

## 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론을 이용한 조선소 생산 시뮬레이션 시스템: 중일정계획 검증 시뮬레이션 모델 구축 사례를 중심으로

정용국<sup>1</sup> · 우중훈<sup>2†</sup> · 오대균<sup>3</sup> · 신종계<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 조선해양공학과, <sup>2</sup>한국해양대학교 조선해양공학부, <sup>3</sup>목포해양대학교 조선해양공학과,  
<sup>4</sup>서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소

### A Shipyard Simulation System using the Process-centric Simulation Modeling Methodology: Case Study of the Simulation Model for the Shipyard Master Plan Validation

Yong-Kuk Jeong<sup>1</sup>, Jong-Hun Woo<sup>2†</sup>, Dae-Kyun Oh<sup>3</sup>, and Jong-Gye Shin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University

<sup>2</sup>Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University

<sup>3</sup>Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University

<sup>4</sup>Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering and Research Institute of Marine System Engineering, Seoul National University

Received 15 February 2016; received in revised form 19 March 2016; accepted 21 March 2016

#### ABSTRACT

Shipbuilding process takes a long time for producing final products, and needs many different resources. Because of these characteristics, it has been studied about shipyard simulation and virtual manufacturing that is able to implement the virtual manufacturing process. However, among the previous researches, it requires considerable time and effort to construct simulation model since the systematic methodology has not been used for simulation modeling. Also, reusability of constructed simulation model was low. Therefore, this research defines the method to construct shipyard simulation system using the process-centric simulation modeling methodology and shipyard simulation framework. This paper also validates the utility of this methodology through applying to construct simulation model for the shipyard master plan validation.

**Key Words:** Digital shipyard, Discrete event system simulation, Process-centric simulation modeling, Shipyard master plan, Virtual manufacturing

## 1. 서 론

조선 산업은 최종 제품의 크기가 크고, 작업착수 시점부터 제품을 고객에게 인도하는 시점까지의 기간이 길고, 다양한 종류의 많은 자원이 투입되는 중공업의 대표적인 특성을 모두 가지고 있다. 건설, 건축, 조선, 항공, 우주 산업과 같은 중공업에서는 최종 제품에 투입되는 자재, 부재를 관리하는 것도 중요하며, 세부 공정을 체계적으로 관리하는 것도 중요하다. 하지만 최종 제품에 투입되는 자재, 부재의 종류와 수가 많고, 수많은 세부 공정을 거쳐 최종 제품이 완성되기 때문에 전체적인 관점에서 공정을 관리하는 능력도 매우 중요하다.

특히 항공, 우주 산업은 제조 공정의 사소한 오차가 최종 제품의 성능에 미치는 영향이 크기 때문에 일찍이 제품 및 제조 공정에 대한 상세한 관리 기술이 발달하였다. 이러한 산업은 시제품을 제작하기 어렵고, 전체 제조 공정에 투입되는 설비 제약조건이 다양하며, 수립한 계획을 체계적으로 검증하기 위한 수단이 부족하기 때문에 이를 해결하기 위하여 가상 생산(Virtual manufacturing), 제조 및 생산 시뮬레이션에 대한 다양한 연구가 수행되었다<sup>1,2)</sup>.

전통적으로 선박은 항공기, 우주선에 비하여 제조 공정의 작은 오차가 최종 제품의 성능에 미치는 영향이 크기 않았다. 하지만 제품이 대형화되고, 특수한 기능을 수행하는 제품과 장비가 개발됨에 따라, 제품 및 공정에 대한 상세한 관리 기술이 필요하게 되었다. 그 밖에도 조선소의 한정된 설비를 효율적으로 사용하고, 돌발 상황이나 유동적인 제조 환경에 유연하게 대응하기 위하여 선박 건조 공정 시뮬레이션 연구가 다수 수행되었다<sup>3-5)</sup>.

이처럼 조선소 선박 건조 공정에 대한 시뮬레이션 적용을 위한 다양한 연구가 수행됐음에도 불구하고, 기존 연구에는 여러 가지 한계점이 존재한다. 그 중 가장 큰 한계점은 시뮬레이션 기술을 적용하고 활용하는 절차가 체계적으로 정립되지 않아 구축한 시뮬레이션 모델이 재사용되거나 개선되지 않고 일회성으로만 활용된다는 점이다. 특정 생산 공정을 개선하기 위하여 시뮬레이션 모델을 구축하고 결과를 도출하였지만, 동일한 시뮬레이션 모델을 다른 목적으로 활용하기 어려운 경우가 대부분이다. 또한 시뮬레이션 시행 결과를 통하여 어떠한 점이 개선되었는지 정량적으로 평가하기

어려운 경우도 많다.

또 다른 한계점으로는 시뮬레이션 모델을 구축할 때 설비를 중심으로 시뮬레이션 모델을 구성하는 점이 있다. 선박 건조 공정은 공정의 특성에 따라 차이가 있지만 주로 제품을 고정한 채로, 필요한 설비가 투입되어 공정이 진행되는 Job shop의 특징을 가지고 있다. 이러한 경우, 설비는 대부분 제약조건으로만 사용되며, 공정 혹은 액티비티를 중심으로 진행된다. 대부분의 상용 생산 및 제조 시뮬레이션 소프트웨어는 설비를 중심으로 시뮬레이션 모델을 구축하고 있는데, 이러한 시뮬레이션 모델링 방법은 직관적으로 물리적인 공장을 정의하거나 가시화하기 쉽다는 장점을 가지고 있다. 하지만 공정 혹은 액티비티 단위로 공정 관리 체계가 정립되어 있는 조선소 선박 건조 공정을 표현하기에는 적합하지 않다. 최근에는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법을 제안하는 연구가 수행되기도 하였다<sup>6,7)</sup>. 이 연구에서는 공정을 시뮬레이션 기본 단위로 하며, 설비와 제품을 제약조건으로 설정하는 시뮬레이션 모델링 방법론을 제안하였다.

