

# 제품, 공정, 설비 정보 표현 방법을 개선한 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법

백선중\* · 오대균\*\* · 이동건\*\* · 이필립\*\*\* · 류철호\*\*\*\* · 우종훈\*\*\*\*\* · 정용국\*\*\*\*\*†

\*, \*\* 목포해양대학교 조선해양공학과, \*\*\* (주)지노스 PLM 연구소, \*\*\*\* 인하공업전문대학 조선해양공학과,  
\*\*\*\*\* 한국해양대학교 조선해양공학부, \*\*\*\*\* 서울대학교 조선해양공학과

## A Process-centric Simulation Modeling Method

## Improving Product, Process, and Facility Information Representation Method

Seon-Jung Baek\* · Daekyun Oh\*\* · Dong Kun Lee\*\* ·

Philippe Lee\*\*\* · Cheolho Ryu\*\*\*\* · Jong Hun Woo\*\*\*\*\* · Yong-Kuk Jeong\*\*\*\*\*†

\*, \*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, 58628 Mokpo, Rep. of Korea

\*\*\* PLM Research Lab., Xinnos Co. Ltd., 58457 Yeongam, Rep. of Korea

\*\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Technical College, 22212 Incheon, Rep. of Korea

\*\*\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 49112 Busan, Rep. of Korea

\*\*\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, 08826 Seoul, Rep. of Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 기존에 제안되었던 공정 중심 모델링 방법을 개선하여 조선소의 다양한 생산 정보와 제약조건을 효과적으로 표현할 수 있도록 개선된 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법을 제안하였다. 그리고 이를 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축할 수 있도록 다이어그램 구성 요소와 모델링 방법을 상세히 기술하였다. 이 모델링 방법에서는 복수의 제품과 설비가 공정에 투입되었을 때 우선순위를 지정할 수 있으며, 계층 구조를 가진 시뮬레이션 모델을 표현할 수 있도록 레이어 개념이 적용되어 있다. 그리고 조선소 생산 계획 정보를 바탕으로 절단 공정부터 대조립 블록 조립 공정까지를 본 논문에서 제안하는 방법으로 모델링하다. 이를 통하여 본 논문에서 제안하는 방법이 단일 설비가 여러 용도로 사용되는 경우에 기존의 모델링 방법에 비하여 유리한 것을 확인하였다. 결과적으로, 개선된 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법은 기존의 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법에서 표현하기 힘들었던 제약 조건과 흐름을 효과적으로 표현할 수 있으며, 계층 구조를 가진 조선소 생산 계획 검증 시뮬레이션 모델을 체계적으로 구축하는데 활용할 수 있다.

**핵심용어 :** 공정 중심 모델링, 모델링 방법, 시뮬레이션, 시뮬레이션 기반 생산 관리, 일정 계획 검증

**Abstract :** A process-centric simulation modeling method has been proposed to define a shipbuilding simulation model. Existing modeling methods have limitations for expressing various production information for a shipyard. The advanced process-centric modeling method proposed in this paper offers an improvement, effectively representing production information and constraints for a shipyard. To achieve this, a method and diagram components to define a process-centric simulation model in detail have been suggested. The modeling method can assign priorities when multiple products and facilities are assigned to the process. And layer concept was applied to express simulation model with hierarchical structure. To verify the effectiveness of the modeling method, comparative analysis has been performed and the actual shipbuilding process has been modeled using the proposed method. When a single facility was used for various purposes, we found that the proposed method was more advantageous than existing methods. As a result, it was possible to express constraints and flows that were difficult to identify with existing process-centric simulation modeling methods, and the methods were improved for use in shipyard production planning verification simulations.

**Key Words :** Process-centric modeling, Modeling method, Simulation, Simulation-based production management, Production planning verification

\* First Author : hyag63@gmail.com, 061-240-7318

† Corresponding Author : jake8967@snu.ac.kr, 02-882-3563

## 1. 서 론

최근 우리나라의 조선 산업은 글로벌 금융 위기 이후 발생한 수주 급감으로 인하여 어려움을 겪고 있다. 이러한 상황에서 공급 과잉과 해양플랜트로 인한 대규모 적자로 인하여 어려움을 극복하기도 어려운 상황이다. 그럼에도 불구하고 대형 상선과 고부가가치 선박에서는 여전히 경쟁력을 가지고 있으며, 향후 수요가 증가할 것으로 기대되는 친환경 선박이 어려운 상황을 극복하기 위한 대안으로 떠오르고 있다. 그 밖에도 ICT(Information and Communication Technology)와 융합하여 조선 산업의 경쟁력을 향상시키고자 하는 다양한 방안이 시도되고 있다. 조선 산업의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 선박 건조 공정의 생산성을 향상시켜야 하는데, 이는 직접적으로 선박 건조 기술의 경쟁력을 확보하는 방법과 간접적으로 생산 관리 기술의 경쟁력을 확보하는 방법을 고려해볼 수 있다. 이 중에서 직접적으로 선박 건조 기술을 향상시키는 방법은 간접적으로 생산 관리 기술의 경쟁력을 확보하는 방법에 비하여 물리적, 경제적 제약이 큰 편이다. 따라서 조선소에서는 다양한 측면에서 ICT를 융합하여 생산 관리 기술의 경쟁력을 확보하고자 노력하고 있다.

조선소의 생산 관리 경쟁력을 확보하기 위한 가장 중요한 방법은 정확한 생산 계획 수립과 실행이다. 생산 현장의 다양한 물리적 제약 조건과 정보를 고려하여 생산 계획을 수립하고 이를 계획에 맞게 실행할 수 있는 관리 능력을 갖춘다면 높은 수준의 생산 관리 경쟁력을 확보하고 있다고 할 수 있다. 하지만 일반적으로 조선소에서는 생산 계획 단계에서 수립한 일정 계획과 실제 생산 현장에서 발생하는 작업 일정에 차이가 발생하고 있으며, 이에 따라 납기가 지연되는 현상이 발생한다.

현재 대부분의 대형 조선소에서는 생산 계획 시스템을 이용하여 생산 계획을 수립하고 있다. 이때 공정, 공장 별 부하를 고르게 하기 위하여 사용 가능한 시수와 공정, 공장의 용량을 고려한 간단한 방식의 산술적 시뮬레이션을 수행한다. 하지만 생산 계획 시스템에서 지원하는 기능으로는 생산 현장의 다양한 물리적 제약 조건을 모두 고려할 수 없기 때문에 생산 계획의 지연이 발생하고 있으며, 반복적인 계획 수정을 야기한다. 반복적인 계획 수정은 납기 지연과 자원 낭비의 원인이 된다.

조선소에서는 이를 해소하기 위한 방안으로 선박 건조 공정의 다양한 제약 조건을 반영한 시뮬레이션 모델을 구축하여 생산 계획을 검증하는 용도로 활용하고 있다. 다양한 제약 조건을 반영한 시뮬레이션 모델을 통해 도출된 결과는 신뢰도가 높은 생산 계획을 수립하는데 도움이 될 수 있으

며, 물리적, 경제적 자원 낭비를 줄이는데 도움이 된다. 유용한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 모델링 하고자 하는 대상의 특징을 명확하게 표현하고 정의할 수 있어야 한다. 최근에는 조선소 생산 환경의 특징을 반영한 시뮬레이션 모델링 방법과 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다.

