

# 가상생산기술을 이용한 시뮬레이션 기반의 선박설계 및 생산체계의 수립

김홍태<sup>1\*</sup> · 이종갑<sup>1</sup> · 황규옥<sup>2</sup> · 장동식<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소 / <sup>2</sup>삼성중공업 거제조선소

<sup>3</sup>고려대학교 산업시스템정보공학과

## Establishing Methodology for Simulation-based Ship Design and Construction Using Virtual Manufacturing Technologies

Hong Tae Kim<sup>1</sup> · Jong-Gap Lee<sup>1</sup> · Kyu-Ok Hwang<sup>2</sup> · Dong-Sik Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering/KORDI, Daejeon, 305-600

<sup>2</sup>Samsung Heavy Industry Co., LTD. Koje Shipyard, Kyungnam, 656-710

<sup>3</sup>Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

Information technologies centered on the internet in the area of shipbuilding and marine engineering further incur the needs to increase the flexibility of the organization, the dispersion of work process, and the use of out sourcing, as well as the globalization of related market. In near future, electronic commerce and concurrent engineering based on CALS/EC and the Internet will be an integral part of the environment and upon these changes, ship design and construction will become a computer supported cooperative work of many dispersed and specialized groups. As the means of active response to these environmental changes, many new concepts such as digital shipbuilding, virtual shipyard, and simulation based design are appearing. In this paper, the concept and current status of digital manufacturing in general manufacturing industry will be reviewed. Then, related technologies, area of application and methods of digital manufacturing in shipbuilding and marine industries are presented. In addition, virtual assembly simulation system for shipbuilding(VASSS), a tool for crane operability and block erection simulation in virtual dock based on 3D product model, will be introduced.

**Keywords:** virtual manufacturing, digital shipbuilding, simulation based design

### 1. 서론

세계를 단일시장으로 하고 있는 조선산업 및 해양 분야에서 인터넷을 중심으로 한 정보통신기술은 관련 시장의 글로벌화

는 물론 조직의 유연화, 일의 분산화, 외부용역의 확대 등을 촉진시키고 있다. 멀지 않은 장래에 CALS/EC의 개념과 함께 인터넷 기반의 전자상거래(electronic commerce) 및 동시공학(concurrent engineering) 환경이 정착될 것이며, 이를 토대로 지금까지 조선

이 논문은 산업자원부와 정보통신부의 전통산업의 IT 접목기술개발사업(고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법개발)의 연구비 지원에 의한 것임.

\* 연락저자: 김홍태 선임연구원, 305-600 대전시 유성구 장동 171 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, Fax : 042-868-7236,

e-mail : kht@kriso.re.kr

2002년 3월 접수, 1회 수정 후 2002년 6월 게재 확정.

소 중심의 선박설계 및 생산은 분산된 전문화된 집단에 의한 협동작업체제(computer supported cooperative work)로 전환될 것이다. 이러한 기술환경의 변화에 능동적으로 대응하기 위한 구체적인 수단으로 디지털 선박건조(digital shipbuilding), 가상조선소(virtual shipyard) 및 시뮬레이션 기반의 생산(simulation based manufacturing)과 같은 새로운 개념의 엔지니어링 기술들이 출현하고 있다.

이러한 새로운 개념들의 목적은 선박 생산의 전 과정을 컴퓨터 모델화하고, 시뮬레이션 및 가상 현실 등의 다양한 정보 기술들을 활용하여 생산의 전 과정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증, 효율적 의사결정을 수행하고자 함이다.

본 논문에서는 이러한 시뮬레이션 기반의 제조환경을 구축하기 위해 디지털 선박건조와 관련된 각국의 연구현황과 조선 생산공정에 적용을 위한 체계 수립이 이루어졌다. 또, 사례연구로서 3D CAD 시스템과 가상 시뮬레이션 기술을 이용하여, 조선소 설비의 운용효율 및 장비교체시간을 감안한 탑재순서를 평가할 수 있는 VASSS(Virtual Assembly Simulation System for Shipbuilding)에 대한 내용을 정리하였다.

