 제조 DSS(Decision Support System) 관점에서 디지털 트윈과 분석에 대한 방법론을 제시하였다. 그러나 해당 논문에서는 구체적인 DSS의 구조를 제시하지는 못하였으며 특히 일반화를 위한 프레임워크에 대한 논의가 없었다[4].

본 연구는 사용자 관점에서 이러한 관리와 분석을 용이하게 실시하도록 지원하는 체계인 디지털 트윈 관리시스템(DTMS: Digital Twin Management System)의 구조를 제시한다.

2. 디지털 트윈의 관리

2.1 CPS관점에서의 디지털 트윈

제조부문에 대한 CPS 구현은 대표적인 제조업 경쟁력 강화를 위한 혁신 활동이라 볼 수 있다. 일반적으로 CPS는 물리적 환경에 사이버요소인 네트워크 기술을 결합한 시스템이라고 정의된다. 가상 환경과 물리적 환경은 구분되는데, 가상 환경은 컴퓨터 프로그램이 만든 세계로 데이터를 관리하고 분석하며 계산하는 디지털 환경을 뜻하고 물리적 환경은 시간의 흐름 속에서 운용되면 물리적 법칙에 의해 지배를 받는 자연과 인공의 시스템 환경을 말한다[3,5]. 제조관점에서 CPS는 스마트 팩토리를 구성하는 핵심요소로 제조, 공정, 생산 설비 등 제조시스템을 대상으로 한 실제 물리 세계와 가상 세계의 통합 시스템을 말하며, 제조업에서는 이를 가상물리생산시스템(CPPS: Cyber Physical Production System)이라고도 한다. 여기서 물리시스템과 가상시스템의 통합이란 물리시스템으로부터 취득한 정보를 가상시스템에서 연산 및 처리하여 물리시스템을 제어하고 이 결과는 다시 가상시스템으로 보고되어 재처리하는 등 이러한 과정을 끊임없이 물리시스템과 가상시스템이 상호작용하면서 사람의 개입 없이 자율적으로 원하는 결과를 도출하는 시스템을 말한다[6].

디지털 트윈은 현실 세계를 정보로 표현하여 디지털 세계로 복제한 것이다. 물리적 물체의 디지털 버전으로 인식된다. 디지털 트윈은 단순한 복제의 차원을 넘어서 과거와 현재의 정보로 현재를 해석하고 미래의 현상을 예측할 수 있다[7].

원래 디지털 트윈이라는 용어는 항공분야에서 시작이 되었지만, 최근에는 많은 분야에서 디지털 트윈의 구현을 도모하고 있다. 특히 최근 들어 제조분야에서는 디지털 트윈을 CPS 구현을 위한 핵심기술로 인식되고 있으며 과학기술 문헌에 많이 나타나고 있다[3].

Fig. 1에서 처럼 디지털 트윈은 제조생산의 전체 라이프 사이클 전 과정을 지원하며, CPPS를 통한 제조생산의 혁신과제인 모듈화, 자율성, 그리고 연결성을 이룩할 수 있다[2].

디지털 트윈은 그 자체로서는 의미가 없다. 디지털 트윈을 통하여 장기적 혹은 실시간 기반의 의사결정을 위한 분석이 필요하다. 그것을 위해서 디지털 트윈은 분석되어야 한다. 즉 디지털 트윈을 대상으로 시뮬레이션

선과 최적화 기법들이 적용될 필요가 있다.

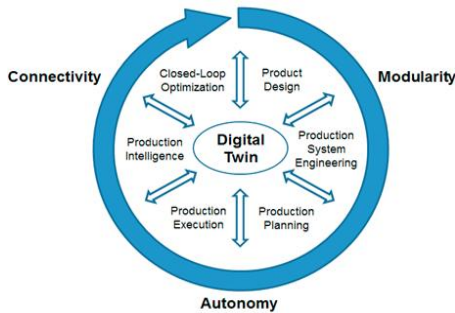


Fig. 1. Lifecycle and Digital Twin (from Rosen et al., 2015)