Woo(2005)의 연구에서는 선박 건조 공정 중 내업 공정을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였는데, 이때 모듈 개념의 시뮬레이션 모델링 방법을 이용하였다. 그러나 기존의 상용 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 방법으로는 다양한 용도로 사용되는 조선소의 설비를 표현하는데 한계점이 있었다. Han et al.(2008)의 연구에서는 선박 건조 공정의 특징을 고려하여 공정을 중심으로 모델링하는 방법인 페트리 넷(Petri net)을 이용하여 조선소 패널 라인을 모델링하고 이를 시뮬레이션 하는 시뮬레이터를 구현하였다. 하지만 이는 조선소 전체 공정으로 확장하여 적용하기에는 한계점이 있다.

이후 Song(2013)의 연구에서는 조선소 생산 정보에 대한 분석을 수행하고 공정을 중심으로 조선소 시뮬레이션 모델을 구축하는 방법인 공정 중심 모델링 방법론을 제안하였다. 이 연구에서는 이를 PMOS(Process Modeling Of Shipyard simulation)으로 정의하였으며, 이를 기반으로 시뮬레이션 모델링을 수행하는 애플리케이션을 설계하고 구현하였다. 다음으로 Lee et al.(2014a)의 연구에서는 Song(2013)의 연구에서 제안한 공정 중심 모델링 방법을 구체화하고 이를 PCM(Process-Centric Modeling)으로 정의하였다.

Song(2013)의 연구와 Lee et al.(2014a)의 연구에서는 모두 조선소의 생산 환경을 고려하여 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해서는 공정 중심 모델링 방법론이 적합하다고 주장하고 있다. 이는 조선소의 생산 관리 체계가 공정을 중심으로 관리되고 있기 때문이다. 하지만 이들 연구에서는 시뮬레이션을 수행하는 것 보다는 모델을 구축하는 과정에 초점을 맞추고 있기 때문에 제안하는 방법으로 실제로 시뮬레이션을 수행하기에는 한계점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 기존의 연구에서 제안한 방법을 분석하여 한계점을 명확히 파악하고, 이를 개선하여 선박 건조 공정 모델링을 위한 개선된 공정 중심 모델링 방법론(이하 Advanced PCM, APCM)을 제안하고자 한다. 이를 위하여 우선 조선소 생산 시스템의 특성을 분석하고 시뮬레이션 모델을 구축하는데 필요한 정보를 기존에 제안된 정보 모델을 기준으로 한계점을 개선하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 APCM 방법을 기반으로 조선소 생산 계획을 검증하기 위한 시뮬레이션 모델을 구축하였으며, 이를 통해 개선된 방법의 효용성을 확인하고자 한다.

## 2. 조선소 생산 시스템, 관리 방법과 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법

### 2.1 조선소 생산 시스템과 관리 방법

제조업의 생산 시스템 유형은 제품의 다양성과 공정의 유연한 정도에 따라 Fig. 1과 같이 개별 작업 생산(Job shop), 배치 프로세스 생산(Batch process), 흐름 작업 생산(Flow shop), 연속 흐름 생산(Continuous flow)으로 구분할 수 있다(Hopp and Spearman, 2008). 그 중에서 개별 작업 생산 유형과 흐름 작업 생산 유형은 공정, 설비, 제품을 기준으로 명확하게 구분할 수 있다.

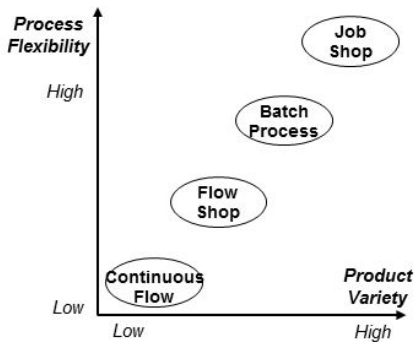


Fig. 1. Types of production systems in manufacturing.

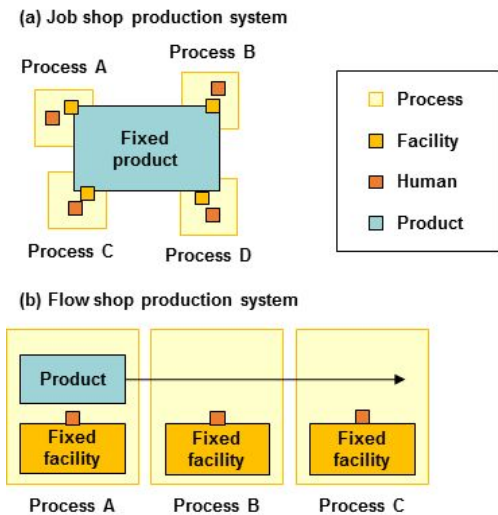


Fig. 2. Job shop and flow shop production system.

개별 작업 생산 유형은 Fig. 2(a)와 같이 고정된 제품에 설비와 작업자가 이동하여 제품을 생산하는 방식으로, 다품종의 제품을 소량으로 생산하는 산업에서 활용되며, 항공기 제조, 선박 제조와 같이 제품의 크기가 큰 생산 시스템에 적

용된다. 그리고 흐름 작업 생산 유형은 Fig. 2(b)에 나타난 것과 같이 설비와 작업자의 위치가 고정되어 있는 상황에서 생산하는 제품이 정해진 경로를 따라 이동하는 방식으로 운영된다. 동일한 종류의 제품을 대량으로 생산하는 생산 시스템에 적용되며, 대표적으로 자동차나 반도체를 생산하는 경우에 활용된다.

제조 시스템 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해서는 제조 시스템의 특징을 명확히 반영해야 한다. 따라서 생산 시스템의 유형별 특징에 따라 시뮬레이션 모델을 구축하는 방법이 달라질 수 있다. 대부분의 제조 생산 시뮬레이션을 수행하는 상용 프로그램에서는 설비를 정의하고, 해당 설비가 수행하는 공정을 대응시키는 방법으로 시뮬레이션 모델을 구성한다. 이러한 모델링 방법은 단일 설비가 일정한 공정을 수행하는 흐름 작업 생산 유형을 표현하기에 유용하다. 하지만 개별 작업 생산 유형에 가까운 조선 산업의 생산 시스템은 단일 설비가 일정한 공정을 수행하지 않고, 복수의 설비가 복수의 공정에 공유되어 사용되는 경우가 많다. 이러한 경우 기존과 같이 설비를 기준으로 모델링을 하는 방법이 적합하지 않다. 또한 선박 건조 공정 중에는 Table 1과 같이 단일 제품이 여러 공정을 거치는 경우가 일반적이다. 따라서 기존의 모델링 방식으로 시뮬레이션 모델을 구축하는 경우 공정에 따라 제품의 상태가 변화하는 것을 표현하기 어렵기 때문에 조선소에서 시뮬레이션 시스템을 운영하는 현업 담당자와의 의사소통이 원활하지 않을 수 있다.