본 연구에서는 앞서 언급한 조선소 선박 건조 공정 시뮬레이션 기술의 두 가지 한계점을 극복할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 먼저 선박 건조 공정에 시뮬레이션 기술을 적용하고 활용하는 절차를 체계적으로 수행할 수 있는 조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 제안하고자 한다. 이 프레임워크는 조선소 선박 건조 공정에 시뮬레이션 기술을 적용하기 위한 체계적인 절차를 포함하고 있으며, 시뮬레이션 모델의 재사용성을 극대화하기 위하여 통일된 방법론을 제안하고 있다. 또한, 시뮬레이션 모델을 활용하여 생산성을 향상시키기 위한 명확한 목표를 KPI(Key performance indicator)를 이용하여 설정하는 방법도 포함하고 있다<sup>8)</sup>. 마지막으로 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 기반으로 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론이 적용된 시뮬레이션 프로그램을 이용한 중일정계획 검증용 생산 시뮬레이션 시스템을 구축하였다.

## 2. 조선소 생산 시뮬레이션 시스템

### 2.1 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론

제조업에서 제품을 생산하는 방법은 여러 가지

기준으로 구분할 수 있다. 특히 공정이 진행되는 방법에 따라 Flow shop 방식과 Job shop 방식 등으로 구분할 수 있으며, 두 종류의 특징을 모두 가지고 있는 Project shop 방식도 있다<sup>9)</sup>. Flow shop 방식은 자동차 산업, 반도체 산업과 같이 제품을 대량으로 생산하는 제조업에 적용되는 생산 방식으로 설비와 작업자의 위치가 고정되어 있고, 부품 또는 제품이 정해진 경로를 따라 이동하며 공정이 진행되는 특징을 가지고 있다. Job shop 방식은 제품이 고정되어 있고, 설비와 작업자가 이동하며 제품을 생산하는 방식으로 대표적으로 조선, 항공 산업 등에 적용된다.

일반적인 제조업의 제조 및 생산 시뮬레이션에 사용되는 상용 시뮬레이션 프로그램은 대부분 설비를 기준으로 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 설비 중심 모델링 방법은 설비가 고정되어 있는 Flow shop 방식에는 적합하지만, 설비의 수가 많고 제품이 이동하는 경로가 일정하지 않은 조선소 선박 건조 공정에는 적합하지 않다. 또한 조선 산업에서는 동일한 종류의 선박을 여러 척 수주하여 건조하는 시리즈 선을 제외하고는 같은 제품을 생산하지 않고 유일한 제품을 생산한다. 따라서 제품별로 일정을 관리하는 특성도 가지고 있어, 기존의 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용하기 쉽지 않다.

이를 해결하기 위하여 Song<sup>6)</sup>의 연구에서는 조선소 생산 정보를 분석하고 다양한 분야의 프로세스 모델링 방법을 비교 분석하여, 조선소 선박 건조 공정을 위한 시뮬레이션 모델링 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 IDEF0 모델링 방법에서 차용하고 있는 액티비티 계층 표현과 SAD(Simulation activity diagrams) 방법론에서 차용하고 있는 다양한 흐름 표현을 참고하여 제품 및 리소스의 특성을 표현할 수 있는 모델링 방법론인 PMOS(Process modeling of shipyard simulation)를 제안하였다.

PMOS는 공정 요소, 제품 요구조건 요소, 설비 요구조건 요소, 흐름 요소를 기본 요소로 한다. 공정 요소는 조선소의 선박 건조 공정을 나타내며, 제품 및 설비 요구조건 요소는 공정을 수행하기 위하여 필요로 하는 제품과 설비를 의미한다. 마지막으로 흐름 요소는 공정 간 다양한 선행/후행 관계를 표현하기 위하여 분기점과 화살표로 표현한다. 앞서 언급한 연구에서는 이러한 방법론을 조선소 패널라인(Panel line)에 적용하였으며, 시뮬레이션 모델링 프로그램을 개발하여 시뮬레이션 모

델을 쉽게 표현할 수 있도록 하였다.

기존의 설비 중심 모델링 방법론과 공정을 중심으로 한 PMOS는 설비 간 연결관계 표현 방법, 설비 운영 로직 표현 방법, 그리고 공정 흐름 표현 방법 관점에서 비교할 수 있다. 기존의 설비 중심 모델링 방법론으로 조선소 시뮬레이션 모델을 구축하는 경우에는 물리적으로 정의된 설비를 기준으로 설비 간 연결관계를 모두 표현해야 하지만, PMOS를 사용하는 경우에는 설비를 단순히 공정의 제약조건으로 표현하는 것으로 단순화할 수 있다. 또한, 설비 중심 모델링 방법론에서는 여러 공정을 복합적으로 수행하는 설비의 경우 설비 내부에 여러 조건에 따른 운영 로직을 별도로 입력해 주어야 한다. 하지만, PMOS를 이용하면 공정을 기준으로 설비 운영 로직을 구분하여 표현할 수 있다. 마지막으로 설비 중심 모델링 방법론에서는 공정의 흐름이 설비를 기준으로 복잡하게 표현될 수밖에 없다. 반면 PMOS와 같은 공정 중심 모델링 방법론에서는 공정 간의 흐름을 화살표를 이용하여 직관적으로 정의하고 확인할 수 있다. 결과적으로, PMOS는 공정을 기준으로 공정 별 제품 및 설비 제약조건을 명확하게 정의하고 식별할 수 있다. 따라서 공정 중심으로 관리되고 있는 조선소 생산관리 체계와 호환성이 뛰어나다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기존 연구에서 제안한 PMOS의 장점을 활용하고, 활용 범위를 넓히기 위하여 각 공정이 하위 공정의 묶음을 가질 수 있도록 하였다. 이러한 개념은 시간적, 공간적 구분에 따라 계층적으로 구분되어 있는 조선소 생산관리 체계에 유연하게 적용할 수 있다는 장점을 가진다.

## 2.2 조선소 생산 시뮬레이션 시스템 정의

조선소 선박 건조 공정은 가공, 조립, 탑재, 의장 등으로 나눌 수 있으며, 종류에 따라 Flow shop과 Job shop이 혼재되어 있는 독특한 특징을 가지고 있다. 또한 작업 대상도 공정의 종류에 따라 자재, 부재, 블록, 탑재 블록, 선박 등으로 구분할 수 있다. 따라서 공정의 종류에 따라 시뮬레이션 모델을 구성하는 데이터의 형태와 사용되는 시뮬레이션 로직이 다르게 구성되어야 한다. 이는 조선소 생산 시뮬레이션 모델이 단일 모델로 표현되지만, 내부적으로는 여러 모델이 융합되어 있는 시스템 형태임을 의미한다<sup>10)</sup>.