디지털 트윈의 각 자원을 모델링하는 기법으로 객체 지향접근방법이 유용하다[8]. 즉 객체지향분석에 있어서 클래스와 같이 한 종류의 자원에 대하여 하나의 디지털 트윈의 본원 모델(genuine model)이 있으며, 물리적 개체 각각에 대하여 본원 모델을 인스턴스화 하여 각각의 디지털 트윈으로 존재하는 것이다. 따라서 한 종류의 자원에 대한 디지털 트윈은 하나의 본원적 모델이 있으며 실제 물리적 자산에 대하여 각각의 인스턴트화된 디지털 트윈이 존재한다. 이들 각각은 자신의 데이터와 컨디션, 그리고 프로세스의 이력을 포함하게 된다.

Uhlemann 과 동료들(2017)은 중소기업에 있어서 디지털 트윈을 통한 CPPS의 개념적 구성을 Fig. 2처럼 실제 세계에서 운영되는 제조시스템인 물리적 트윈, 정보와 최적화로 구성된 디지털 트윈, 그리고 이들을 연결하는 데이터 층으로 구성된다고 보았다[1].

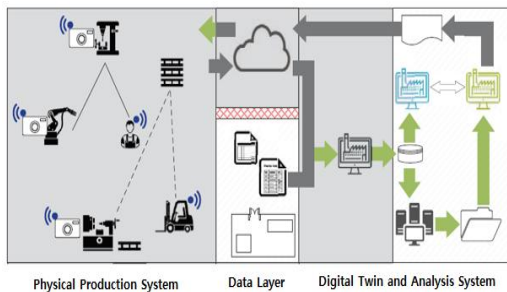


Fig. 2. Concept for the realization of the CPPS through the Digital Twin in SME (from Uhelemann et al., 2017)

2.2 디지털 트윈의 분석

Negri와 동료들(2017)이 많은 문헌을 분석한 후 제조 영역에 있어서 인더스트리 4.0 그리고 CPS 구현을 위한 디지털 트윈을 기능을 다음과 같이 정리하였다[3]. 즉, 디지털 트윈은 시뮬레이션을 실행할 수 있는 시맨틱 데이터 모델을 기반으로 한 디지털 표현(digital representation)이다. 시뮬레이션을 통하여 제품의 설계 단계에서 예측판단이 가능하게 한다. 디지털 표현은 실시간 데이터로 계속적으로 업데이트가 가능한데, 이것은 시스템의 현재 상태를 반영하며, 실시간 최적화, 의사결정, 그리고 설비의 예지보전(predictive maintenance) 까지도 가능하게 한다.

이는 디지털 트윈을 확장된 시뮬레이션 관점에서 보고 있는 것으로, 시뮬레이션의 기능이 확장되어 과거처럼 R&D 부문에서 신제품 개발에만 적용하는 것이 아니라, 제품의 라이프 사이클 전 과정에 있어서 의사결정을 지원하는 기능을 한다[2].

Weyer과 동료들(2016)은 제조기업에 있어서 시뮬레이션 기술의 발전과 확장이 디지털 트윈을 구현하는 데 중요한 역할을 하게 되었다고 보았다. 즉 2000년대 이후부터는 시뮬레이션 기반으로 제조시스템을 설계하게 되었으며, 2016년 이후부터는 디지털 트윈의 개념으로 확장되었다고 본다. 특히 다학제 시뮬레이션(multidisciplinary simulation) 기술을 이용하여 공장 및 설비의 가상 표현을 가능하게 하고, 상황의 변화에 따른 다양한 분석을 가능하게 한다[5].

3. 디지털 트윈 관리시스템의 구조

3.1 디지털 트윈의 구현과 관리

디지털 트윈을 구현하기 위해서는 우선 정교하고 정확한 본원적 '트윈 모델(Twin Model)'이 필요하다. 트윈 모델은 물리 시스템의 정보(정적 및 동적)와 제조환경의 각종 정보를 포함한다. 따라서 트윈 모델을 개발하기 위해서는 타겟 시스템에 대한 모델링이 선행되어야 한다. 트윈 모델은 포트, 로직, 데이터, 프로세스 모듈로 구성된다. 기능적으로 보면 트윈 모델은 설비와 공정으로부터 실제 데이터를 입력받는 데이터 모듈을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션 분석 결과를 바탕으로 포트 모듈을 이용하여 실제 시스템에 전달한다[9].