Table 1. Example of the shipbuilding management system

Project code	Product code	Activity		Work order	
		Name	Code	Name	Code
S001	B001	Hull Assembly	CB001	Fit-up	0010
			HC0200	Welding	0020
				Finishing	0030
				Inspection	0040
S002	B002	Hull Assembly	CB002	Fit-up	0010
			HC0200	Welding	0020
				Finishing	0030
				Inspection	0040

이러한 문제점을 해결하기 위하여 선박 건조 공정의 특징을 고려한 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론이 제안되었다(Jeong et al., 2016). Fig. 3은 선박 건조 공정 중 핵심 공정인 조립 공정을 설비 중심 모델링 방법(Resource-centric modeling, 이하 RCM)과 공정 중심 모델링 방법(Process-centric modeling, 이하 PCM)으로 나타난 개념도이다. 화살표로 표현

된 연결 관계는 제품의 흐름에 따른 설비 간 연결 관계를 나타낸다. 동일한 공정을 대상으로 다른 방법으로 모델링한 결과를 비교하면 PCM와 RCM의 차이를 명확히 파악할 수 있다.

RCM으로 모델링한 경우에는 제품을 분배하는 로직이 입고되는 설비에 입력이 되어 있어야하며, 실제 조립 공정을 수행하는 작업장인 정반에는 Table 1에 나타난 것과 같이 취부(Fit-up), 용접(Welding), 사상(Finishing), 검사(Inspection) 등의 상세 공정 수행 로직이 입력되어 있어야한다. 그리고 완성된 제품을 이송하는 지게차나 트랜스포터와 같은 이동설비에 도 작동 로직이 별도로 입력되어 있어야 한다. 반면, PCM을 이용하여 모델링한 경우에는 제품의 입고부터 출고까지의 공정을 선행 공정과 후행 공정의 관계만으로 간단하게 표현할 수 있다. RCM으로 만들어진 모델과 달리 설비 작동 로직 등을 반복하여 입력하지 않고, 제약 조건으로 설정하여 표현할 수 있다.

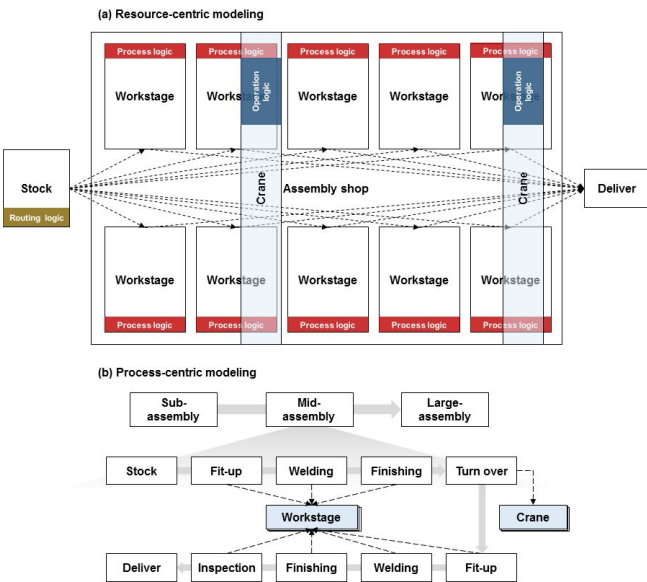


Fig. 3. Shipyard assembly shop modeling results (Jeong et al., 2016).

결론적으로, 선박 건조 공정에서는 복수의 설비가 복수의 공정에 투입되는 경우가 많고, 개별 작업 생산 유형에 가까운 특징을 가지고 있다. 따라서 PCM을 이용하면 복잡한 연결 관계와 로직을 정의하지 않고 시뮬레이션 모델을 구성할 수 있으며, 모델을 만드는데 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있다.

## 2.2 선박 건조 공정 시뮬레이션 정보 모델

완성도 높은 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해서는 시뮬레이션 모델을 구성하는 정보가 체계적으로 구분되어 있어

야 한다. 이를 위하여 일반적으로 제조 시뮬레이션 모델을 구축하는 경우에는 이와 관련된 정보를 제품, 공정, 자원으로 구분하여 PPR(Product, Process, Resource) 정보 모델을 구성하였다. 하지만 조선 산업은 일반 제조업에 비하여 일정 계획 정보가 변하는 경우가 많기 때문에 PPR 정보 모델에 일정 정보를 추가한 PPR-S(Product, Process, Resource and Schedule) 정보 모델이 제안되었다(Woo, 2005). 이후 다양한 특성을 가진 자원 정보가 활용되는 선박 건조 공정의 특성을 고려하여 Fig. 4와 같이 PPR-S 정보 모델의 자원 정보를 공간, 설비, 인력 정보로 상세화 한 PPR3-S(Product, Process, Facility, Space, Labor and Schedule) 정보 모델도 제안되었다(Lee et al., 2014b).

이와 같이 체계적으로 구분되어 있는 정보 모델을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구성하면, 모델을 체계적으로 구성할 수 있을 뿐만 아니라 시뮬레이션 결과 신뢰성도 향상시킬 수 있다. 선박 건조 공정 시뮬레이션 모델을 구축할 때 사용되는 PPR3-S 정보 모델의 핵심 요구 사항은 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

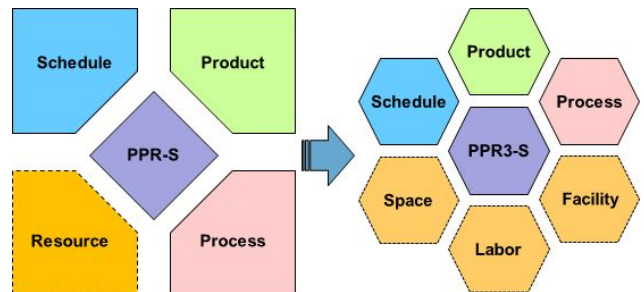


Fig. 4. Simulation information models for shipbuilding simulation.

Table 2. Key requirements of the PPR3-S information model

Element	Key requirements	
Product	Block division, BOM*	
Process	Capacity, DAP**, Standard working time	
Resource	Facility	Specification, Operation plan
	Space	Shipyards layout, Workshop layout
	Labor	Capacity, Man-hour
Schedule	Dock plan, Master plan, Erection network	

\*BOM: Bill of materials, \*\*DAP: Detailed assembly plan

## 2.3 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법

앞서 선행연구 검토 과정에서 언급되었던 Song(2013)이 제안한 PMOS는 PPR-S 정보 모델을 기반으로 하고 있으며, Lee et al.(2014a)의 PCM은 PPR3-S 정보 모델을 기반으로 시뮬레이션 모델을 구성한다. 두 방법은 기반으로 하고 있는 정보

모델에는 차이가 있지만 모델링 하는 방법에는 큰 차이가 없다. 따라서 본 논문에서는 PMOS를 기준으로 모델링 방법을 분석하고, PCM의 개선할 점을 도출하고자 한다. 이를 위하여 우선 PMOS 다이어그램을 구성하는 주요 요소를 분석하였다.