조선소 선박 건조 공정을 시뮬레이션 하기 위해

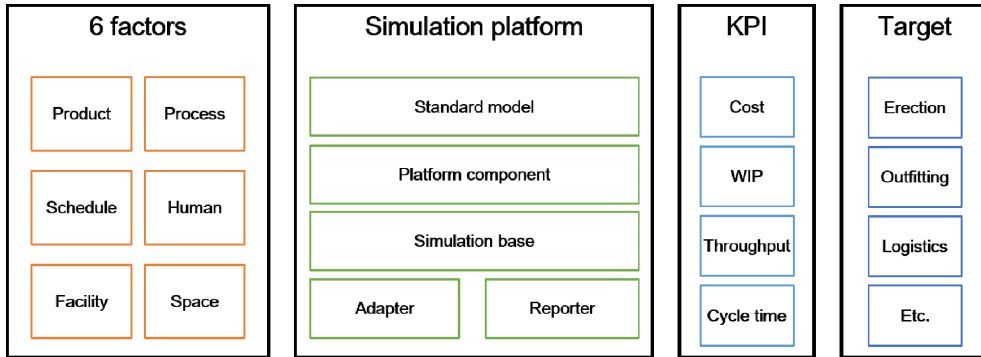


Fig. 1 Shipyards simulation framework

서는 시스템을 구성하는 단일 모델에 대해서도 시뮬레이션을 수행할 수 있어야 하며, 전체 시스템에 대해서도 시뮬레이션을 수행할 수 있어야 한다. 또한 시뮬레이션을 수행하는 명확한 목표나 목적을 정량적으로 표현해야 시뮬레이션을 수행하는 의의를 가질 수 있다. 이러한 과정을 체계적으로 수행하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1 같이 조선소 선박 건조 공정 전체에 적용할 수 있는 조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 정의하였다. 이 프레임워크는 선박 건조 공정 시뮬레이션을 체계적으로 수행하는 방법을 포함하고 있으며, 시뮬레이션 모델이 포함해야 하는 구성요소를 정의하고 있다. 또한 명확한 시뮬레이션 수행 목표를 설정할 수 있도록 조선소 KPI를 포함하고 있다.

조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크는 시뮬레이션 시스템의 입력 변수인 조선소 6대 요소(6 factors), 시뮬레이션 시스템을 구성하는 요소인 시뮬레이션 플랫폼, 시뮬레이션 목표와 이를 정량적으로 표현하기 위한 KPI로 구성된다. 이러한 시뮬레이션 프레임워크는 단위 공장 및 공정에 적용할 수도 있으며, 조선소 선박 건조 공정 전체에 적용할 수도 있다.

### 2.3 조선소 생산 시뮬레이션 시스템 상세

조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 통해 구축된 조선소 생산 시뮬레이션 시스템은 프레임워크의 구성요소를 모두 포함한다. 따라서 조선소 생산 시뮬레이션 시스템은 앞서 언급한 것과 같이 조선소 6대 요소, 시뮬레이션 플랫폼, KPI로 나누어 생각할 수 있다.

조선소 6대 요소는 시뮬레이션 모델을 구축하기 위하여 필요한 정보 모델을 의미한다. 조선소 시

뮬레이션 정보 모델은 제품, 공정, 자원, 일정 정보를 고려한 PPR-S(Product, process, resource and schedule) 정보 모델<sup>[11]</sup>과 이를 자원 관점에서 확장한 PPR3-S 정보 모델<sup>[12]</sup>이 있다. 본 연구에서는 PPR3-S 정보 모델 개념을 차용하여 조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 구성하는 조선소 6대 요소를 정의하였으며, 이는 제품(Product), 공정(Process), 계획(Schedule), 인력(Human), 설비(Facility), 공간(Space) 정보의 여섯 가지 정보로 구성된다.

제품 정보는 분석 대상에 따라 필요한 단계에서 추출할 수 있으며, 공정을 중심으로 해당 공정에 해당하는 WBS(Work breakdown structure)에 할당되어 있는 제품 정보를 식별하여 시뮬레이션 대상을 한정할 수 있다.

공정 정보는 분석 대상에 해당하는 공정을 의미하는데, 생산 공정뿐만 아니라 업무 프로세스나 관리 프로세스도 해당될 수 있다. 따라서 생산 관련 공정뿐만 아니라 경영, 개발, 고객 관리 등 전 분야에 걸친 프로세스도 포함된다. 계획 정보는 기본적으로 생산 관리에 해당하는 요소로써, 공정 정보와 밀접한 관계를 지니고 있는 일정 계획 정보를 의미한다.

인력 정보는 의사결정 단위로서의 조직과, 생산 리소스로서의 조직으로 구분된다. 시뮬레이션 요소로서의 인력 정보는 시뮬레이션 사용자를 결정하거나 공정을 수행하는 작업자의 최대 용량(Capacity)를 결정하는 요인으로 사용할 수 있다.

설비 정보는 설비의 유형에 따라 다양한 최대 용량 속성을 가지므로, 공정의 작업 시간을 결정하는 요인이 될 수 있다. 가장 상위 개념으로는 생산 설비와 운송 설비로 구분할 수 있고, 시뮬레이

션을 수행하는 제약 조건으로 활용할 수 있다.

마지막으로 공간 정보는 구조물의 배치 및 적치 정보를 나타내는 것으로 제품 생산에 해당하는 공간과 물류에 해당되는 공간으로 구분할 수 있다.

시뮬레이션 플랫폼(Simulation platform)은 기준 모델(Standard model), 플랫폼 구성요소(Platform component), 시뮬레이션 베이스(Simulation base), 입력 정보 수집 및 생성기(Input data collection & generation), 출력 정보 리포터(Output data reporter), 실시간 인터페이스(Real time interface)로 구성되어 있다.

