

스마트 제조 시스템을 지원하기 위한 프로세스 기반의 모델링 및 시뮬레이션 방법 연구

Research of the Process-based Modeling & Simulation Method to support Smart Manufacturing System

이순교^a, 김도현^a, 정동수^{b*}

Soonkyo Lee^a, Dohyun Kim^a, Dongsu Jeong^{b*}

^a Korea Railroad Research Institute, Senior Researcher, Uiwang, 16105, Republic of Korea

^b Department of Energy Resource and Industrial Engineering, Kangwon National University, Assistant Professor, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

Received 18 November 2024; Revised 3 December 2024; Accepted 3 December 2024

Abstract

Smart manufacturing systems play a pivotal role in Industry 4.0, facilitating critical tasks within the manufacturing environment. This study proposes a process-based modeling and simulation (PBM&S) method to support the implementation of such systems. The PBM&S method integrates resource information, functions, and process flows of entities to enable performance analysis through simulation. The PBM&S method consists of four main steps: (1) creating virtual unit models based on resource information; (2) developing encapsulated models by representing entity characteristics and process flows as modules; (3) identifying interrelationships between models and creating process-based models; and (4) performing performance analysis of the generated models using a simulation engine. A case study was conducted to evaluate the PBM&S method within the context of a shipbuilding production line. In conclusion, PBM&S can be integrated with advanced technologies such as cyber-physical systems (CPS), machine learning, and artificial intelligence, contributing significantly to the development of the manufacturing industry.

Keywords: Smart Manufacturing System, Process-based Modeling, Intelligent Technology, Manufacturing Process, Modeling & Simulation

1. 서론

4차 산업혁명의 도래는 제조업에 급격한 변화를 일으키고 있으며, 특히 한국 제조업에 큰 도전과 새로운 기회를 제공하고 있다. 전통적인 제조 강국으로 손꼽히는 독일, 미국, 일본, 중국 등과의 치열한 경쟁 속에서 한국은 글로벌 시장에서 우위를 점하기 위해 지속적으로 노력하고 있다. 이러한 경쟁 구도 속에서 한국 제조업은 글로벌 경쟁력을 강화하고 유지보수 효율성을 높이기 위한 새로운 전략을 모색하고 있으며, 그 중심에는 스마트 제조 시스템이 자리하고 있다^[1,2]. 현재 한국의 많은 제조업체들은 고부가가치 제품 생산과 가격 경쟁력 강화, 그리고 생산 효율성 극대화를 목표로 스마트 제조 시스템에 대한 연구와 투자를 아끼지 않고 있다^[3].

전통적인 제조업은 제품 생산을 위해 많은 노동력, 생산 비용,

시간, 그리고 부품이 소요되며, 한정된 자원(작업장, 장비, 인력 등)을 효율적으로 관리하는 것이 중요한 과제다. 또한 BOM(Bill of Materials), 조립 공정, 의장(outfitting) 등 다양한 생산 계획 활동들이 상호 복잡적으로 얽혀 있어 시간과 비용이 많이 소모되는 경향이 있다^[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등의 첨단 기술을 활용한 스마트 제조 시스템이 발전해왔다^[5].

스마트 제조 시스템은 Industry 4.0의 핵심 개념으로 기존의 제조 공정을 자동화 및 지능화하여 생산성을 극대화하고 품질을 개선하는 데 중요한 역할을 하고 있다^[6]. 스마트 제조 시스템은 실시간 데이터 분석을 통해 공정 최적화와 예측 유지보수를 가능하게 하며, 이를 통해 불필요한 다운타임을 줄이고 자원 활용도를 극대화할 수 있다^[7]. 그러나 스마트 제조 시스템의 성공적인 구현을 위해

* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6287

fax: +82-33-259-5544

E-mail address: eastriver@kangwon.ac.kr (Dongsu Jeong).