Fig. 5는 PMOS를 구성하는 주요 요소를 표현한 그림이며, Fig. 6은 PMOS로 나타낸 단위 공정 모델을 나타낸다. PMOS는 세 개의 레인(Lane)으로 구성되어 있으며, 중앙에 위치한 레인에는 공정과 공정의 흐름을 나타내는데 사용된다. 그리고 상단과 하단에 위치한 레인은 각각 해당 공정에 투입되는 제품과 설비의 종류를 표현하기 위하여 사용된다. 하단에 위치한 설비 요구 조건은 파선으로 표현하여 상단에 위치한 제품 요구 조건과 구분할 수 있도록 하고 있다.

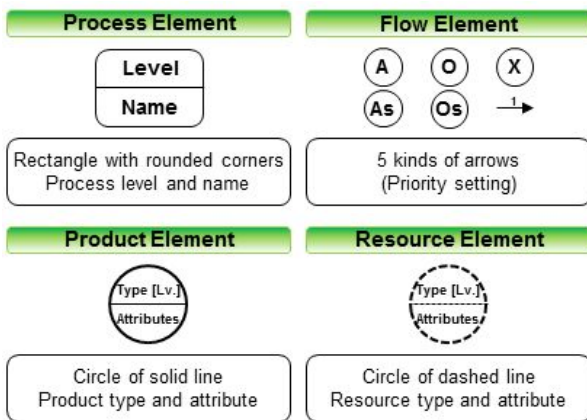


Fig. 5. Components of the PMOS diagram (Song, 2013).

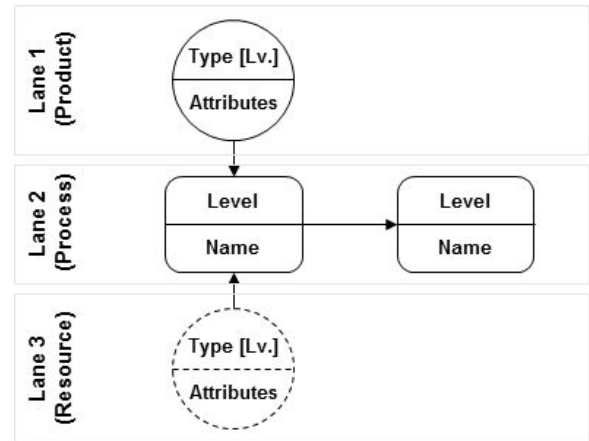


Fig. 6. Unit process model represented by the PMOS (Song, 2013).

### 3. 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법 개선

#### 3.1 기존 공정 중심 모델링 방법의 한계점

선행 연구에서 제안한 공정을 중심으로 조선소 시뮬레이션 모델을 구성하는 방법인 PCM은 선박 건조 공정의 다양한 정보를 효과적으로 표현하기 위하여 제안된 방법이다. 일반적으로 시뮬레이션 모델을 구축할 때에는 대상 시스템의 다양한 정보를 상세하게 모사해야 시뮬레이션 결과도 믿을 수 있는 결과가 도출된다. 하지만, 다양한 방법으로 분석한 결과 기존에 제안된 방법인 PCM을 이용하여 선박 건조 공정을 모델링하기 위해서는 몇 가지 한계점이 있었으며, 본 논문에서는 이를 보완하고자 한다.

Fig. 7은 부재를 판넬 블록에 용접하여 조립하고 이송하는 소조립 공정을 PCM으로 모델링한 결과이다. PCM에서는 공정에 투입되거나 필요한 제품과 설비를 해당 공정의 상위 레

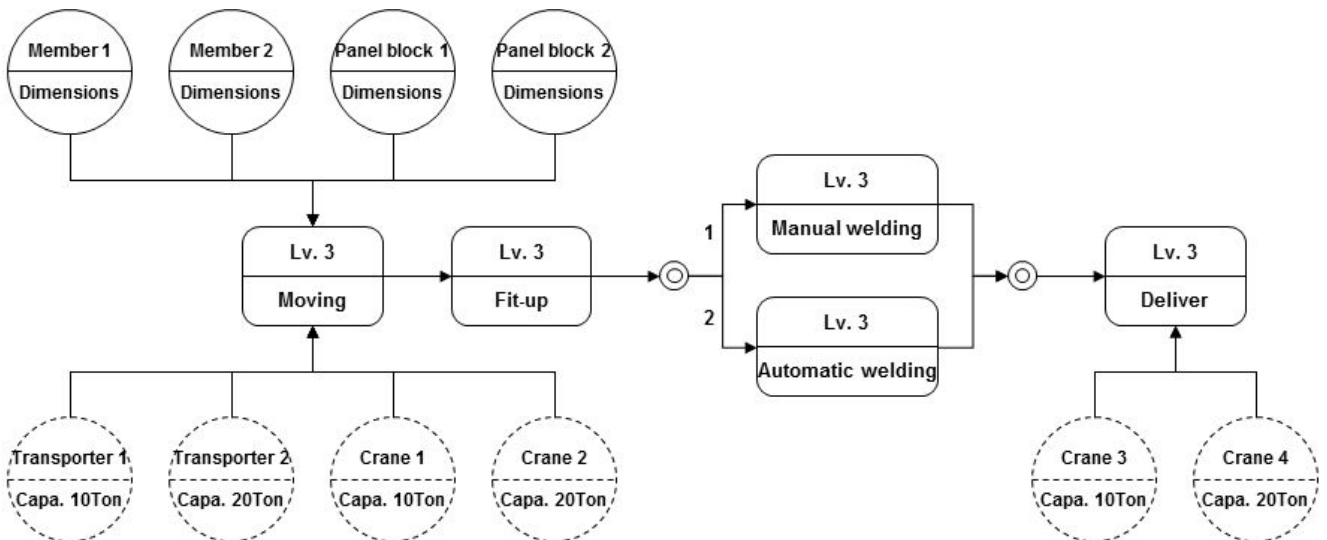


Fig. 7. PCM modeling result diagram of shipbuilding sub-assembly process.



인과 하위 레인에 표시한다. 이러한 경우 투입되는 제품이나 사용되는 설비가 증가함에 따라 모델링 공수가 증가하게 되는데, 선박 건조 공정 중에는 유사한 종류의 많은 제품과 설비가 투입되는 경우가 많기 때문에 모델의 복잡도가 증가하게 된다. 그리고 복수의 설비가 하나의 공정에 제약 조건으로 정의되는 경우, 어떠한 설비를 어떠한 상황에서 사용할지, 같은 종류의 설비가 모두 사용 가능한 경우 어떠한 설비를 우선 호출할 지와 같은 세부 사용 규칙을 입력해야 하는데, 기존의 PCM에서는 이러한 기능을 지원하지 않는다.