이상의 [9]번 참고문헌에서 제시된 디지털 트윈 모형

을 객체지향적 관점에서 보면 다음과 같다. 즉 본원적 클래스로 보아지는 본원적 트윈 모형은 객체(인스턴스)인 디지털 트윈을 생성한다. 여기서 디지털 트윈은 생산자원과 1:1로 매칭되는 것이다. 즉 한 종류의 장비가 여러 개 있으면 본원적 디지털 모형은 하나이며 인스턴스인 디지털 트윈은 여러 개가 생성되는 것이다. 이러한 디지털 트윈의 구현과 활용을 위해서는 Table. 1과 같이 5가지 주요 활동에 대한 고려가 필요하다.

Table 1. Main Activities of Digital Twin Management

Task	Description
Digital Twin Establishment	Linking a digital object with a physical object and assigning an ID so as to recognize the actual point in the whole lifecycle process
Data Management	Managing the data generated in product lifecycle; applying to big data process and summarizing and saving the necessary information
Digital Twin Model	Modeling various aspects of a product model; system model, functional model, 3D model, physical model, manufacturing model, use model, etc.
Digital Twin Information	Records related to a real product, which are used for analysis and prediction
User Interface (HCI)	Offering user interface to a proper digital twin user
Communication	Supporting communications between HCI and distributed database

디지털 트윈은 설비자산 및 제품의 전 라이프사이클에 걸쳐서 구현되고 활용되어 진다. 제조설비의 확충 및 교체 등으로 인해 디지털 트윈의 숫자는 많아지고 라이프사이클이 진행될수록 복잡성이 커질 수밖에 없다. 따라서 한 기업의 디지털 트윈들은 체계적으로 관리야 한다. 특히 CPPS에 관점에서 많은 디지털 트윈이 상호교류가 필요하다면 디지털 트윈을 관리하는 표준 플랫폼에 대한 고려도 필요한 것이다.

디지털 트윈의 역할을 관제모델, 운영모델, 그리고 최적화 모델로 구분할 수 있는데[10]. 디지털 트윈이 점차 성숙해져서 CPPS 하에서 최적화를 지원하려면 시뮬레이션 로직과 디지털 모델과의 더욱 긴밀한 연결도 필요하다. 즉 디지털 트윈이 다양한 상황에서 최적화 의사결정을 지원하기 위하여 체계적으로 관리되어야 한다.

3.2 디지털 트윈 관리시스템 구성요소

본 연구에서는 조직에서 디지털 트윈을 체계적으로 관리하기 디지털 트윈 관리시스템(DTMS: Digital Twin Management System)의 본원적 모형을 Fig. 3 처럼 제안한다. CPPS에의 궁극적인 목표는 자율화이며, 디지털 트윈은 이를 구현하기 위한 핵심 구성요인이다. 디지털 트윈의 생성 및 활용도는 더욱 커지며 CPPS의 목적을 달성하기 위해서 디지털 트윈의 체계적인 관리 필요성도 곧 부각 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 CPPS에 디지털 트윈을 체계적으로 관리하고 분석하기 위한 DTMS를 포함한다. 앞 절에서 파악된 것처럼 DTMS는 디지털 트윈에 대하여 시뮬레이션과 최적화를 하여 자율적 의사결정을 실행하는 것이다. 따라서 DTMS는 학문적으로 DSS의 유형으로 볼 수 있다. 즉 다양한 분석용 모델과 시뮬레이션 모델의 생성과 관리, 모델에서 필요한 데이터의 관리, 그리고 사용자와의 의사소통을 지원하는 의사결정지원시스템이다.

DTMS의 프레임워크를 Sprague(1982)가 제안한 DSS 프레임워크를 기본으로 한다[11]. 즉, 하위시스템인 대화관리시스템, 모델관리시스템, 데이터관리시스템 등을 DTMS의 기본 하위시스템으로 한다.