## 2. 가상생산 기술

기존의 생산시스템 관련기술의 발전은 자동화에서 출발하여 유연생산시스템(flexible manufacturing system), 컴퓨터통합생산(computer integrated manufacturing)을 실현하였고, 최근 들어 지능형 생산시스템(intelligent manufacturing system)의 구현을 위한 연구개발이 진행되고 있다(Angster, 1997). 생산시스템 기술 개발이 지능형 생산의 단계에 도달함에 따라 근래에 들어 가상생산(virtual manufacturing), 가상공장(virtual factory) 그리고 가상공학(virtual engineering)과 같은 용어들이 등장하게 되었다. 가상생산 기술은 광범위한 엔지니어링 분야와 다양한 문제들을 대상으로 하며, 그 적용 대상이나 방법에 따라 여러가지 다른 이름으로 불리고 있다.

가상생산 기술은 “생산시스템의 물리적, 논리적 구성요소들과 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 컴퓨터 모델을 구성하고, 3D CAD, 시뮬레이션 등 다양한 새로운 컴퓨터 기술들을 활용하여 생산의 전과정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증, 효율적 의사결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 생산을 실현하고자 하는 기술”이다(노상도 외, 2001). 즉, 전통적인 제품 개발 과정이 설계(Design) → 시제품 제작(Build) → 시험(Test) → 수정(Fix)을 거치고 제품을 생산하는 순서를 거쳤다면, 가상생산을 통하여 설계(Design) → 검증(Verify) → 배포(Release) → 시제품 제작(Build)의 방법으로 제품을 개발, 생산하는 것이다(Shukla et al., 1996; Kraftcheck, 1997).

가상생산 기술의 적용이 활발하게 이루어지고 있는 자동차 부문의 적용 현황을 살펴보면, 미국의 경우 GM, Ford, Daimler Chrysler 등의 3사가 차세대 기술로서 가상생산 기술과 그 기반

이 되는 DMU(Digital Mock-Up) 기술을 활발하게 개발하여 적용하고 있다. Daimler Chrysler의 경우 가상 엔지니어링 기술을 활발히 적용하여, 이미 1998년에 다수의 차종에 대하여 컴퓨터 상에서 설계하고, 시험하고, 제조를 준비하고, 제작을 완전하게 수행한 사례를 발표하였다.

현재 미국의 자동차 회사들은 가상생산의 준비가 되는 DMU 구성 단계를 완료하고, 이를 기반으로 비용 절감, 공정 개선, 고부가가치 창출, 개발 및 제작기간 단축을 통한 경쟁력 강화를 위하여 가상생산 기술 적용을 활발히 추진하고 있다. 일본과 유럽의 자동차 회사들도 DMU의 구성과 표준화를 통한 공유, Digital 정보를 이용한 가상생산의 적용을 통한 신차 개발 기간 및 비용절감을 추진하고 있다. TOYOTA의 V-COMM (Visual and Virtual Communication), CASE(Computer Aided Simultaneous Engineering) 프로젝트 등이 그 좋은 예이다.

## 3. 디지털 선박 건조공법

선박의 수주로부터 인도까지의 시간이 경과함에 따라 진행되는 공정순서는 설계공정과 생산공정으로 나눌 수 있다. 설계공정은 수주하기 전에 선주와의 협상을 위한 전적설계, 선주로부터 제시된 선박의 성능을 만족하도록 하기 위한 기본설계 및 기능 설계적 측면에서 작성되는 생산설계 과정으로 구분된다. 한편, 생산공정은 전처리, 가공, 조립, 선행의장, 도장, 선행 탑재, 탑재, 의장 등 다단계 제조 프로세스가 장기간에 걸쳐 상당히 복잡하게 이루어진다. <그림 1>은 조선공정을 구성하고 있는 각각의 요소공정들의 흐름을 나타낸 것이다.