PPR3-S 정보 모델을 구성하는 요소 중 조선소의 계획 정보는 계층 구조를 가지고 있다. 따라서 생산 계획을 검증하는 용도로 사용되는 시뮬레이션 모델도 계층 구조를 가지고 있는 경우가 많다. PCM에서는 공정의 계층 구조를 표현할 수 있도록 선박 건조 공정을 Fig. 8과 같이 네 단계로 구분하여 표현하였다. 하지만 PCM에서는 공정의 계층 구조를 구분하여 표현하고 있음에도 불구하고 상위 공정과 하위 공정의 연관 관계를 명확하게 표현하기에는 한계점이 있다. 또한 입력되는 정보가 충분하지 않은 경우에는 상위 단계의 시뮬레이션 모델을 별도로 정의해야하고, 이러한 경우 하위 단계의 시뮬레이션 모델과 동기화할 수 없다는 단점이 있다.

마지막으로 PCM에서는 투입되는 제품에 따라 달라지는 라우팅 규칙을 표현하거나 정의할 수 없기 때문에 제품에 따라 공장 내 흐름이 달라지는 선박 건조 공정을 표현하기에 부족한 점이 있다. PCM으로 시뮬레이션 모델을 구축하는 경우 공정의 흐름은 직관적으로 파악할 수 있지만, 제품의 라우팅 규칙을 직관적으로 파악하기 어렵고, 제품에 따라 달라지는 상세한 라우팅 규칙을 정의하기 어렵다는 단점이 있다.

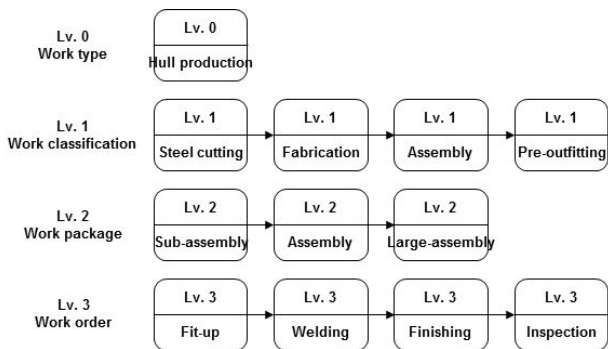


Fig. 8. Shipbuilding process hierarchy of the PCM.

### 3.2 개선된 PCM 방법 제안

본 논문에서는 기존에 연구에서 제안된 공정 중심 모델링 방법론의 문제점을 개선하고, 이를 구현하고 적용할 수 있도록 모델링에 필요한 다이어그램 요소를 구체적으로 정의하였

다. 그리고 개선된 공정 중심 모델링(APCM) 방법은 PPR3-S 정보 모델을 바탕으로 시뮬레이션에 필요한 정보를 획득하여 시뮬레이션 모델을 보다 상세히 구축하고자 하였다.

### 3.2 APCM 다이어그램 요소 정의

본 논문에서 제안하는 APCM에서는 공정, 흐름, 로직 입력 요소를 이용하여 시뮬레이션 모델을 정의한다. 공정 요소는 기존의 공정 중심 모델링 방법과 마찬가지로 대상으로 하는 시스템에서 발생하는 공정을 표현하며, 흐름 요소는 공정과 공정 간의 관계를 화살표로 연결하여 표현한다. 로직 입력 요소는 PPR3-S 정보 모델을 기반으로 대상으로 하는 시스템의 정보를 효과적으로 표현하기 위하여 추가로 정의하였다.

다음으로 APCM 다이어그램을 작성하기 위한 각 요소의 표기법과 역할을 정의하였다. 특히 앞서 정의한 로직 입력 요소는 일곱 가지로 세분화하여 선박 건조 공정을 효과적으로 표현할 수 있도록 하였다. APCM을 구성하는 요소 중 공정 요소와 흐름 요소는 기본적으로 기존의 모델링 방법론에서 정의한 표기법과 큰 차이가 있지 않다. 다만, 공정의 계층 구조를 따로 표기하지 않았으며, 공정의 이름만 다이어그램에 표기하도록 하였다. 대신 공정의 계층 구조는 계층 별로 모델을 독립적으로 구성하여 표현하였다. 그리고 서로 다른 계층의 시뮬레이션 모델 간 연결 관계를 Fig. 9와 같이 레이어 개념을 이용하여 정의하였으며, 이를 통해 복잡한 계층 구조를 가진 시뮬레이션 모델도 정의할 수 있도록 하였다. 흐름 요소는 기존의 방법과 동일하게 화살표로 연결 관계를 표현하며, 복수의 공정이 연결되는 경우 후행 공정 간 우선순위를 표시할 수 있었던 방법을 없애 구조를 단순화 하였다. 대신 복수의 후행 공정 간 우선순위는 로직 입력 요소에서 정의할 수 있도록 하였다.

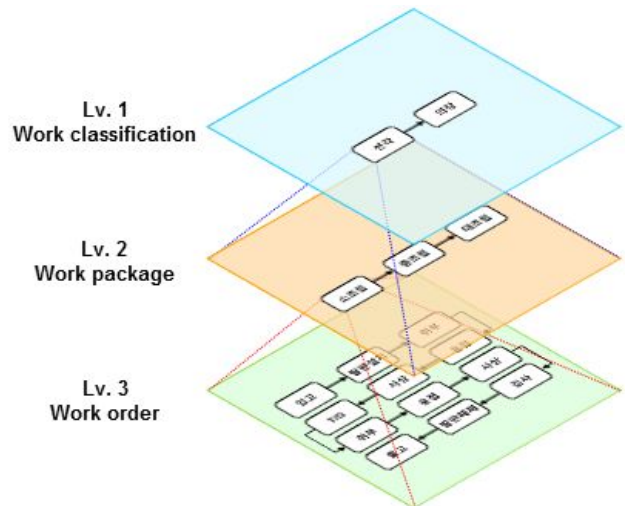
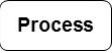










Fig. 9. APCM hierarchical model concept using layers.

## 제품, 공정, 설비 정보 표현 방법을 개선한 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법

본 논문에서 제안하는 APCM 방법이 기존의 모델링 방법과 가장 큰 차이를 보이는 점은 공정의 세부 로직과 제약 조건을 입력할 수 있도록 새롭게 정의한 로직 입력 요소이다. APCM에서는 PPR3-S 정보 모델을 기반으로 선박 건조 공정과 관련된 정보를 세부 로직과 제약 조건으로 입력할 수 있도록 하였다. 이를 통하여 기존의 모델링 방법에서 문제가 되었던 제품, 설비 정보를 표현의 단점을 개선하였다. 결과적으로 로직 입력 요소 새롭게 정의하여, 시뮬레이션 모델 자체의 구조를 단순화 하였다. APCM에서 정의한 로직 입력 요소는 Table 3과 같이 총 일곱 가지로 구분할 수 있다.