서는 제조업의 특성을 반영된 프로세스 모델의 표준화가 필수적이다^[8]. 제조업 분야에서는 제조 생산 공정을 지원하기 위한 다양한 프로세스 모델링 기술들이 연구되었다. Seo et al은 선박 선체 제작 단계에서 생산 공정을 분석하여 생산 방법이 여러 공정과 여러 작업장이 포함된 다중 기계 생산 계획으로 일반화될 수 있다고 제시하였으며^[9], Woo et al. 는 선박 건조 공정 중 내업 공정을 대상으로 디지털 조선소를 구축하는 시뮬레이션 모델링 방법을 연구하였다^[10]. 또한, Han et al과 Seo et al은 제조 공정의 특징을 고려하여 Petri net과 IDEF0를 사용하여 조선소 패넌 라인 모델과 제조 셀을 분석하는 연구를 진행하였다^[11, 12]. Kilincci는 Petri net을 이용한 라인 균형을 수행하여 조립 라인의 생산 용량을 평가하였으며^[13], Kim et al은 제품, 공정, 자원(PPR) 기준을 사용하여 UML와 생산 공정의 제품 모델 중심 시뮬레이션 모델을 연구하였다^[14]. 이러한 연구들은 특정 고정된 공정에서 제품을 생산하는 연구에 적합하다. Lee et al은 조선소 생산 관리 체계가 공정을 중심으로 관리되고 있기에 조선소의 생산 환경을 고려한 Process-Centric Modeling(PCM) 방법론을 제안했다^[15]. 그리고 PCM 방법론을 기반으로, 가상 제조를 위한 조선소 시뮬레이션 시스템과 조선소 블록 물류 시뮬레이션이 개발되었다^[16].

이러한 연구들은 오랜 시간 동안 다양한 산업 분야에서 프로세스 모델은 그 특성에 맞게 변형되어 왔으며, 이를 표현하기 위한 다양한 방법론들이 연구되었다^[17-20]. 특히 모델링 및 시뮬레이션(M&S) 분야에서는 프로세스 모델링에 대한 연구가 집중적으로 이루어졌으나, 도메인 특성에 따라 개별적으로 표현되는 경우가 많아 표준화된 형태로 일반화하는 데 한계가 존재한다.

프로세스 모델의 특성과 형태는 도메인에 따라 큰 영향을 받으며, 새로운 모델을 개발하는 데는 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 다양한 산업 분야에서 적용 가능한 표준화된 프로세스 모델을 개발하는 것은 매우 중요하다. 하지만 이를 구현하는 과정에서는 다음과 같은 주요 문제들이 발생한다^[21].

- (1) 구조성(Structuralization): 산업 중심의 시스템 개발로 인해 보편적인 구조로 프로세스 모델을 체계화하는 것이 어렵다.
- (2) 상호 관계성(Interrelationship): 프로세스를 구성하는 요소들 간의 상호 관계를 정의하는 방식은 도메인마다 다르다.
- (3) 전문성(Professionalism): 각 엔티티(Entity)의 특성을 반영하여 모델을 설계하려면 해당 도메인과 프로세스에 대한 깊은 이해와 전문 지식이 필요하다.
- (4) 재현 가능성(Reproducibility): 동일한 문제라도 연구자의 목적과 방법에 따라 다른 결과와 결론이 도출될 수 있다.
- (5) 범용성(Generality): 도메인마다 고유한 특성을 고려해야 하므로 넓은 범위에 적용 가능한 범용적인 모델 구현이 어렵다.

많은 국가에서 다양한 산업 분야의 특성에 맞는 프로세스 모델 개발에 힘쓰고 있지만, 위에서 언급한 문제들로 인해 표준화된 프로세스 모델 개발은 여전히 어려운 과제로 남아 있다. 이에 많은 연구자들은 융통적으로 적용 가능하며 사용자가 쉽게 활용할 수 있는 표준화된 프로세스 모델 방법론을 요구하고 있다.

본 논문에서는 스마트 제조 시스템을 지원하기 위한 프로세스 기반 모델링 & 시뮬레이션 (Process-based Modeling & Simulation; PBM&S) 방법을 제시하며, 이를 통해 한국 제조업의 지능화를 위한 구체적인 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Process-based Modeling & Simulation Method