이러한 조선공정은 일반 제조업의 생산공정에 비해 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 1) 고객의 요구에 따라 설계가 진행되므로, 선종 및 선형이 다양하고 표준화가 어렵다.
- 2) 설계가 진행중인 상태에서 자재조달 및 생산이 착수되므로

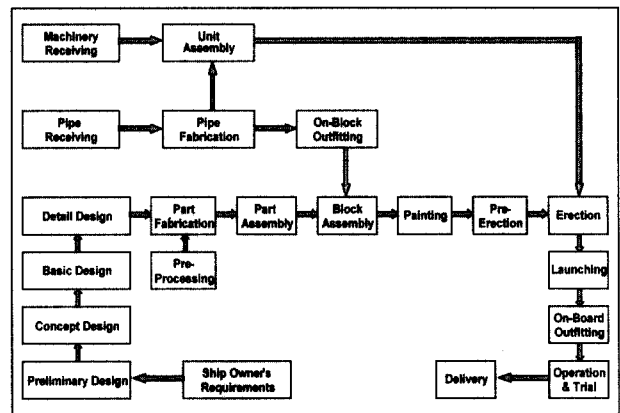


그림 1. 조선 생산공정의 흐름.

로, 생산단계에서 엔지니어링 변화와 자재 대체가 이루어진다.

- 3) 기계화 및 자동화가 어려운 노동집약적 산업으로 많은 공정을 작업자에 의존함으로써 정성적인 정보가 많이 발생한다.
- 4) 부재가 무겁고 큰 반면, 요구되는 정도(accuracy)가 높고 구조가 복잡하여 생산공정의 표준화가 어렵다.
- 5) 사양(specification)이 다른 여러 척의 선박이 동시에 건조되며, 선박별로 관리에 필요한 정보의 양이 매우 많다.

위와 같은 이유로 인해, 다른 제조업에서와 같이 제품의 유효성 및 품질의 검증을 위한 시제품의 제작이 비용 및 시간적인 측면에서 현실적으로 불가능하다. 따라서 조선공정의 효율화를 위해서는 정밀한 설계 및 생산정보의 추출이 필요하며, 이렇게 추출된 정보들의 상호교환 및 통합과 시뮬레이션에 기반한 제조시스템의 구축이 필요하다.

디지털 선박건조 공법은 광의의 의미로 선박의 개념 설계에서부터 생산 및 운용유지까지의 전 과정을 컴퓨터 속에서 만들고 시뮬레이션 해 나아가는 과정이라고 정의할 수 있다. 또, 생산지향적인 관점에서는 선박의 생산과정을 구현할 수 있는 컴퓨터 모델을 만들고, 이 모델을 이용해 전체 생산과정을 하나의 통합된 데이터베이스를 통하여 구현해 나아가는 과정이라고도 할 수 있다.

결국, 일반 제조업에서의 가상 생산의 개념과 유사하게, 디지털 선박건조 공법은 각종 정보기술들을 활용하여 각종 시행착오를 사전에 검증, 해결하고 적절한 시점에 필요한 사람들에게 올바른 정보를 제공, 정확한 분석을 통한 효율적인 의사결정을 지원함으로써 시간과 비용을 단축하고자 하는 생산 방법론이라고 말할 수 있다. 디지털 선박건조를 위한 접근 방법은 일반 제조업에서의 가상생산시스템과 마찬가지로, 적용대상의 관점에서 설계중심(design centered), 생산중심(production centered) 및 제어중심(control centered)으로 구분할 수 있다. 즉, 적용분야에 따라 위의 접근 방법을 고려하여 적합한 디지털 선박건조 시스템을 구축함으로써 최대의 효과를 얻을 수 있다고 판단된다.

디지털 선박건조 공법은 조선공정 전 분야에 걸친 통합된 환경을 제공해 주고, 이를 통하여 궁극적으로는 가상 조선소의 구현을 위한 기반기술로 응용될 수 있다(Baum and Ramakrishnan, 1997; Behning et al., 1997). 이러한 디지털 선박건조의 기반이 되는 기술은 시뮬레이션, CAD, 가상화 기술을 중심으로 한 각종 정보기술들이다. 좀 더 구체적으로 생산부분의 여러 엔지니어링 분야별로 실용화를 위한 관련 기술이 적용상의 문제점을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다(Kim, 1998).