기준 모델은 시뮬레이션 시스템의 호환성 및 유연성을 확보하기 위하여 선박 건조 관점에서 정의할 수 있는 시뮬레이션 표준 모델을 의미한다. 이는 공정을 중심으로 제품, 설비, 계획, 인력, 공간 정보에 대한 개체가 연관관계를 지니는 구조로 구성된다. 그리고 공정을 여러 계층 구조를 갖도록 하여 계층 별로 유연한 흐름이 형성될 수 있도록 구조화 한다.

플랫폼 구성요소는 이산 사건으로 표현되는 이벤트 처리기를 제외한 시뮬레이션의 특별한 요구 사항을 처리하는 부분으로, 시간에 따른 사건 처리의 다양한 제약 조건들을 연산하거나 선택할 수 있는 알고리즘으로 구성된다.

다음으로 시뮬레이션 베이스는 시뮬레이션 연산을 수행하는 부분으로 DES(Discrete event system) 시뮬레이션 커널이 핵심이다. DES 시뮬레이션 커널은 대기행렬 이론을 기반으로 DES 시뮬레이션 연산을 수행하는 부분이다. 그 밖에 DES 시뮬레이션 커널을 중심으로 해당 커널에 적합한 구성으로 시뮬레이션 모델을 치환해주는 통합 베이스(Integration base)와 시뮬레이션 모델 라이브러리와 같은 제조 베이스(Manufacturing base)로 구성된다.

앞서 설명한 플랫폼 구성요소와 시뮬레이션 베이스는 특정 시뮬레이션 소프트웨어나 표현방법에 종속되어 있지 않다. 다만, 본 연구에서 제안하는 프레임워크의 활용도를 높이기 위해서는 플랫폼 구성요소와 시뮬레이션 베이스를 고려한 소프트웨어를 활용하는 것이 유용하다.

입력 정보 수집 및 생성기는 외부 시스템으로부터 입력 데이터를 추출하여 시뮬레이션 데이터를 생성하는 부분으로 외부 시스템과 연결되는 어댑터(Adapter), 필요한 데이터를 선별하는 선별기

(Gathering), 그리고 선별된 데이터를 조합하여 시뮬레이션 수행이 가능한 데이터를 생성하는 생성기(Generator)로 구성된다.

본 연구에서는 조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크에 맞추어 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법을 적용한 별도의 소프트웨어를 사용하였다. 이러한 경우에는 시뮬레이션 모델이나 표현 방법에 따른 별도의 어댑터가 필요하지 않다. 하지만 기존의 상용 시뮬레이션 소프트웨어를 본 연구에서 제안하는 프레임워크에 맞춰서 활용하고자 하는 경우에는 별도의 시뮬레이션 모델 변환용 어댑터가 필요할 수 있다.

마지막으로 출력 정보 리포터는 시뮬레이션 수행 결과를 처리하는 부분으로 사용자가 사전에 정의한 양식에 따라 결과를 출력하는 리포트 모델러(Report modeler), 시뮬레이션 결과를 분석하여 통계 결과나 추론 결과를 알려주는 분석기(Analyzer), 이러한 결과 데이터를 외부 시스템으로 보내주는 출력기(Exporter)로 구성된다.

조선 생산 시뮬레이션 프레임워크 구성 요소 중 KPI는 시뮬레이션을 통해 어떠한 정보를 식별할 것인지를 정의한다. 가령, 공장 별 리드타임과 산출량을 알고자 할 경우 미리 정의된 KPI(공장 별 리드타임, 단위 시간당 산출량)를 선택하여 시뮬레이션을 수행하고 결과를 분석할 수 있다. 조선 생산 시뮬레이션 프레임워크를 바탕으로 사용자가 확인하고자 하는 목표를 선택하고 실제로 시뮬레이션 모델을 구축하고 활용하는 방법에 대해서는 다음 절에서 설명하도록 한다.

#### 2.4 조선소 생산 시뮬레이션 시스템 활용

조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 이용하여 시뮬레이션 시스템을 구축하는 프로세스는 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다. 시뮬레이션 요구사항에 따라 시뮬레이션 시스템 적용 대상이 설정되고, 해당 공정에서 검증 및 확인하고자 하는 KPI를 선정한다. 이 KPI는 조선소 생산관리 KPI 데이터베이스에서 선정할 수도 있고, KPI를 도출하는 방법에 의하여 체계적으로 도출할 수도 있다.

조선소를 비롯한 대부분의 기업에서는 기업의 체계적인 경영 및 생산 관리를 위하여 KPI를 설정하고 관리하고 있다. 특히 조선소에서는 선박 건조 핵심 공정에 따라 KPI를 구분하여 정의할 수 있다. 선박 건조 공정 중 주요 공정에 해당하는