본 논문에서 제시하는 PBM&S 방법은 서로 다른 개체간의 상관관계를 하나의 프로세스를 표현하여 개체가 가진 특정 성능의 효과를 평가하는 new modeling and simulation 방법이다. Fig 1은 개체의 성능을 절차적으로 분석할 수 있는 PBM&S의 절차를 나타낸다. 먼저, Step 1의 Resource modeling에서는 새로운 개체를 생성하기 위해 CBD(Component based Development) 기술과 FBS(Function-Behavior-Structure)를 통해 Resource model을 구현한다. Step 2의 Functional module Modeling은 ontology를 통해 유도된 기본 성능 요소를 조합하여 개체의 성능을 일련의 절차로써 표현할 수 있는 Functional Module을 구현한다. Step 3의 Process-based modeling에서는 지능화 기술을 통해 개체들의 상호관계를 규명하여 개체의 성능을 프로세스로 나타낼 수 있는 프로세스 기반 모델을 생성한다. 마지막으로, Step 4의 process-based simulation modeling에서는 PBM을 시뮬레이션 하기 위해 시뮬레이션 도구인 DEVS와 Petri-Net을 사용하여 모델링하며, 개체의 효과를 분석 한다.

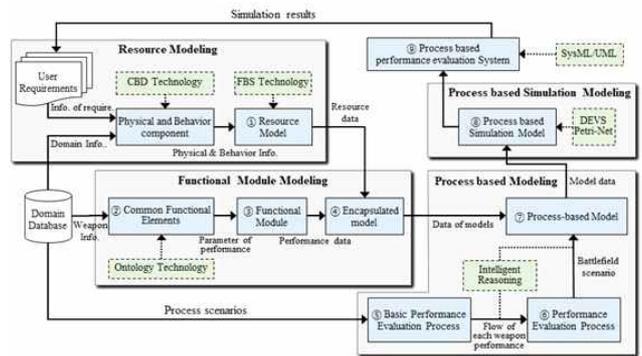


Fig. 1 Procedures of Process-based Intelligent Modeling Method

2.2 Resource Modeling for process entity

시뮬레이션을 수행하는 개체들을 실제 정보로써 구현하기 위해서는, 물리적 속성과 행위적 속성이 포함된 하나의 체계로서 구조화되어야 한다. 본 섹션에서는 생산 분야의 제품들은 Bill of Material (BOM)을 기반으로 개체를 모델링하는 Resource Modeling 연구를 제시한다. BOM은 제품생산에 필요한 자재의 종류와 수량을 명시한 자료구조로써 BOM은 모델의 physical 과 behavioral 측면의 요소들로 구성될 수 있다. Resource Model에서의 물리 정보는 개체가 가진 하드웨어적인 특성과 정적인 형태를 나타내기 때문에 Component들의 결합을 통해 physical 특성을 표현할 수 있지만, 행위 정보는 개체가 가진 소프트웨어적인 특성을 나타냄과 동시에 동적인 형태를 나타내기 때문에 개별적인 Component만을 사용하여 행위 특성의 표현하는데 제한된다. 따라서 가상으로 개체를 재구성하기 위해 CBD 기술을 사용하여 physical and behavioral components를 구현하였으며, 행위 정보를 표현할 수 있는 FBS 설계 모델 개념을 통해 행위적 특성을 나타내었다 (Fig. 2). FBS 모델은 물리 & 행위 Component가 가진 속성을 통해 설계 목적(Purpose)를 수행하기 위한 Function, Behavior, Structure의 상호관계를 정의할 수 있다^{22, 23}.

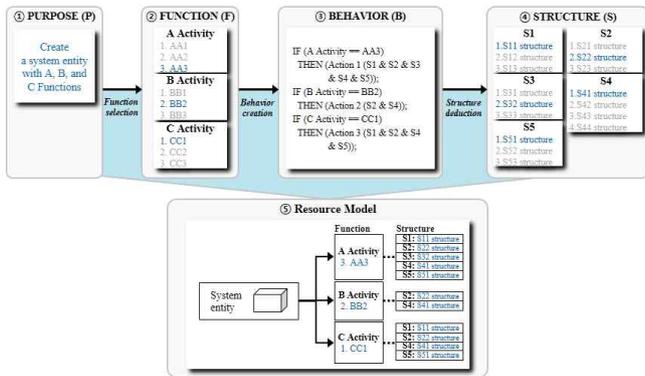


Fig. 2 An example of Resource model creation using the Physical and Behavioral Component