기술적인 측면에서 대표적인 문제로는 통합과 표준화이다. CAD/CAM/CAE의 통합은 선박설계공학의 전반적인 스펙트럼을 극복해야 하는 중요한 요소이다. 선박 설계과정에는 50개 이상의 서로 다른 기술분야가 통합되어야 한다. 기존의 CAE 프로그램들은 제품모델과의 직접적인 연계를 위 개선 혹은 확

장되어야 하며, 제품모델도 기능이 보완되어야 한다.

소프트웨어 표준과 데이터교환표준도 중요한 문제이다. 특히, 서로 다른 CAD시스템 간의 정보교환을 위한 표준, 즉 STEP(Standard for the Exchange of Product Data)은 디지털 조선의 실현을 위한 필수적인 요소이다. Standard-based 시스템의 필요성과 장점들은 많은 다른 분야에서 증명되고 있고 표준언어의 사용, 개방형구조의 컴퓨터시스템, 네트워킹의 성장은 이미 많은 문제를 해결하고 있으며, 선박분야의 STEP 표준의 개발도 꾸준히 진행되고 있다.

#### 4. 관련 연구현황 및 응용사례

최근 들어 타 산업에 비하여 상대적으로 노동집약적이고 경험 의존적이었던 조선산업은 컴퓨터기술을 바탕으로 한 정보기술의 발달과 함께 지식 및 기술집약적 산업으로의 전환을 위해 국가적 차원에서 연구개발이 이루어지고 있다.

##### 4.1 미국

미국은 해군의 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)를 중심으로 새로운 시스템의 설계 및 개발에 관련된 비용의 감소, 개발기간의 단축, 위험요소의 확인 및 감소 등을 이룰 수 있는 설계 시스템/환경을 개발하는 것을 목적으로 SBD 프로그램을 진행하고 있다(Jones and Hankinson, 1994). 1996년부터 시작된 SBD 프로그램의 Phase I에서는 SBD를 구현하기 위한 환경 구축이 이루어졌고, Phase II는 Phase I 단계의 개념 검증을 지원하는 SBD 아키텍처의 개발이 이루어지고 있다(Carder, 1998; Fast, 1996). DARPA는 타당성 조사연구 및 후속 연구개발사업을 통하여 SBD개념의 적용을 위한 몇 가지 프로토타입의 개발을 시도하였다. 대표적인 사례로는 미해군의 차세대 수송시스템으로 개발하고 있는 LPD-17의 조종시뮬레이션, General Dynamics Electric Boat Division의 NSSN 잠수함 설계, GCRMTC(Gulf Coast Region Marine Technology Center)의 Mobile Offshore Base 등이 있으며 이 과정에서 개발되어 사용된 기술 및 도구들이 상품화되고 있다.

또, Bath Iron Works에서는 LPD-17의 개발 과정에서 크레인 사용성(crane usage), 부유식 도크의 사용성(floating dry-dock usage), 생산장비의 설치 및 제거(installation and removal of production equipment), 비상 이송장치의 이동 및 경로분석(emergency vehicle movement and routes) 등에 대한 시뮬레이션을 수행하였다(Hugan, 2000). 또한 그 동안의 경험을 바탕으로 앞으로 건조하게 될 LDP-19의 생산을 위해, 디지털 생산시스템 개념으로 조선소의 환경을 바꾸고 있다.

한편 University of Michigan의 VR(Virtual Reality) 연구실에서는 몰입형 가상현실(immersive virtual reality), 증강 현실(augmented reality) 등 가상현실의 산업응用に 중점을 두고 연구를 진행하

고 있는데(Beier, 2000), 주요 연구사례로는 구조적 walk-through 모델, 사고 시뮬레이션 및 훈련 시뮬레이터 등이 있다.

4.2 유럽

전통적으로 조선시스템 기술을 주도해 온 유럽의 조선/해운 관련 기관들은 ESPRIT(European Strategic Program for Research and Development in Information Technology) 프로젝트를 통한 국가간 혹은 국가별 프로젝트를 진행하고 있다.

대표적으로는 MARITECH(MAnagement and Reuse of Information over TIME) 프로젝트가 있는데, 노르웨이 선급협회(DNV)의 주관하에 ESPRIT III 프로젝트의 일환으로 유럽의 조선관련 단체들이 공동으로 추진하고 있다. 주요 내용은 선박제품 모델을 중심으로 한 차세대 조선시스템의 기반기술 개발이며, 연구결과의 국제표준화 및 상품화를 통해 세계 조선시스템 기술의 주도를 목적으로 하고 있다.