Table 3. APCM diagram components and examples

Components	Examples
Process	
Flow	
Product logic	
Facility logic	
Approval logic	
Logic	Stock logic 
	Process logic 
	Transition logic 
	Deliver logic 

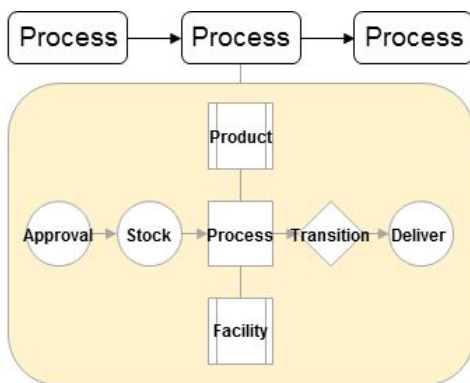


Fig. 10. Unit process model represented by the APCM.

앞서 정의한 요소의 역할과 표현 방법을 바탕으로 시뮬레이션 모델을 구성하면 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있다. 단위 공정은 공정 요소를 통하여 정의할 수 있으며, 공정 간의 관계는 흐름 요소를 통해 정의할 수 있다. 그리고 각각의 단위 공정은 로직 입력 요소를 포함하고 있으며, 로직 입력 요소를 이용하여 제품과 설비의 제약 조건, 그리고 상세 시뮬레이션 로직을 정의할 수 있다.

### 3.3 APCM을 이용한 제품, 공정, 설비 정보 표현 방법 개선

앞서 언급한 것과 같이 APCM은 기존에 제안된 시뮬레이션 모델링 방법의 문제점을 개선하는 것을 목표로 한다. 이 절에서는 3.1절에서 언급하였던 기존 모델링 방법론의 한계점을 제품, 공정, 설비 정보 표현 방법을 개선하는 관점으로 각각 알아보려 한다.

먼저 제품 정보는 로직 입력 요소 중 제품 로직, 승인 로직, 이송 로직을 정의함으로써 보다 구체적으로 표현할 수 있게 되었다. APCM의 제품 로직에서는 복수의 제품이 공정에 투입되는 경우 어떠한 제품을 먼저 처리할 것인지 우선순위를 입력할 수 있도록 하고 있다. 또한 승인 로직, 이송 로직을 통하여 공정을 마친 제품이 어떠한 공정으로 이송되는지를 정의할 수 있게 되었다. 이를 통하여 선행, 후행 공정 간 제품의 이동 경로를 명확히 할 수 있게 되었다.

다음으로 레이어 개념을 이용하여 공정 간의 계층 구조를 명확히 표현할 수 있도록 하였으며, 서로 다른 레이어 사이에는 정보를 주고받을 수 있도록 하여 하위 레이어에서 수행한 시뮬레이션 결과를 상위 레이어에서 입력 값으로 사용할 수 있도록 하였다. 이러한 방법을 통해 복잡한 계층 구조를 표현할 수 있을 뿐만 아니라, 동일한 단계에 위치하고 있는 시뮬레이션 모델도 레이어 개념을 적용하여 특징에 맞게 분류할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

마지막으로 설비 정보는 단일 공정이 복수의 설비를 호출할 때 우선순위를 설정할 수 있도록 설비 로직을 활용할 수 있다. 설비 로직은 제품 로직과 마찬가지로 어떠한 설비를 우선 사용할 것인지 판단할 수 있도록 우선순위를 입력할 수 있도록 하였다. 이러한 표현 방법을 이용하여 설비의 용량이나 활용률 등을 우선순위를 결정하는 요소로 활용하면, 합리적인 시뮬레이션 모델을 구축하는데 도움이 될 수 있다.

### 3.4 APCM 적용 예제

본 논문에서 제안하고 있는 다이어그램으로 시뮬레이션 모델을 구축하기 전에 간단한 공정에 적용하였다. 대상 공정은 선박 건조 공정 중 부채를 조립하여 소조립 블록을 생산하는 소조립 공정을 대상으로 하였으며, 이 공정은 간단

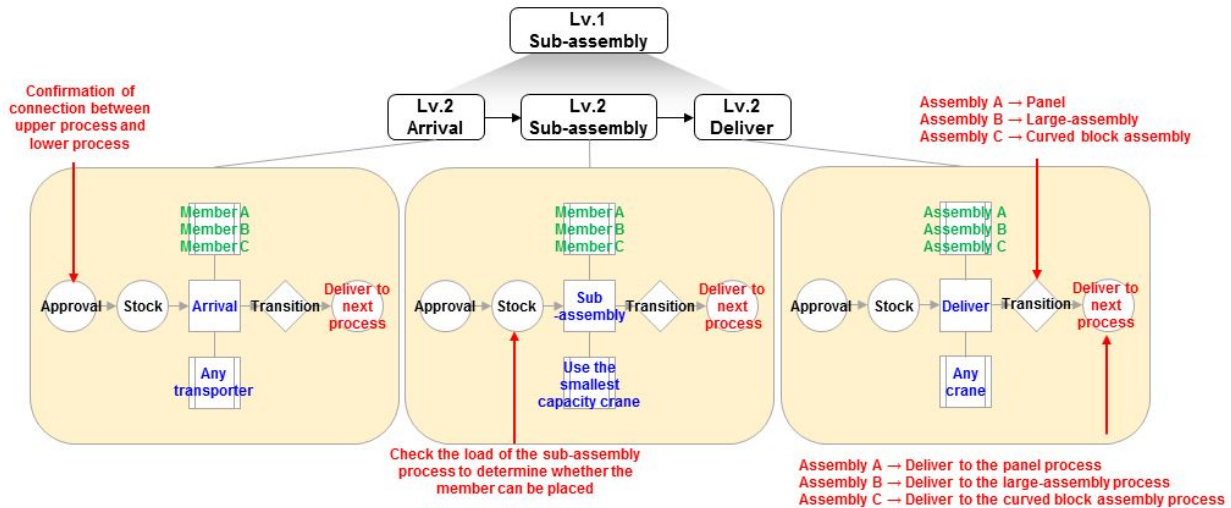


Fig. 11. An example diagram of APCM method.

하게 입고, 소조립, 출고의 절차를 거쳐 진행된다. 입고 공정에서는 절단 공정에서 전달 받은 부재 A, 부재 B, 부재 C를 상위 레이어에서 전달 받으며 이를 소조립 공정으로 이동하는 역할을 수행한다. 다음으로 소조립 공정에서는 입고 받은 부재를 조립하여 소조립 블록 A, 소조립 블록 B, 소조립 블록 C를 만드는 역할을 수행한다. 마지막으로 출고 공정에서는 소조립 공정에서 만들어진 복수의 소조립 블록을 특성을 고려하여 상위 레이어의 후행 공정으로 분배하는 역할을 수행한다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 11과 같다.