2.3 Functional module modeling for process function

Resource Model은 자신들이 수행할 수 있는 고유한 행위 특성들을 가지고 있다. 이러한 행위들은 각 개체에서 서로 다른 개념과 범주 그리고 기능 명칭을 가지고 있기 때문에, Ontology 기술을 사용한 관계 정의를 통해 고유한 행위들을 공통된 요소로써 사용할 수 있도록 하였다. 이후, 모든 Resource model에서 사용되는 복잡하고 다양한 구성 정보들을 분류하여 공통으로 사용될 수 있는 세분화된 요소를 Common Functional Element (CFE)라고 새롭게 정의하였다. CFE는 개체가 가진 각각의 유사한 기능들을 공통된 기능으로 인지하기 위해 ontology를 통해 도출하였으며, Resource model을 구성하는

physical & behavioral components들의 조합을 통해 표현할 수 있다^[24]. 이후, Resource model들이 수행할 수 있는 임무들을 이산사건 시스템의 흐름에 따라 일련의 프로세스로 표현 할 수 있도록, CFE의 조합을 통해 Fig. 3과 같이 Functional Module (FM)을 생성하였다. FM은 CFE들의 일련의 프로세스로 이루어지며, 조립 공정과 같은 개체가 가진 기능을 표현하는 모듈을 의미한다. 이는 개체가 가진 복합적 성능을 절차로써 표현할 수 있으며, 개체의 성능 및 효과를 나타낼 수 있다.

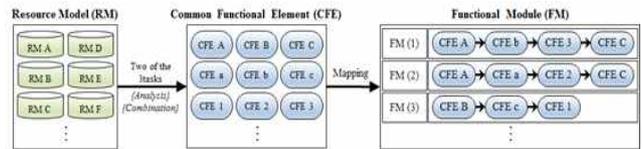


Fig. 3 Creation of the Functional Module through the Common Functional Elements

사용자의 요구사항을 확인하고 이를 측정하기 위해서는 M&S에 사용되는 주된 개체가 필요하다. 본 연구에서는 개체의 물리 & 행위 정보가 포함된 Resource Model과 CFE의 조합을 통해 개체의 임무를 나타내는 Functional Module을 결합하여, 생산 환경에서 개체들의 성능을 평가할 수 있는 주된 객체인 Encapsulated Model (EM)을 생성하였다. EM이란 개체의 성능을 평가할 수 있는 프로세스 기반의 표현 객체로써, 사용자 목적의 달성 가능성 및 성능 효과를 평가할 수 있는 주된 개체로써 사용된다. EM을 생성할 시, Resource model의 Physical & Behavior Component는 Functional Module이 가진 각각의 CFE에 연동되어 Resource model의 성능을 표현하게 된다. 이는, 프로세스 기반의 모델링에 사용되는 주요 성능 평가의 객체가 되며, 개체의 성능을 평가하기 위한 중요한 요소로 사용되게 된다 (Fig. 4).

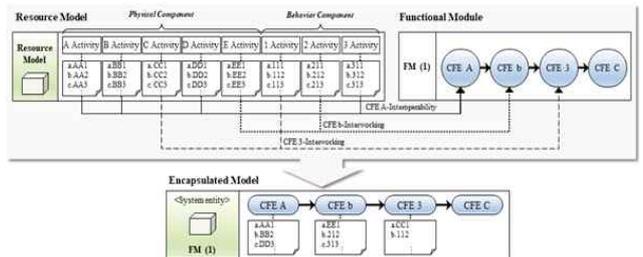


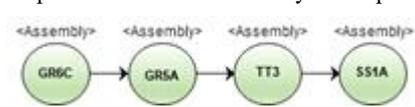
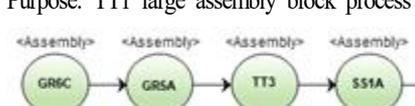
Fig. 4 Creation of the Encapsulated Model combined Resource Model with a Functional Module