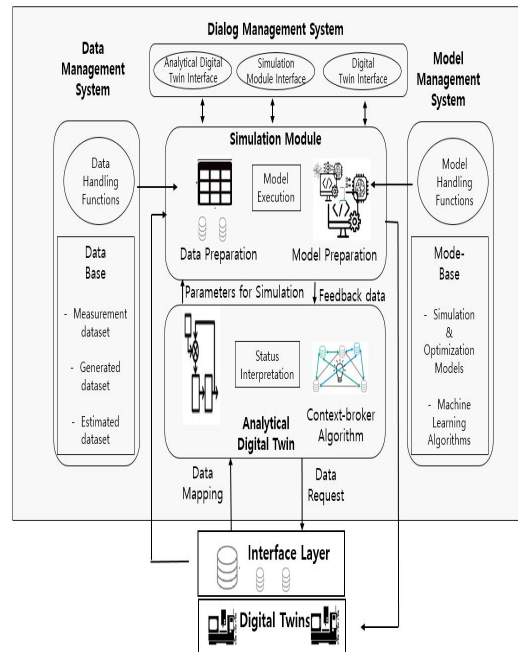


Fig. 3. DTMS Framework

DTMS에서는 시뮬레이션 혹은 최적화 문제를 해결하기 위해서 대상이 되는 분석용 디지털 트윈(들)과 이들을 분석하기 위한 시뮬레이션 및 최적화 모듈이 포함된다. DTMS의 각 하위시스템의 기능을 보면 다음과 같다.

대화관리시스템(Dialog Management System)은 사용자와 디지털 트윈 모델 간에 대화가 이루어지는 곳이다. 여기서 사용자는 DTMS 관리자 및 디지털 트윈의 사용자가 될 수 있다. 대화의 주요 영역은 크게 세 개로 구분된다. 첫째 디지털 트윈 모델의 조작(생성, 조회, 수정 등), 둘째 시뮬레이션을 모델의 작성, 셋째 3D 디지털 트윈의 작동이다.

모델관리시스템(Model Management System)은 디지털 트윈 분석모듈의 구현과 관계된다. 분석모듈은 제품 혹은 설비의 라이프사이클 전 과정에 그리고 의사결정의 문제에 따라서 다양한 모듈이 존재한다. 모델관리시스템은 모델베이스 영역과 관리 영역으로 구분되는데, 모델베이스는 과거에 개발된 모델을 저장하는 곳이며 모델관리영역은 기존 모델을 이용하거나 새로운 분석모듈의 구현을 지원하는 기능을 포함한다.

데이터관리시스템(Data Management System)은 분석용 디지털 트윈에서 필요로 하는 데이터를 관리한다. 디지털 트윈에서 관리되는 데이터 유형은 정적인 데이터와 동적인 데이터로 구분된다. 정적인 데이터는 디지털 트윈 모델의 속성데이터와 분석을 위해서 정제되고, 정리되고, 통합된 데이터들이며, 동적인 데이터는 실제 물리적 모델에서 생성되어 디지털 트윈으로 전달된 데이터이다. 데이터관리시스템은 인터페이스층을 통하여 지속적으로 분석에 필요한 데이터를 확보하여야 한다.

분석용 디지털 트윈(Analytical Digital Twin)은 의사결정분석을 위해서 새롭게 만들어지는 디지털 트윈이다. 이는 Uhelemannet 과 동료들(2017)이 제시한 것처럼 분석을 위해서 파라메타, 측정 데이터 등을 포함하고 있는 통합된 데이터 기반(data-driven)의 디지털 트윈이다[1,12].

마지막으로 분석용 디지털 트윈에 적용할 시뮬레이션 및 최적화 모듈이다. 예를 들면 설비의 예지보전을 지원하기 위해서 만들어진 시뮬레이션 모형의 경우 분석용 설비 디지털 트윈으로부터 데이터를 입력받아서 실행되는 애플리케이션으로 볼 수 있다. 여기에는 머신러닝 알고리즘 등이 포함된다.