### 3.5 시뮬레이션 모델링 방법 비교 분석

기존에 제안된 시뮬레이션 모델링 방법과 본 논문에서 제

안하고 있는 APCM 방법을 비교 분석하기 위하여 다양한 관점으로 정성적인 평가를 수행하였다. 이때 조선소 생산 관리 체계와의 호환성, 설비 간 연결 관계 표현 방법, 설비 운영 로직 표현 방법, 공정 흐름 표현 방법, 각 공정의 제품, 설비 제약 조건 표현 방법, 공정의 계층 구조 표현 방법, 제품의 라우팅 규칙 표현 방법 관점에서 평가를 수행하였으며, 전체적인 결과는 Table 4과 같다. 분석 결과, 본 논문에서 제안하는 APCM은 기존의 다른 시뮬레이션 모델링 방법에 비하여 조선소 생산 관리 체계와의 호환성이 높으며, 레이어 개념을 적용하여 공정의 계층 구조를 표현할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 제품의 라우팅 규칙을 상세하게 정의할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

Table 4. Comparison analysis results of modeling methods

Comparison factors	RCM*	PCM (Lee et al., 2014a)	APCM
Relationship with shipyard production management system	Low		High
Relations between facilities	Connect all relations individually		Constraints of the process
Facility operation logic	Operation logic for multiple processes must be defined in a facility		Define the logic in a specific process
Process flow	Not revealed		Intuitive understood
Constraints of each process (Product and facility)	Can not express		Can be defined as process constraints
Hierarchy of processes	Can not express	Can express but complex	Can be clearly expressed by applying layer concept
Routing rules of each product	Must have routing rules in product information	Can not be defined in detail	Can be defined in detail

\*RCM: Resource centric modeling



## 4. 개선된 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론 적용

### 4.1 대상 선정

APCM 방법의 효용성을 확인하기 위하여 국내 대형 조선소 S사의 선박 건조 공정 정보를 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 시뮬레이션 모델은 S 조선소의 생산 계획을 검증하기 위한 용도로 구축하였으며, S 조선소에서 생산하는 선박을 구성하는 대조립 블록과 하위 블록의 일정 계획 정보를 시뮬레이션 모델의 입력 값으로 사용하였다. 시뮬레이션 모델에서 대상으로 하는 공정은 강재를 절단하는 절단 공정부터 대조립 블록을 생산하는 대조립 공정까지로 한정하였으며, 각 공정의 하위 공정은 S 조선소에서 사용하고 있는 작업 지시(Work order) 정보를 바탕으로 하였다.

### 4.2 모델링 결과 및 분석

APCM을 적용하여 모델링한 시뮬레이션 모델은 2개의 계층 구조를 가지고 있다. 상위 모델은 Fig. 12와 같이 절단, 소조립, 곡가공, 판넬, 곡중조립, 중/대조립 공정을 포함하고 있으며, 하위 모델은 Fig. 13과 같이 각 공정의 상세한 공정을 포함한다. 절단 공정과 곡가공 공정은 입고되는 제품의 특성에 따라 다른 설비를 사용할 수 있도록 하위 공정을 모델링하였으며, 소조립, 판넬 공정은 투입되는 부재를 용접하여 소조립 블록과 판넬 블록을 만들 수 있도록 하위 공정을 모델링하였다. 입고되는 블록의 크기가 큰 곡중조립 공정과 중/대조립 공정은 작업의 편의성을 위하여 블록의 위치를 뒤집는 턴 오버(Turn over) 공정이 포함되어 있도록 하위 공정을 모델링하였다.

Fig. 13은 하위 모델 중 절단(Steel cutting), 소조립(Sub-assembly), 중/대조립(Assembly) 공정에 대한 상세한 공정을 나타낸다. 하위 모델에서는 각 공정에 투입되는 제품의 제약 조건을 설정할 수 있다. 선박 건조 공정 중에는 동일한 조립 단계로 구분할 수 있지만 종류가 다른 여러 제품이 존

재한다. 따라서 선박 건조 공정의 제품 제약 조건을 설정할 때에는 Fig. 13에서 정의한 것과 같이 제품의 조립 단계를 기준으로 부재, 철판, 소조립 블록, 판넬 블록, 중조립 블록 등으로 제약 조건을 설정해야한다. 또한 설비 제약 조건도 크레인, 트랜스포터와 같은 범용 이동 설비가 여러 상황에서 사용되기 때문에 특정 설비를 제약 조건으로 설정하는 것이 아니라 설비의 종류를 기준으로 제약 조건을 설정해야한다.

이처럼 APCM은 선박 건조 공정의 특성을 반영하여 제약 조건을 설정할 수 있도록 하였기 때문에 기존의 모델링 방법에 비하여 조선소 선박 건조 공정을 모델링할 때 유리하다. 또한 각 공정 별 승인, 입고 로직을 별도로 정의할 수 있도록 하여 이전 공정이나 다음 공정의 상태에 따라 제품의 경로를 다르게 설정할 수 있다. 이는 동일한 공정을 수행하는 작업장이 여러 개인 대형 조선소의 환경을 반영한 것으로 상황에 따른 제품 분배 로직을 구체적으로 입력할 수 있다는 장점을 가진다.

## 5. 결론

본 연구에서는 조선소에서 생산 계획 등을 검증하기 위하여 사용하는 시뮬레이션 모델을 효과적으로 만들기 위하여 제안된 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법을 개선하였다. 이를 위하여 기존에 제안되어 있는 모델링 방법론을 분석하고, 문제점을 파악하였다. 그 결과 개선된 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법인 APCM을 제안하였고, APCM을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축할 수 있도록 다이어그램 구성 요소와 모델링 방법을 상세히 기술하였다.

본 논문에서 제안하는 APCM에서는 단일 공정에 복수의 제품, 복수의 설비가 제약 조건으로 입력되어 있는 경우 어떠한 제품과 설비를 투입하고 사용할 것인지 우선순위를 입력할 수 있도록 하였다. 또한 공정 간의 계층 구조를 명확히 파악할 수 있도록 레이어 개념을 적용하여 시뮬레이션 모델

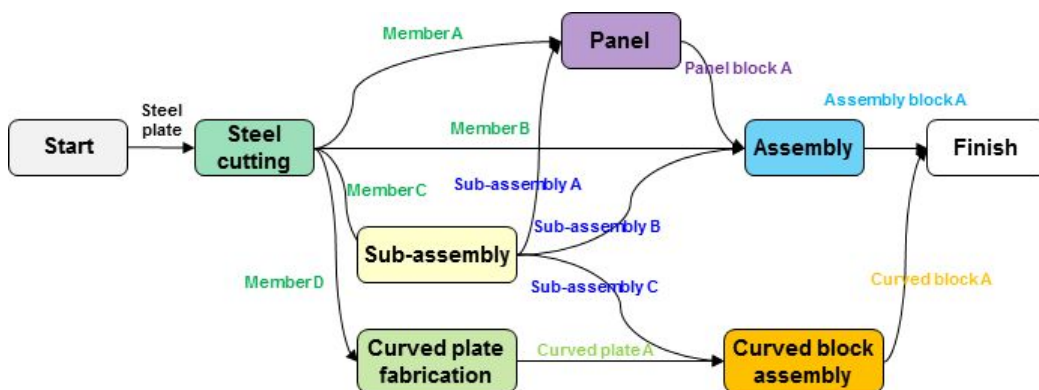


Fig. 12. Simulation model for production plan verification using APCM (Lv. 1).