2.4 Process-based modeling of describing scenario process

생성된 EM을 사용하여 성능을 묘사하기 위해서는 기준이 되는 시나리오가 필요하다. 생산에서는 생산 공정의 계획을 나타내는

알고리즘 및 시뮬레이션 연구가 진행되었으며, PBM&S 방법에서는 시나리오를 수행하기 위해 상황에 따라 여러 개체들의 임무들을 일련의 순서로 나타내는 scenario process에 대한 연구들이 진행되었다 [25, 26]. 우리는 scenario process를 표현하기 위해 각각의 임무를 가진 EM들을 일련의 순서로 표현하였으며, 이를 Basic scenario process라고 정의하였다. Basic scenario process는 도메인에서 요구하는 목적을 수행하기 위한 EM들의 선/후 관계를 나타낸다. Table 1은 선박 생산 계획의 시나리오에 해당하는 basic scenario process를 나타낸다. No. 1의 “SS1A middle assembly block process”라는 목적을 가진 ship production planning과 No. 2의 와 “TT1 large assembly block process”라는 목적을 가진 ship production planning을 각각 나타낸다.

Table 1 Scenario purpose and basic scenario process of production planning

No	Basic scenario process of ship production planning
1	Purpose: SS1A middle assembly block process 
2	Purpose: TT1 large assembly block process 

서로 다른 basic scenario processes들 간의 연관성을 부여하여 새로운 scenario process를 나타내는 integrated scenario process (ISP)를 생성하였다. integrated scenario process는 사용자가 원하는 목적을 위해 특정 성능을 가진 개체의 새로운 scenario process를 나타내며, 개별적인 임무를 수행하는 평가 객체들의 선/후 관계를 정의함으로써 일련의 프로세스로 표현하였다. ISP를 생성하기 위해 Intelligent reasoning 기반의 추론 규칙을 정의하였으며, 이를 위해 intelligent reasoning-based cognitive solutions를 연구하였다 (Fig. 5).

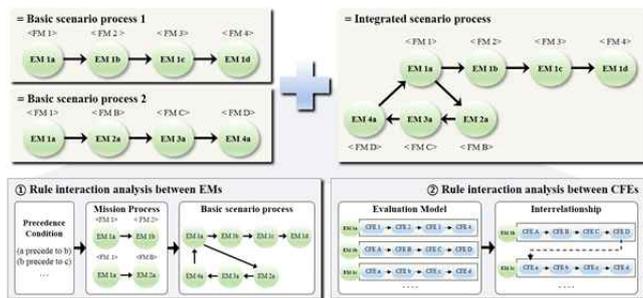


Fig. 5 Rule interaction analysis of generating integrated scenario process

(1) Rule interaction analysis between encapsulated models: 이는 Basic scenario process를 구성하는 EMs들의 선/후 관계를 추론하기 위한 Intelligent 기법이다. 이 규칙은 CFEs간의 연결성을 가지며, Table 1에서 basic scenario process의 정보를 기반으로 EMs들의 선/후 관계를 추론할 수 있는 precedence를 통해 일련의 process를 나타낸다.

(2) Rule interaction analysis between common functional elements Library based method에 의한 이 규칙은 Table 1의 Series of process column에서 제공된 EM을 구성하는 CFEs들 사이의 상호작용을 제공하는 Intelligent 기법이다. 이는 IF-THEN을 전제로 정의된 규칙에 기반하여 문제를 추론하는 방법으로 전건(antecedent) 또는 조건(condition)이라고 하는 IF 부분과 후건(consequent) 또는 행동(action)이라는 THEN 부분으로 표현하여, CFEs간의 상호 연관성을 맺음으로써 다양한 성능 평가 프로세스를 생성할 수 있으며, 개체의 성능을 다양한 측면에서 분석할 수 있다.

이후 Interaction analysis-based Intelligent algorithm을 구현하여 시나리오 목적에 맞춰 다양한 프로세스 모델을 하나로 표현하는 Process-based Model을 생성하였다. Fig. 6의 PBM은 이산 사건에 따라 EM의 성능을 묘사하며, 객체 간의 상호관계성을 통해 다양한 상황을 묘사할 수 있으며, 각 평가 객체가 가진 CFEs들이 상호 연결되어 서로 다른 프로세스 모델의 시나리오를 포함하고 있다.