3.3 DTMS 하위시스템 간의 관계

하위시스템들간에 관계를 Fig. 3을 통하여 살펴보면 다음과 같다. 물리적 생산시스템에 대한 디지털 트윈 자체로는 의사결정을 위한 분석이 가능하지 않다. 분석용 디지털 트윈이 필요한데 이것은 데이터 기반의 디지털 트윈이다. 따라서 인터페이스 레이어를 통하여 디지털 트윈용 데이터 저장장치로부터 필요한 데이터를 맵핑해서 분석용 데이터 트윈을 구성한다.

다음으로 분석용 디지털 트윈에 포함된 물리적 시스템의 측정데이터로부터 설비의 상태(status)를 인식하여 설비의 오류를 예측한다. 이것은 설비의 상태파악을 위한 알고리즘(context-broker algorithm)이 포함된 소프트웨어인 에이전트에 의해서 계속적으로 추적된다. 이처럼 상황을 해석(status interpretation)하다가 만약 오류가 예측되면 이를 즉시 설비담당자와 디지털 트윈 관리자에게 알리고 자동으로 시뮬레이션 모듈로 들어간다.

이때 모델관리시스템은 과거에 사용한 시뮬레이션 모형을 모델베이스로부터 찾아서 시뮬레이션 모형을 제시하고, 데이터관리시스템으로부터 측정데이터, 가공데이터, 그리고 모델 실행에 필요한 파라메타 값을 제공받는다. 이때 필요하면 사람에게 의하여 모델 및 데이터에 대한 조작이 가능하다. 다음으로 시뮬레이션 모형을 실행시켜 최적의 결과를 도출한다. 이때 찾아낸 파라메타의 값들을 분석용 디지털 트윈에 적용하여 문제가 없음이 검증되면 바로 디지털 트윈에 정보를 제공한다. 이러한 정보는 디지털 트윈과 결합된 물리적 트윈에 전달되어 설비에 대한 예지정비가 자동으로 가능해지는 것이다.

4. 사례분석

4.1 고급공정제어를 위한 DTMS 구조

디스플레이 패널 제조시스템은 반도체 제조 시스템과 더불어 제조업에서 자동화 수준이 가장 높은 편에 속하며 이미 대부분 공정이 자동화되어 있다. 이러한 디스플레이 패널 제조공정 중 핵심공정의 하나인 포토 리소그래피(photo lithography)공정이 있다.

해당 공정에서는 회로를 여러 층(layer, 아래부터는 레이어라 칭함)으로 집적하는데 이때 레이어와 레이어 간의 정렬(aline)이 정확히 이루어져야 한다. 만약 레이어의 정렬이 틀어지면 회로가 제대로 동작하지 못하기 때문이다.

레이어의 정렬은 첫 번째(First) 레이어를 기준으로 한다. 이는 현재 노광설비의 기본 성능에 맞추어 First 레이어가 생성된 것이기 때문이다. 이후 Second 레이어부터는 First 레이어에 형성된 정렬용 패턴을 설비가 읽어 들여 형태를 파악해서 그 형태에 맞게 패턴을 맞추게 된다.

이러한 포토 리소그래피 공정에 적용되는 자동화 시스템이 APC(Advanced Process Control)이다. APC 시스템은 전형적인 CPPS 구조를 띠고 있다. Fig. 4는 디스플레이 제조공정 중 포토 공정의 오버레이 보정용 APC에 적용될 DTMS의 구조이다.

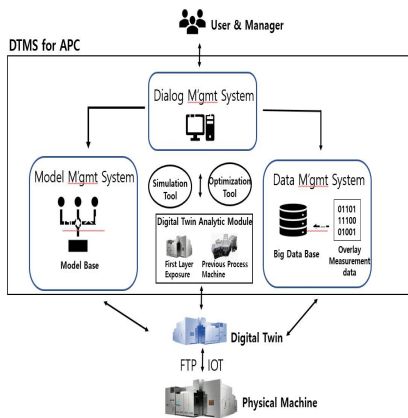


Fig. 4 DTMS for APC of Overlay Process

이러한 레이어간 정렬 정도를 오버레이(overlay)라고 한다. 이러한 오버레이를 자동으로 보정하는 시스템이 APC이다. APC에서는 레이어를 진행하는 노광설비의 디지털 트윈이 있으며 마스크 스테이지(Mask Stage), 플레이트 스테이지(Plate Stage), 패턴형상, 보정용 렌즈 등으로 구성된다. 오버레이 성분과 관련된 모든 데이터를 디지털 트윈으로 전송한다. 데이터 종류에 따라 FTP, CIM, IoT 등이 활용한다.