한편, 영국의 University of Strathclyde의 선박해양공학과(Department of Ship and Marine Technology)에서는 급변하는 조선 분야의 시장 환경에 대응하기 위한 방안으로 고객의 요구, 선박의 경쟁력, 비용의 효율성, 안전성 등 조선소의 목표를 만족시킬 수 있는 컴퓨터 기술의 응용 및 인간요소의 고려에 대한 인터페이스에 관련된 연구를 진행하고 있다(Vassalos, 2001). 주요 프로젝트로는 "Sub-sea navigation of ROV"와 "Evacuation Simulation of Ro-Ro Ferry Ship" 과제 등이 있다.

4.3 일본과 한국

일본은 보유하고 있는 기술력과 경쟁력을 지속적으로 유지하면서 조선산업을 미래형 산업으로 전환하기 위해 국가적인 노력을 계속하고 있다. SOF(Ship and Ocean Foundation)의 주도하에 1980년대 중반부터 일관되게 추진하고 있는 CIMS(Computer Integrated Manufacturing for Shipbuilding)에 이어, 1996년 조선 CIM 모델의 실용화 및 핵심기술 확보를 위한 GPME(General Product Model Environment) 프로젝트가 완료되었고, 최근에는 GPME를 토대로 지식공유기술과 연계한 Advanced CIM에 대한 연구와 CALS 개념의 가상 조선소 구현을 위한 LINKS 프로젝트를 수행하였다(Aoyama K. et al., 1995).

한국의 조선산업은 최근 들어 선박 건조량에 있어서는 세계 1위를 달리고 있지만, 기술의 질적인 면에서는 여전히 선진국에게 뒤처지고 있다. 한국은 조선 CIM의 기반기술 확보를 위해 1990년부터 KRISO(Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering)를 중심으로 국내 대형 조선소가 함께 CSDP(Computerized Ship Design and Production System) 프로젝트를 수행하였으며, 1996년부터는 실용화 및 핵심기술 확보를 위한 차세대 조선 생산시스템 통합기술 개발프로젝트가 완료되었고, 최근에 조선 CALS/EC를 추진하기 위한 준비작업이 이루어지고 있다(Lee et al., 2000).

5. 시뮬레이션 기반의 선박설계 및 생산체계

디지털 선박건조와 관련된 현재까지의 연구현황은 비교적 미진한 편이며, 용접 로봇에 대한 조립작업의 시뮬레이션이나 영업활동을 위한 완성된 선박의 설계 데모 등이 일부 진행되고 있다. 그러나, 전체적인 관점에서 가상 조선소를 지향하는 통합적 접근의 시도는 이루어지지 않고 있다.

디지털 선박건조의 실현을 위한 통합적인 시도를 위해서는 가장 중요한 것은 계획의 문제를 성공적으로 해결하는 것이다. 선박의 건조과정에 있어서 계획이라 함은 설계변경 및 지연의 영향을 최소화시키는 방안, 최적 선박 건조순서의 결정, 적절한 건조방법을 지원할 수 있는 설계 방안, 건조시의 자원활용의 극대화 등을 위한 의사결정 과정이라고 할 수 있다.

선박의 건조과정에서 계획의 문제를 해결하기 위해서는 시뮬레이션 기반의 접근방법이 필요하며, 이를 위해서는 조선소 전체에 대한 설비 및 인적자원의 정의가 필요하며, 선박 건조에 필요한 작업 및 공정의 정의도 이루어져야 한다. 시뮬레이션 모델의 구축을 위해서는 이러한 자원 및 작업에 대한 정의가 이루어진 후에 생산 흐름에 대한 모델링 및 분석이 이루어져야 한다. 이렇게 구축된 시뮬레이션 모델은 모델링된 제품 및 공정의 문제점을 해결하고 전반적인 설계과정의 최적화를 지원할 수 있다.