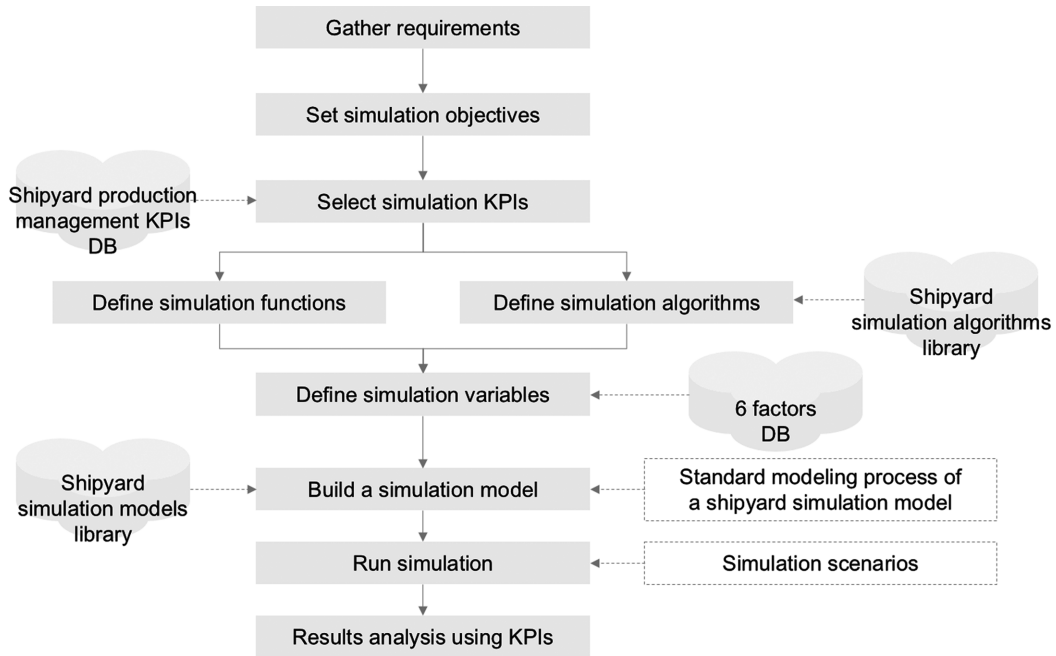


Fig. 2 Construction process of the shipyard simulation system

가공 공정에서는 공기 준수율, Man hour 당 생산성, 설비 부하율, 진도 준수율 등을 KPI로 정의할 수 있으며, 도장 공정에서는 도료 손실률 등을 추가로 관리할 수 있다. 조선소의 주요 병목 공정이 발생하는 도크에서는 주로 도크의 회전율을 KPI로 설정하여 관리한다. 그 밖에도 Woo and Song<sup>[8]</sup>의 연구에서는 조선소의 다양한 생산관리 단계를 기준으로 KPI를 체계적으로 도출하는 방법에 대하여 논의하고 있다.

KPI를 정의한 이후 시뮬레이션 시스템에서 요구되는 기능 및 알고리즘을 사전에 정의된 라이브러리에서 가져온다. 시뮬레이션 시스템의 기능은 최종적으로 KPI를 값으로 산출할 수 있는 기능을 포함해야 하며, 알고리즘 영역에서는 생산관리 방법론과 시뮬레이션 시스템 환경을 구현하기 위한 알고리즘 등의 시뮬레이션 시스템에서 요구되는 로직이 해당된다.

시뮬레이션 시스템의 기능과 알고리즘을 정의한 후에는 시뮬레이션 모델을 구축하는 모델링 단계가 수행된다. 이때 사용되는 모델은 기능 및 알고리즘과 마찬가지로 사전에 정의된 라이브러리를 참조하여 구성한다. 구축된 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 수행된 결과는 KPI를 이용하여 정량화할 수 있다. 도출된 KPI를 이용하여

시뮬레이션 수행 결과를 정량적으로 확인할 수 있으며, 시나리오에 따른 시뮬레이션 수행 결과를 정량적으로 비교할 수 있다. 시뮬레이션 시나리오, 시뮬레이션 수행, 결과 분석은 하나의 피드백 루프를 구성한다.

일련의 과정 중 데이터베이스나 라이브러리와 연동되는 요소는 다양한 시뮬레이션 시스템을 구축하며 추가로 정보를 쌓을 수 있기 때문에 재사용하기 용이하다. 시뮬레이션 시스템에 사용된 모델 또한 라이브러리로 하여 관리할 수 있기 때문에 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 바탕으로 구축된 시뮬레이션 시스템은 향후 재사용성이 뛰어나다.

### 3. 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론을 이용한 중일정계획 검증 시뮬레이션 모델

#### 3.1 시뮬레이션 모델 개요

조선소 선박 건조 공정 중 핵심 공정인 조립 공정은 작업 정반에 제품을 배치하여 세부 공정을 진행한다. 이후 공정에 필요한 작업자와 설비가 투입되어 공정을 진행하며, 이러한 공정은 기존의 상용 시뮬레이션 소프트웨어에서 사용하고 있는 리소스 중심의 모델링 방법보다 본 연구에서 제안하

는 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용하는 것이 적합하다.

Job shop 형태를 가지는 조선소 조립 공정의 경우에는 동일한 작업을 수행하는 설비(작업 정반)의 수가 많기 때문에 설비 중심의 모델링 방법론을 적용한 경우에는 설비의 연결 관계를 모두 표현해야 할 뿐만 아니라, 투입되는 제품의 종류에 따라 서로 다른 로직이 적용될 수 있도록 리소스 작동 규칙 등을 스크립트 형태로 작성해야 한다. Fig. 3은 설비 중심 모델링 방법으로 조선소 조립 공정 시뮬레이션 모델의 구성도를 표현한 것이다. 화살표로 표현된 연결 관계는 설비 간 선행/후행 관계를 정의한 것이다. 이러한 시뮬레이션 모델을 구성하기 위해서는 정반의 부하를 평준화하거나, 정반의 활용률을 높일 수 있도록 정반에 제품을 분배하여 할당하는 로직이 설비 작동 로직에 입력되어 있어야 한다. 또한 각 정반은 중일정계획 하위 액티비티인 “취부-용접-사상-검사”를 수행할 수 있도록 하위 액티비티가 정의되어 있어야

하며, 입고된 제품을 정반으로 이동할 때, 정반에서 턴오버 작업을 수행할 때에는 트랜스포터나 지게차, 대차와 같은 이동설비를 호출하여 공정을 수행해야 한다. 이를 기존의 설비 중심 모델링 방법으로 구현하기 위해서는 모든 이동 설비에 작동 로직이 입력되어 있어야 한다.

동일한 공정을 공정 중심의 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용하면, 간단하고 편리하게 표현할 수 있다. Fig. 4은 공정 중심 모델링 방법을 이용하여 조립 공정 시뮬레이션 모델을 구성한 것으로, 입고에서부터 출고까지의 공정을 선행/후행 작업 관계를 고려하여 표현하고 있다. 각 공정에 필요한 설비는 따로 표현하지 않았으며, 이를 제약 조건으로 입력하여 각 공정에서 필요한 경우 호출하여 사용하는 것을 기본으로 한다. 이와 같이 공정 중심 모델링 방법을 이용하면, 동일한 공정을 수행하는 설비를 중복하여 모델링 하지 않아도 되며, 설비 간의 복잡한 연결관계를 정의하지 않아도 된다는 장점을 가지고 있다. 또한, 조선소에서 생산