이렇게 취합된 데이터는 디지털 트윈을 통해 오버레이와 관련된 현 레이어 진행설비의 필요 데이터를 데이터관리시스템으로 전송한다. 데이터관리시스템은 기본적으로 빅데이터를 운용 가능하도록 구성되어야 하며, 분석을 위하여 현 레이어 진행설비 외에 First 레이어 노광설비의 데이터와 이 전 공정 진행 설비의 데이터가 저장되어 있으며 오버레이 계측 데이터 역시 수집한다. 그 외 오버레이 정렬과 관련 있는 추가적인 데이터도 확보한다. 이렇게 수집된 데이터는 오버레이 분석 및

보정에 필요한 데이터와 그렇지 않은 데이터로 분류하여 분석모듈로 전송된다.

디지털 트윈 분석 모듈에서는 데이터관리 시스템으로부터 전송된 데이터를 바탕으로 오버레이 성분을 최적화하기 위한 시뮬레이션을 수행한다. 이때 시뮬레이션 툴로는 데이터 분석(analytics), 딥러닝을 포함한 머신 러닝 등과 같은 알고리즘 등이 활용된다. 시뮬레이션 때에는 현 레이어 설비의 실시간 데이터를 디지털 트윈으로부터 전송받아 시뮬레이션에 반영하여 최적화된 보정 값을 산출하도록 한다. 이렇게 산출된 보정 값을 현 레이어가 진행되는 실제 설비에 전송하여 제품 생산에 적용하고 그 결과 값을 계측기로부터 전송받아 시뮬레이션 값과 실 계측 값 비교를 통해 보정 알고리즘의 정확성 및 유효성을 지속 확인해 나간다.

이러한 시스템은 초기부터 높은 정확도를 나타내는 힘들며 지속적인 피드백을 통한 학습을 통해 점점 더 나아질 것이다. 따라서 초기에는 사용자 및 관리자의 간섭이 중요하다. 이를 위해 대화관리시스템이 필요하다. 대화관리시스템은 사용자와 디지털 트윈 모델간의 대화가 이루어지는 곳이다. 여기서 사용자는 DTMS 관리자 및 디지털 트윈의 사용자가 될 수 있다.

대화의 주요 영역은 크게 세 개로 구분되는데, 첫째는 디지털 트윈 분석모델의 조작, 둘째는 시뮬레이션을 모델의 작성, 셋째 분석모델의 실행이다. 이러한 대화관리시스템을 통해 초기 DTMS에 부족한 데이터의 추가나 보정 값 산출에 필요한 각 데이터의 가중치 조정 등에 개입하여 시스템의 고도화를 이룩할 수도 있다. 또 시스템에 의해 제공되는 기본적인 데이터 이외에 사용자가 별도로 필요로 하는 데이터 및 시뮬레이션 결과 제공을 위해서도 대화관리시스템은 매우 중요한 기능을 한다.

5. 결론

최근 스마트 팩토리를 구현하는 방법으로 CPPS기술의 적용을 적극적으로 고려하고 있다. CPPS에서 핵심적인 구성요소가 디지털 트윈이다. 본 연구에서는 이러한 디지털 트윈을 체계적으로 관리 및 분석을 하기 위한 체제인 DTMS를 제안한다.

점차 디지털 트윈의 개수와 사이즈가 커지고 복잡하게 되면 이들을 체계적으로 관리하는 것은 매우 중요할 것이다. 이러한 관점에서 DTMS는 중요한 역할을 할 것이다.