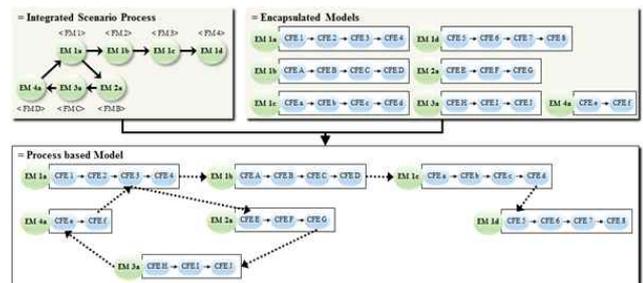


Fig. 6 Process-based Model of combining an Integrated Scenario Process and Encapsulated Models

2.5 Process-based simulation modeling through mathematical formalism

PBM을 실제 시뮬레이션으로 반영하기 위해 Discrete Event System (DEVS)으로 모델링하여 Process-based simulation model (PSM)을 생성한다 [21, 27]. PSM은 PBM정보를 기반으로 EVENT의 선/후 정보, 요소의 발현 Time 그리고 각 요소들이 실행되는 확률값을 가지며, 시뮬레이션을 수행함으로써 다양한 상황을 제공하는 시뮬레이션 모델을 의미한다. 각각의 EM은 DEVS의 Atomic Model 명세에 따라 PSM으로 변환된 평가 객체들을 나타낸다 (Fig. 7).

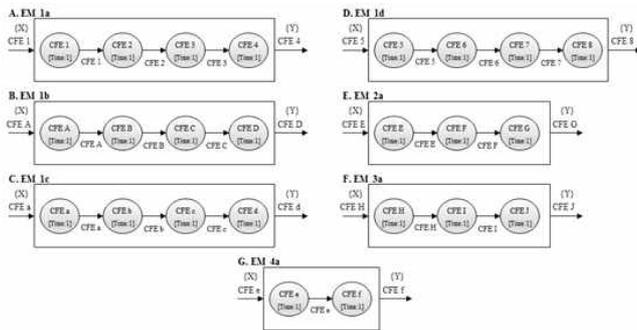


Fig. 7 An example of Atomic Models of each EM

PBM은 개체들의 상호 작용을 개념적으로 표현할 수 있지만, 실제 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 mathematical formalisms이 반영되어야만 한다. The mathematical formalism은 다양한 도구를 기반으로 시뮬레이션을 자동적 수행이 가능하며, formal analysis and verification & validation을 지원한다^{28, 29}. 프로세스 기반 모델의 validation과 formal analysis를 지원하기 위해, 우리는 대표적인 classical formalisms인 petri-net을 선택하여 simulation을 수행하였다 (Fig. 8).

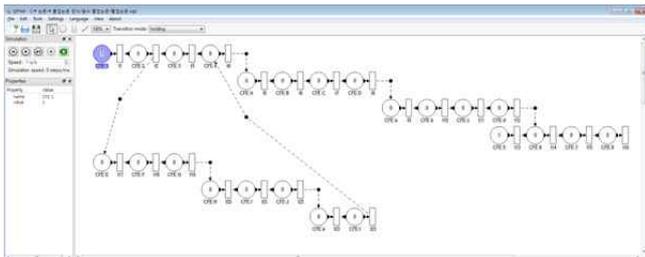


Fig. 8 Petri-Net Model of the process-based model

3. Case Study : Ship Production Planning Research on Ship Block Assembly Process

우리는 PBM&S Method의 적용 가능성과 유용성을 보여주기 위해 선박 생산에서의 대형 조립 블록인 TT1 블록을 생산하는 Ship Manufacturing Process에 PBM&S을 접목하였다. Fig. 9는 PBM&S method의 모델링 단계별로 TT1 block's production process를 나타낸다. Resource modeling은 TT1 block을 생산하기 위해 필요한 sub blocks과 block을 생산하는 processes 정보들을 통해 unit model을 생성한다. Functional Modeling에서는 block들에 대한 기본 specs (name, space, M-H, Machine)을 포함한 unit block과 unit block의 type에 해당하는 공정들인 unit processes로 표현됨으로써 Unit model을 생성하며, 통합 database에 저장된다. Process-based modeling에서는 TT1 block에 대한 공정과 sub block들, 공간 정보들이 통합된 프로세스

기반의 Concept Model을 생성한다. 이후, 블록들에 대한 정보를 가진 Integrated database에서 unit models 들을 사용하며, PPR-SS 조건을 가진 Interaction analysis-based Intelligent algorithm을 통해 unit models와 BOM 정보를 사용함으로써 프로세스 기반 모델을 생성하게 된다. Process-based Simulation modeling에서는, formal description을 제공하기 위해, 이 모델에 petri-net simulator를 결합함으로써 Process-based petri-net model을 생성하게 된다. 우리는 PBM method의 구현 가능성을 보여주기 위해 PBM system을 개발하였으며, petri-net model을 분석함으로써 TT1 block 생산을 위한 생산성을 분석하게 된다.