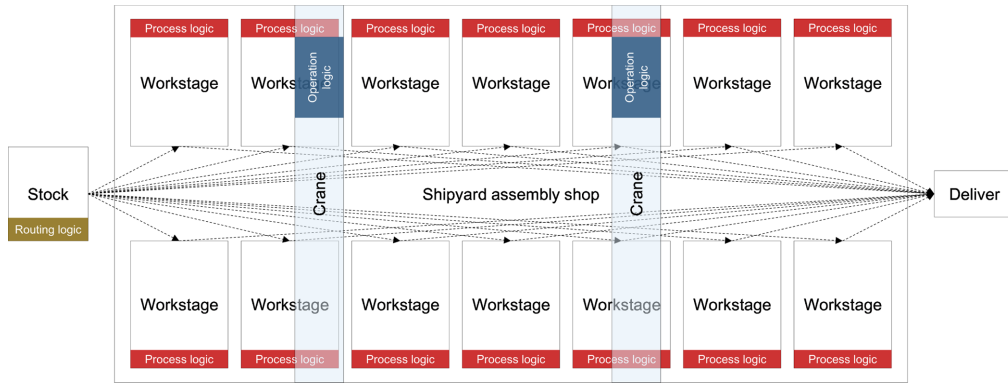


Fig. 3 Resource-centric simulation model (Assembly shop)

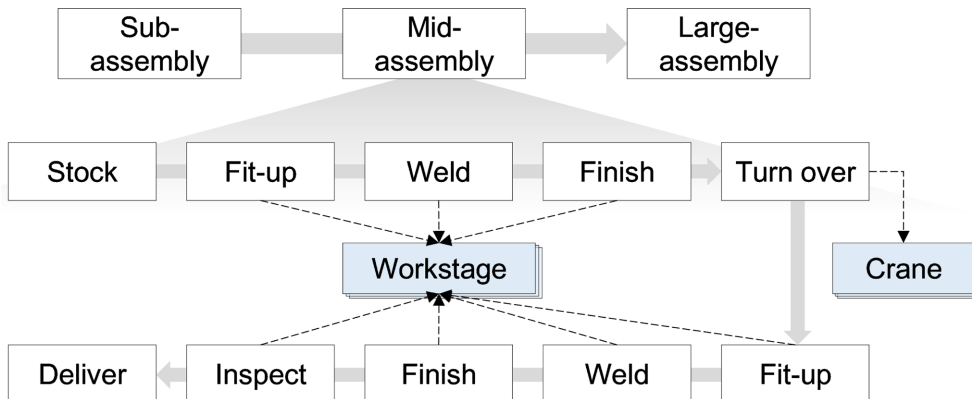


Fig. 4 Process-centric simulation model (Assembly shop)

공정을 관리하는 단위인 공정을 기준으로 시뮬레이션 모델을 구성하여 현업 담당자의 이해도를 향상시킬 수 있다는 장점도 가지고 있다.

다음 절에서는 이러한 방법론을 적용한 프로그램을 이용하여 실제로 조립 공정을 모델링 한 결과와 시뮬레이션을 수행하고 분석한 결과를 서술하도록 한다.

### 3.2 시뮬레이션 모델링 결과

본 연구에서는 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용한 프로그램을 이용하여 조선소 중일 정계획을 검증하기 위한 시뮬레이션 모델을 만들고, 시스템을 구축하였다. 시뮬레이션 시스템은 공정 정보, 공장 정보, 제품 정보, 설비 정보 등으로 구성된다. 공정 정보는 최상위 공정에 해당하는 [선박 생산] 공정을 정의하였으며, 하위 공정으로 [가공], [조립], [도장], [의장] 등을 정의하였

다. 공장은 [조선소], [공장], [작업장]으로 구분하였으며, 제품 정보는 [호선], [대조립블록], [중조립블록], [소조립블록], [판넬], [부재]로 구분하였다. [소조립블록], [판넬], [부재]는 송선 정보에 따라 세분화하였으며, 제품 정보는 공정의 제약 조건이나 요구 조건으로 활용된다. 마지막으로 설비 정보는 조선소에서 사용하는 설비를 정의할 수 있도록 크레인의 종류를 사전에 선언하였다. 설비 정보 역시 공정의 제약조건에 사용된다.

시뮬레이션 시스템에서 공장은 공정이 수행되는 물리적인 공간을 나타낸다. 제품 정보는 조선소 조립 BOM(Bill of materials) 데이터를 이용하여 생성하였으며, 블록 계층 구조와 동일한 계층 구조를 갖는다. 마지막으로 공정 정보는 공정의 선행/후행 연결관계를 가지고 있으며, 연결관계가 정의되어 있는 공정의 묶음은 해당 공정이 수행되는 물리적인 장소를 지정한다. 시뮬레이션 모델에 정