본 연구에서는 DTMS와 구조를 제시하고 각 하위시스

템의 기능과 특성을 제시하고 사례연구를 통하여 현실적인 적용가능성을 보였다. 그러나 본 연구에서는 전체적인 프레임워크만을 제시한 수준이다. 따라서 DTMS 프레임워크에 기반한 각 구성요소들의 세부사항, 기술적 구현 그리고 통합의 방법 등에 대한 것들이 추후에 연구되어야 할 것이다.

REFERENCES

[1] T. Uhlemann, C. Lehmann & R. Steinhilper. (2017). The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0, *The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 335-340.

[2] R. Rosen, G. Wiehert, G. Lo, & K. Bettenhausen. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing, *IFAC-PaperOnLine*, 48(3), 567-572.

[3] S. Weyer, T. Meyer, M. Ohmer, D. Gorecky & D. Zuhlke. (2016). Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry, *IFAC-PaperOnLine*, 49(31), 97-102.

[4] M. Kunath & H. Winkler, (2018). Integrating the Digital Twin of the Manufacturing System into a Decision Support System for Improving the Order Management Process, *Procedia CIRP* 72, 225-231.

[5] E. Negri, L. Fumagalli & M. Macci. (2017). A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems, *FAIM2017*, 939-948.

[6] M. S. Choi & D. Park. (2017). A Study on the Architecture of CPS-based Advanced Process Control System, *Korea Association of Information Systems, 2017 Fall Conference of the KAIS*, 212-217.

[7] G. Noh & D. Park. (2017). A Study on Data Management System for Improving the Efficiency of Digital Twins, *orea Association of Information Systems, 2017 Fall Conference of the KAIS*, 202-205.

[8] B. Scaglioni and G. Ferretti. (2018). Towards Digital Twins through Object-Oriented Modelling: a Machine Tool Case Study, *IFAC-PaperOnLine*, 51(2), 613-618.

[9] J. Jeon, S. Kang, S. Jeong and I. Chun. (2018). CPS-based Digital Twin Modeling and Simulation Approach, *The Korean Operations Research and Management Science Society, 2018, Spring*

Conference of KOR&MSS, 2635-2639.

[10] S. I. Byun et al. (2018, April). *Digital Twin Overview and Major Applications. ICT Convergence Trend Report, 2018(2)*, 18-22.

[11] R. Sprague & E. Carson. (1982). *Building Effective Decision Support System*, Prentice Hall.

[12] R. He, G. Chen, C. D, S. Sun and X. Shen. (2019). Data-Driven Digital Twin Technology for Optimized Control on Process Systems, *ISA Transactions*, 95, 221-234.

박 동 진(Dongjin Park)

[정회원]



- 1988년 2월~1990년 2월 : 한국생 산성분부 선임연구원
- 1994년 8월 : 아주대학교 경영학과 (경영정보학박사)
- 1995년 3월~1998년 2월 : 남서울 대학교 경영학과 조교수
- 1998년 3월~현재 : 공주대학교 산업시스템공학과 정교수
- 관심분야 : 데이터 공학, 기계학습, 사이버물리시스템, 박물관콘텐츠
- E-mail : mispdj@kongju.ac.kr

최 명 수(Myungsoo Choi)

[정회원]



- 2016년 2월 : 성균관대학교 경영학과(경영학석사)
- 2019년 8월 : 공주대학교 산업시스템공학과(박사수료)
- 1993년 1월~2012년 3월 : 삼성전자 LCD 사업부 근무
- 2012년 4월~현재 : 삼성디스플레이 근무
- 관심분야 : 스마트팩토리, 사이버물리생산시스템, 데이터분석
- E-mail : msoc82@gmail.com

양 동 식(Dongsik Yang)

[정회원]



- 2015년 2월 : 아주대학교 NCW학 (공학석사)
- 2018년 2월 : 고려대학교 EMBA (경영학석사)
- 2019년 9월~현재 : 공주대학교 산업시스템공학과(박사과정)
- 1994년 8월~현재 : SK텔레콤 근무
- 관심분야 : 데이터품질, 인공지능, 디지털 트윈, 정보통신
- E-mail : dennisdryang@nate.com