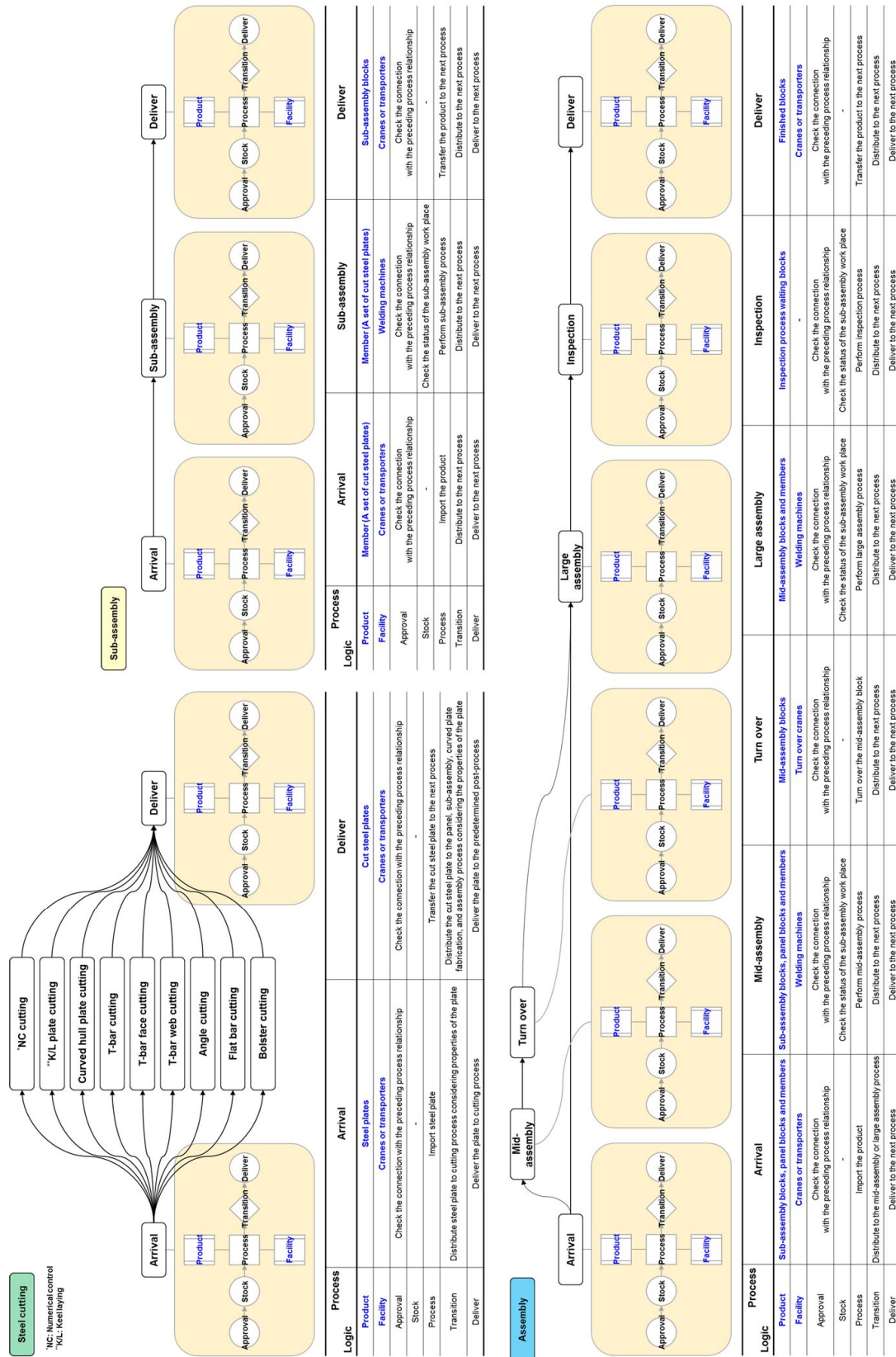


Fig. 13. Simulation model for production plan verification using APCM (Lv. 2).

## 제품, 공정, 설비 정보 표현 방법을 개선한 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법

을 구성하였다. 그리고 제안한 모델링 방법론을 이용하여 조선소 중일정 계획을 검증하기 위한 시뮬레이션 모델을 구축하여 APCM의 효용성을 확인하였다. 개선된 공정 중심 모델링 방법인 APCM은 선박 건조 공정의 특성을 반영한 기존의 공정 중심 모델링 방법이 가지는 장점뿐만 아니라 상세한 시뮬레이션 규칙과 생산 시스템 정보를 표현할 수 있기 때문에 보다 정확한 시뮬레이션 모델을 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

향후에는 APCM과 다른 모델링 방법을 정량적으로 비교할 수 있도록 비교 지표와 방법에 대한 연구를 수행할 예정이며, APCM으로 구축한 시뮬레이션 모델을 시뮬레이션 엔진과 연동하여 시뮬레이션 결과를 도출할 수 있도록 추가 연구를 진행할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 2016년 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호: 2014056245)과 산업통상자원부 산업핵심기술개발 사업 "중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리시스템 개발" 과제(과제번호: 10050495)와 미래창조과학부 ICT융합 Industry4.0S(조선해양) 기술개발사업 "해양호선 생산 코스트 최적화 생산 전략 및 실행 시뮬레이션 기술 개발"과제 (과제번호: S1106-16-1020)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

### References

- [1] Han, S. D., C. H. Ryu, J. G. Shin and J. K. Lee(2008), Modeling and Simulation of Ship Panel-block Assembly Line Using Petri Nets, Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 36-44.
- [2] Hopp, W. J. and M. L. Spearman(2008), Factory Physics 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill.
- [3] Jeong, Y. K., J. H. Woo, D. K. Oh and J. G. Shin(2016), A Shipyard Simulation System using the Process-centric Simulation Modeling Methodology: Case Study of the Simulation Model for the Shipyard Master Plan Validation, Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 204-214.
- [4] Lee, D. K., Y. Kim, I. H. Hwang, D. K. Oh and J. G. Shin(2014a), Study on a process-centric modeling methodology for virtual manufacturing of ships and offshore structures in shipyards, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 71, pp. 621-633.

- [5] Lee, D. K., J. G. Shin, Y. Kim and Y. K. Jeong(2014b), Simulation-Based Work Plan Verification in Shipyards, Journal of Ship Production and Design, Vol. 30, No. 2, pp. 49-57.
- [6] Song, J. K.(2013), Process Modeling Methodology for Shipyard Production Simulation, Master's Degree Thesis, Seoul National University.
- [7] Woo, J. H.(2005), Modeling and Simulation of Indoor Shop System of Shipbuilding by Integration of the Product, Process, Resource and Schedule Information, Ph.D. Thesis, Seoul National University.

---

Received : 2017. 04. 11.

Revised : 2017. 05. 29.

Accepted : 2017. 06. 28.