일반적으로 선박이나 해양 구조물의 개발과정은 개념설계, 기본설계, 상세설계, 생산설계, 건조, 유지보수 및 운용의 순서로 이루어지며, <표 1>은 디지털 선박건조의 구현을 위한 세

표 1. 디지털 선박건조의 활용 분야

Step	Application Area
Collaborative Design	• Shipyard, Class and Ship Owner
Concept Design	• Interface with 3D CAD System • Visualization • Immersion Using Virtual Reality • Manning Requirement Studies
Detail Design	• General Arrangement Studies • Space Allocation Optimization • Equipment Selection Optimization • Evacuation Route Analysis
Process Planning	• Planning of Assembly Sequence • Worker & Robot Simulation • Evaluation of Equipment & Facility
Production Engineering	• Design for Assembly • Design for Manufacturing • Design for Maintenance
Construction	• Scheduling & Resource Planning • Decision Making of Production Strategy • Robotic Off-Line Programming • NC Program Inspection
Training & Maintenance	• Crew Training • Training of Maintenance • Maintenance/Training of Equipment
Operation	• Accident Simulation • Ship Motion Simulation • Cargo Loading/Unloading • ROV Operation Simulation

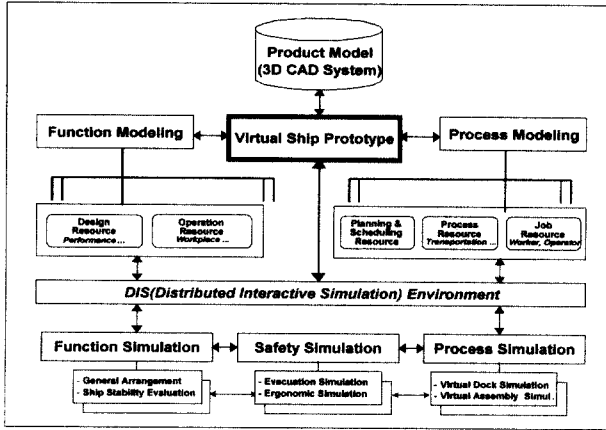


그림 2. 시뮬레이션 기반 선박 생산 시스템의 개념.

부 적용분야를 정리한 것이다.

<표 1>에 정리된 응용 분야들에 대한 실질적 활용을 위해서는 <그림 2>와 같은 시뮬레이션 기반의 선박생산 체계에 대한 수립이 필요하다.

<그림 2>에서와 같이 3차원 제품모델을 기반으로 한 가상의 선박(virtual ship prototype)을 중심으로 선박의 기능에 관련된 설계 및 운용자원에 대한 기능 모델링과 생산 공정에 관련된 계획 및 공정자원에 대한 공정 모델링이 이루어져야 한다. 이렇게 모델링된 결과와 가상의 선박에 대한 정보는 궁극적으로 분산 네트워크 환경에서 조선소, 선급, 선주, 엔지니어링회사, 해운회사 등의 이해 당사자들이 모두 공유할 수 있어야 한다.

이러한 가상의 분산 네트워크 환경에서 기능 시뮬레이션, 공정 시뮬레이션 및 안전 시뮬레이션 등이 행해질 수 있다. 기능 시뮬레이션은 GA(General Arrangement)의 평가, 각종 장비의 평가, 화물의 적하역 평가 등 선박의 주요 기능에 대한 검증이 주된 내용이다. 공정 시뮬레이션은 공정 및 자원 계획, 생산 자동화 장비의 평가 등 생산공정의 평가에 대한 것이 주된 내용이다. 안전 시뮬레이션은 최근 들어 많은 관심이 집중되고 있는 분야로서, 탈출 분석이나 위험 분석과 같이 인간 및 선박의 안전에 관련된 내용이다.

## 6. 사례연구(가상 블록탑재 시뮬레이션 시스템)

본 연구에서는 선박의 개발과정에서 3D 제품 모델을 기반으로 하여 가상의 도크에서 크레인 운용성 검증 및 탑재 시뮬레이션을 행할 수 있는 VASSS를 개발하였다. VASSS는 S중공업의 도크(dock)를 대상으로 개발되었다. 본 논문에서는 VASSS의 개요와 구현내용을 중심으로 정리하였다.