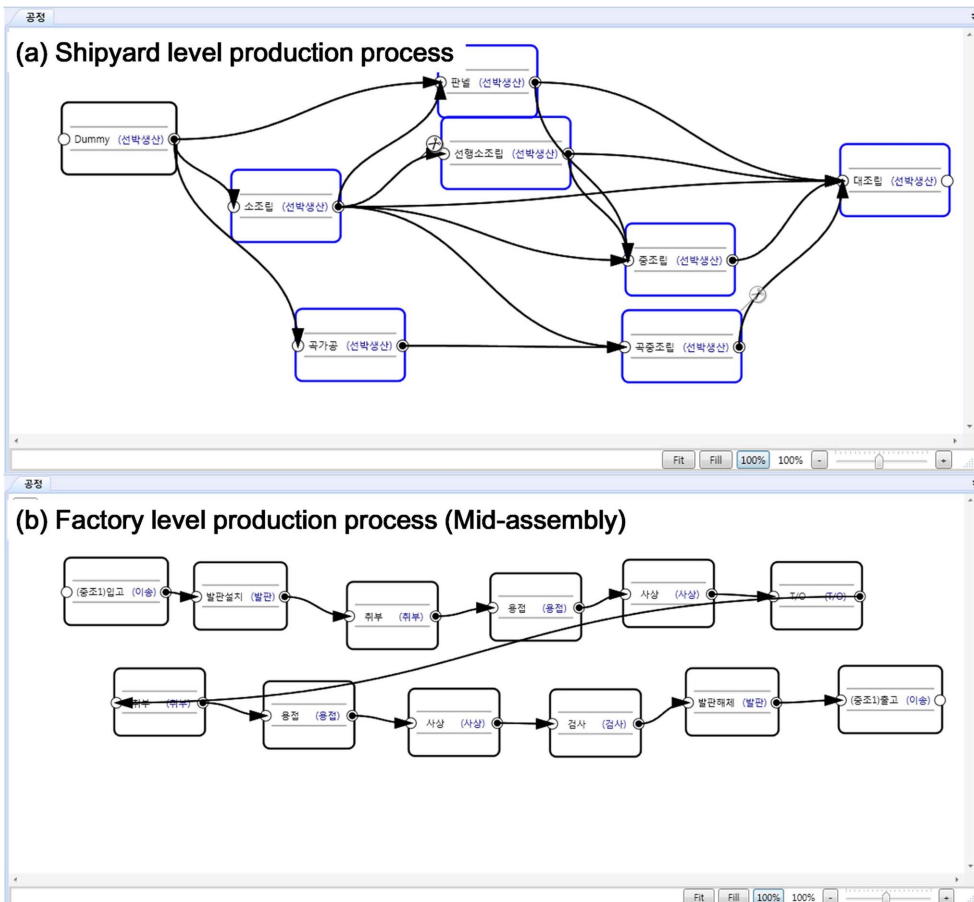


Fig. 5 Simulation model for validating the master plan (Assembly process)



의되어 있는 모든 정보는 인자를 정의하여 필요한 속성을 정의하거나 표시할 수 있으며, 제품의 물리적 속성, 설비의 용량, 공장의 기하학적 정보 등을 정의하는데 사용된다. Fig. 5(a)는 시뮬레이션 모델의 최상위 공정을 나타낸다. 본 모델은 선박 건조 공정 중 소조립 공정부터 대조립 공정까지의 조립, 가공, 도장 공정을 포함하고 있다. 최상위 공정에 정의된 공정들은 모두 하위 공정을 갖는다. Fig. 5(b)는 하위 공정을 나타내며, Fig. 5(a)의 최상위 공정이 호출되면, 해당 공정의 하위 공정이 시작되고, 하위 공정이 완료되면, 최상위 공정이 완료된다. 본 시뮬레이션 모델에서는 증일정계획 검증을 위하여 WOD(Work order) 단계까지만 공정을 정의하였지만, 입력되는 정보의 단계에 따라 하위 공정까지 모델을 구성할 수도 있다.

3.3 시뮬레이션 수행 결과

조선소 조립 공정 시뮬레이션 시스템의 시뮬레이션 수행 결과를 확인하기 위하여 다음과 같은 조건 아래에서 조립 공정이 수행되는 정반의 개수를 변경하였다. 총 10개의 블록이 조립되는 상황을 가정하였으며, 취부, 용접, 사상, 검사 공정의 실행 시간(Cycle time)은 조선소 실적자료를 분석하여 정규분포로 가정하여 입력하였다. 정반의 개수가 1개일 때와 5개일 때의 시뮬레이션 수행 결과를 비교하였으며, [턴오버] 공정에 사용되는 크레인 수는 1개로 고정하였다. 이를 제품 별 작업 시간으로 구분하여 나타내면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 검정색으로 표시된 항목은 정반 개수가 1개

일 때, 각 블록의 작업시간을 나타내며, 흰색으로 표시된 항목은 정반 개수가 5개일 때, 각 블록의 작업시간을 나타낸다. 또한 막대의 좌측에 표시된 날짜는 각 작업이 착수된 날짜를 표시하고 있으며, 막대에 표시된 숫자는 각 작업의 작업일을 의미한다.

결과를 분석해보면, 블록 10개에 대하여 첫 공정이 착수하고 마지막 공정이 종료되기까지 걸린 기간이 정반의 개수가 1개일 때는 총 1235일, 정반의 개수가 5개일 때는 총 387일이 소요된 것을 확인할 수 있다. 추가로 시뮬레이션 조건을 변경하여 수행한 결과, 크레인 수를 변경하지 않고 정반의 개수를 10개로 증가시켰을 때에는 전체 작업일이 총 207일이 소요된 것을 확인하였다. 정반의 개수를 10개로 유지하고 크레인 수를 5개로 증가시킨 경우에는 전체 작업일이 총 80일로 크게 단축되었음을 확인하였다.

이러한 결과를 통해 제한된 자원인 정반과 크레인의 조건에 따라 시뮬레이션 결과가 자명한 방향으로 도출됨을 확인할 수 있으며, 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법을 적용하였기 때문에 설비 제약조건은 단순히 설비 제약 조건을 추가하는 것으로 변경할 수 있음을 확인하였다.

그 밖에도 공정에 할당된 설비의 점유 정보를 바탕으로 시뮬레이션 모델에서 정의한 설비 별 가동률을 계산해보았다. 시뮬레이션 조건 별 설비의 가동률을 계산하면, Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 검정색으로 표시된 항목은 정반 10개, 크레인 1개인

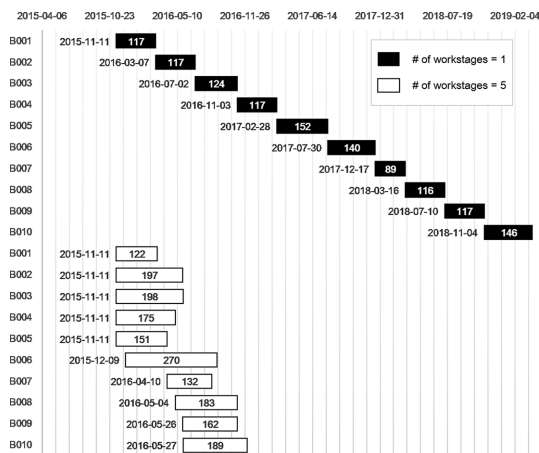


Fig. 6 Shipyard master plan simulation results(Gantt chart)

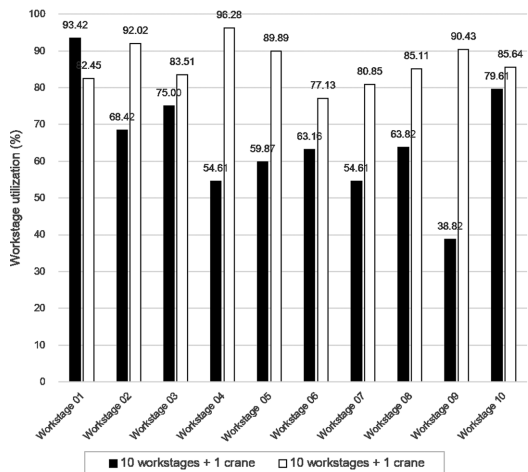


Fig. 7 Shipyard master plan simulation results(Resource utilization)