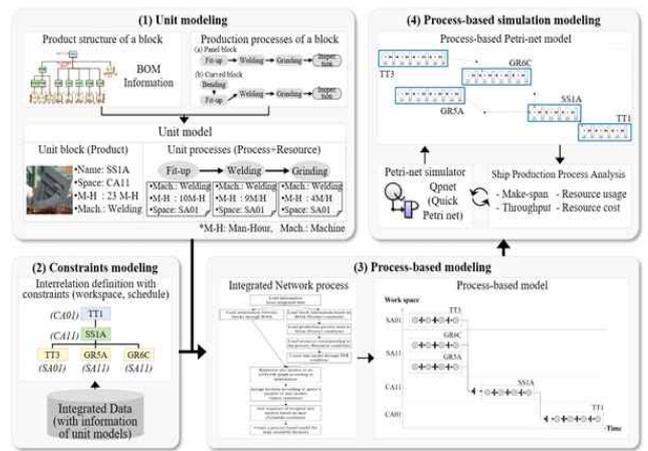


Fig. 9 Example to demonstrate TT1 block's production process of the large assembly blocks through the PBM&S method.

4. 결론

PBM&S Method는 시스템의 일련의 흐름을 논리적으로 표현할 수 있는 표준화된 방법론을 제공하며, 도메인 특성에 맞추어 Process-based Modeling과 Simulation System을 빠르게 개발할 수 있다. 이 방법은 많은 사용자에게 도메인에 맞춰 새로운 모델을 개발하기 용이하며, 많은 비용과 시간을 절약할 수 있다. 궁극적으로 스마트 제조 시스템 개발에서 가상 M&S 및 CPS를 지원하기 위한 핵심 연구로 사용될 수 있으며, Machine Learning, AI 등 다양한 연구에 적용하여 스마트 제조 시스템 분야에 이바지할 수 있다.

후기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 : RS-2021-KA163201)