조건에서 조선소 조립 공정 시뮬레이션 모델을 수행한 결과를 바탕으로 정반 별 가동률을 계산한 결과이고, 흰색으로 표시된 항목은 크레인을 5개로 증가시켰을 때 정반 별 가동률을 나타내고 있다. 정반 개수가 동일할 때, 크레인의 수를 증가시키면 전반적으로 정반의 가동률이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 조선소 선박 건조 공정 시뮬레이션 연구의 한계점을 극복하기 위한 방법을 제안하였다. 먼저 선박 건조 공정에 시뮬레이션 기술을 적용하고 활용하는 절차를 체계적으로 수행할 수 있는 조선소 생산 시뮬레이션 프레임워크를 제안하였다. 이 프레임워크는 시뮬레이션을 수행하는 데 필요한 정보 모델인 조선소 6대 요소(6 factors), 시뮬레이션 시스템을 구축하기 위한 구성요소를 정의하는 시뮬레이션 플랫폼, 시뮬레이션 목표를 설정하기 위한 KPI로 구분할 수 있다. 이러한 프레임워크를 이용하면 시뮬레이션 모델의 재사용성을 극대화할 수 있으며, KPI를 통하여 명확한 시뮬레이션 목표를 설정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

또한, 조선소 선박 건조 공정을 표현하는데 용이한 공정 중심 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용한 프로그램을 이용하여 중일정계획 검증용 생산 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. 이를 통하여 기존에 제안한 시뮬레이션 모델링 방법론으로 조선소 조립 공정을 표현하였으며, 기존의 설비 중심 시뮬레이션 모델링 방법론에 비하여 직관적으로 이해하기 쉽고, 간단하게 표현할 수 있음을 확인하였다. 마지막으로, 구축한 시뮬레이션 시스템을 이용하여 설비 조건을 변경하는 시나리오에 따른 시뮬레이션 수행 결과를 확인하였다.

본 연구에서 제안하는 프레임워크와 시뮬레이션 모델링 방법론을 적용하면, 조선소 선박 건조 공정을 간단하고 직관적으로 표현할 수 있으며, 재사용성이 뛰어나고 체계적인 시뮬레이션 모델과 시스템을 구축할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사

업 “중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발” 과제 (과제번호: 10050495)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사 드립니다.

#### References

1. Lu, R.F. and Sundaram, S., 2002, Manufacturing Process Modeling of Boeing 747 Moving Line Concepts, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp.1041-1045.
2. Butterfield, J., Crosby, S., Curran, R., Price, M., Armstrong, C.G., Raghunathan, S., McAleenan, D. and Gibson, C., 2007, Optimization of Aircraft Fuselage Assembly Process Using Digital Manufacturing, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 7(3), pp.269-275.
3. Jeong, Y., Yim, H., Jee, H. and Lee, K., 2008, Manufacturing Line Optimization for Discrete Event Simulation and Genetic Algorithm, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(1), pp.67-75.
4. Song, Y.J., Lee, D.K., Choe, S.W., Woo, J.H. and Shin, J.G., 2009, A Simulation-Based Capacity Analysis of a Block-Assembly Process in Ship Production Planning, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(1), pp.78-86.
5. Hwang, I.H., Noh, J., Lee, K.K. and Shin, J., 2010, Short-term Scheduling Optimization for Subassembly Line in Ship Production Using Simulated Annealing, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(1), pp.73-82.
6. Song, J.K., 2013, *Process Modeling Methodology for Shipyard Production Simulation*, Master's Degree Thesis, Seoul National University.
7. Lee, D.K., Kim, Y., Hwang, I.H., Oh, D.K. and Shin, J.G., 2014, Study on a Process-centric Modeling Methodology for Virtual Manufacturing of Ships and Offshore Structures in Shipyards, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), pp.621-633.
8. Woo, J.H. and Song, Y.J., 2014, Systematisation of Ship Production Management and Case Study for Ship Block Assembly Factory. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(4), pp.333-347.
9. Hopp, W.J. and Spearman, M.L., 2008, *Factory physics 3rd Edition*. McGraw-Hill.
10. Lee, P., Lee, D.K., Back, M.G., Shin, J.G. and Choi, Y.R., 2012, An Implementation of the Unit Model for Manufacturing Simulation of Shipyard Assembly Shop, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*,

pp.352-356.

11. 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.

12. Lee, D.K., 2013, *Study on the PPR3-S Information-based Neutral Model and System for Integration and Extension of Shipbuilding Production Planning Simulations*, Ph.D. Thesis, Seoul National University.



**정 용 국**

2011년 서울대학교 조선해양공학과 학사  
 2011년~현재 서울대학교 조선해양공학과 석박사통합과정  
 관심분야: 레이아웃 및 공간배치, 조선소 시뮬레이션, 최적화 알고리즘



**우 종 훈**

1998년 서울대학교 조선해양공학과 학사  
 2000년 서울대학교 조선해양공학과 석사  
 2005년 서울대학교 조선해양공학과 박사  
 2012년~현재 한국해양대학교 조선해양시스템공학부 교수  
 관심분야: Digital Manufacturing, 생산관리, 프로젝트관리



**오 대 균**

1999년 충남대학교 선박해양공학 학사  
 2008년 서울대학교 조선해양공학 박사  
 2009년 서울대학교 해양시스템공학 연구소 선임연구원  
 2009년~현재 목포해양대학교 조선해양공학과 부교수  
 관심분야: 진산선박설계 및 생산, 함정설계, 레저선박설계



**신 종 계**

1977년 서울대학교 조선해양공학과 학사  
 1979년 서울대학교 조선해양공학과 석사  
 1988년 Massachusetts Institute of Technology Ocean Engineering Ph.D.  
 1997년~현재 서울대학교 조선해양공학과 교수  
 관심분야: 조선해양 생산시스템