References

- [1] Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., & Xu, X., 2018, Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13, 137-150.
- [2] Soori, Mohsen, Behrooz Arezoo, and Roza Dastres., 2003, Digital twin for smart manufacturing, A review, *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 100017.
- [3] Cimini, C., Pezzotta, G., Pinto, R., & Cavalieri, S., 2019, Industry 4.0 technologies impacts in the manufacturing and supply chain landscape: an overview, *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing: Proceedings of SOHOMA 2018*, 109-120.
- [4] Chonsawat, Nilubon, Apichat Sopadang., 2019, The development of the maturity model to evaluate the smart SMEs 4.0 readiness., *Proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management*. Vol. 2019.
- [5] Wang, B., Zheng, P., Yin, Y., Shih, A., & Wang, L., 2022, Toward human-centric smart manufacturing: A human-cyber-physical systems (HCPS) perspective, *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 471-490.
- [6] Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Tortorella, G., 2019, Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal, *Journal of manufacturing technology management*, 30(3), 607-627.
- [7] Ahadov, E., Ahadov, I., Hasanli, Y., 2019, Adapting Industry 4.0 vision into engineering education in Azerbaijan, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 576(1), 012034.
- [8] Qu, Y. J., Ming, X. G., Liu, Z. W., Zhang, X. Y., Hou, Z. T., 2019, Smart manufacturing systems: state of the art and future trends, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 3751-3768.
- [9] Seo, Y., Park, C., 2003, Machine selection considering workload balance at the parts fabrication stage of ship hull construction, *International Machine of Machine Tools and Manufacturing*. Vol.5, pp.81-90.
- [10] Woo, J.H., Lee, K.K., Jung, H.R., Kwon, Y.D., Shin, J.G., 2005, A framework of plant simulation for a construction of a digital shipyard, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol.42, pp.165-174.
- [11] Seo, Y., Kim, T., Kim, B., Sheen, D., 2006, Representation and performance analysis of manufacturing cell based on generalized stochastic petri net, *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, vol.13, no.1, pp.99-107.
- [12] Han, S.D., Ryu, C.H., Shin, J.G., Lee, J.K., 2008, Modeling and simulation of ship panel-block assembly line using Petri nets, *Korean Journal of Computational Design and Engineering*. Vol.13, pp.36-44.
- [13] Kilincci, O., 2010, A Petri net-based heuristic for simple assembly line balancing problem of type 2, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IJAMT)*. Vol.46, pp.329-338.
- [14] Kim, H., Lee, S. S., Park, J. H., Lee, J. G. 2005, A model for a simulation-based shipbuilding system in a shipyard manufacturing process, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol.18, no.6, pp.427-441.
- [15] Lee, D.K., Kim, Y., Hwang, I.H., Oh, D.K., Shin, J.G., 2014, Study on a process-centric modeling methodology for virtual manufacturing of ships and offshore structures in shipyards, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IJAMT)*. vol.71, pp.621-633
- [16] Jeong, D., Kim, D., Choi, T., Seo, Y., 2020, A process-based modeling method for describing production processes of ship block assembly planning, *Processes*, 8(7), 880.
- [17] Shang, Chao, Fengqi You., 2019, Data analytics and machine learning for smart process manufacturing: Recent advances and perspectives in the big data era, *Engineering*, 5(3), 586-597.
- [18] Onur, L., and Fabrycky, W. J., 1987, An input/output control system for the dynamic job shop, *IIE transactions*. vol.19, no.1, pp.88-97.
- [19] Hammer M, 2001, Seven insights about processes, *Proceedings of the Conference on Strategic Power Process Ensuring Survival Creating Competitive Advantage*, Boston, MA, US.
- [20] Browning T.R., 2009, The Many Views of a Process: Toward a Process Architecture Framework for Product Development Processes, *Systems Engineering*. vol.12, no.1, pp.69-90.
- [21] Jeong D., 2021, A Process-based Modeling and Simulation Method

through Interaction Analysis among System's Entities, Doctorate Thesis, Korea University, Republic of Korea.

- [22] Lee, J., Lee, J., Suk, J., Seo, Y., 2010, A Development of The Dynamic Reconfigurable Components based on Software Product Line: Guided Weapon System, Journal of the Korea Society for Simulation. vol.19, no.4, pp.179-188.
- [23] Gero, J.S., Kannengiesser, U., 2004, The situated function-behaviour-structure framework, Design studies. vol.25, no.4, pp.373-391.
- [24] Jeong D., Kim D., Seo Y., 2016, Research of Ontology based Battlefield Scenario Generation Systems, 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering, Atlantis Press. Beijing, china.
- [25] Oh, S.R., Jeong, D.S., Seo, Y.H., 2016, Scenario-based evaluation object selection research for performance evaluation of weapon systems, Joint Conference Proceeding Industrial Engineering, pp.1239-1244.
- [26] Jeong, E., Jeong, D., Seo, Y., 2019, Design of Integrated Process-Based Model for Large Assembly Blocks Considering Resource Constraints in Shipbuilding, Journal of the Korea Society for Simulation. vol.28, no.2, pp.107-117.
- [27] Zeigler BP, Kim TG, Praehofer H., 2000, Theory of modeling and simulation, Academic press.
- [28] Kim, D., Jeong, D., Seo, Y., 2020, Intelligent design for simulation models of weapon systems using a mathematical structure and case-based reasoning, Applied Sciences, 10(21), 7642.
- [29] Jeong, D., Kim, D., Seo, Y., 2021, Intelligent design for simulation models of weapon systems using a mathematical structure and case-based reasoning, Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 22(3), 415-436.

대표저자소개

정 동 수(Dongsu Jeong)



- 2021년 2월 : 고려대학교 산업경영공학과 (공학석/박사)
- 2021년 8월 : 한국철도기술연구원 (박사후연구원)
- 2024년 8월 : SK하이닉스 (책임연구원)
- 2024년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 산업공학전공 (조교수)

<주요 연구 분야>

- 스마트팩토리, 생산계획, 가상물리시스템, 건전성예측관리, 인공지능