### 6.1 탑재공정계획

선박 건조를 위한 탑재공정에서 공정계획은 기점 블록(keel

block)의 선정, floating 블록의 선정, PE(pre-erection) 블록의 묶음, 블록 탑재순서의 결정 등으로 요약될 수 있는데, 이들 중 CAD 시스템과 밀접한 관계가 있는 항목은 floating 블록의 선정과 PE 블록의 묶음이며, 기점 블록의 선정과 블록 탑재순서의 결정은 생산에서의 의사결정사항으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 생산계획기능과 밀접한 관계가 있는 블록 탑재순서의 평가에 초점을 맞추었다. 탑재공정이 타 공정의 기준이 되기 때문에 블록 탑재순서의 결정은 선박 건조계획의 중일정계획 (intermediate schedule)에서 가장 먼저 수립되어야 할 계획이다.

현재 탑재순서를 결정하는 방법은 경험치를 적용하거나 선형·선종별로 기존의 탑재순서를 그대로 사용하는 경우가 많다. 이런 경우 도크의 상황, batch 건조상황 등 변화하는 상황에서 실제 탑재시 좋은 결과를 얻으리라는 보장은 없다.

현재까지 탑재순서의 생성과 관련된 기존의 연구로는 콜리엇 크레인과 같은 제약조건과 탑재순서의 생성을 위한 전문가의 지식을 이용한 constraint directed graph search에 대한 연구(Lee et al., 1992; Kim et al., 2001)와 블럭간 접합정보를 이용한 탑재순서의 생성에 대한 연구(Hong et al., 1997) 등이 있다.

본 연구에서는 탑재순서의 생성을 위해, 블록의 위치 정보와 탑재 방법을 이용하였는데, 가능한 탑재순서를 생성한 후, 삽입블록(insert block)의 발생여부와 탑재작업의 용이성 등을 검사하여 생성된 탑재순서의 탑재 가능성을 판단한다. <그림 3>은 탑재 순서를 결정하는 절차를 나타내고 있다.

### 6.2 블록 탑재방법

일반적인 탑재방법은 설치상태에 안전성이 있는 블록을 기점 블록으로 정하고, 선수미(bow and stern) 방향, 좌우 및 상하 방향의 3방향으로 블록을 탑재시켜 나아간다. 탑재방법은 선

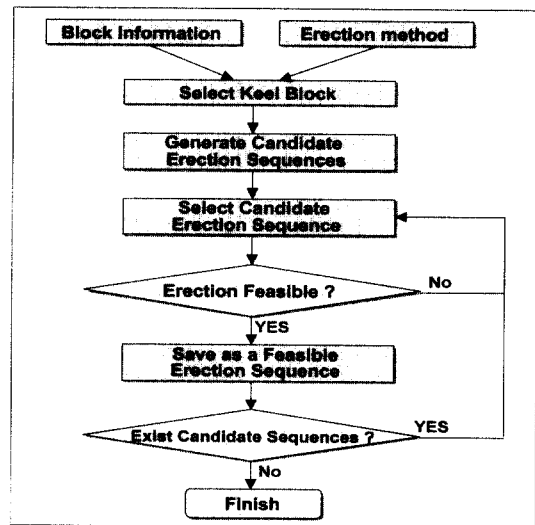


그림 3. 탑재 순서의 생성 절차.

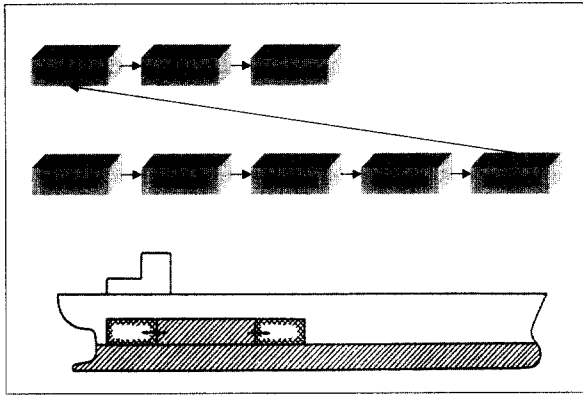


그림 4. 층식 건조법.

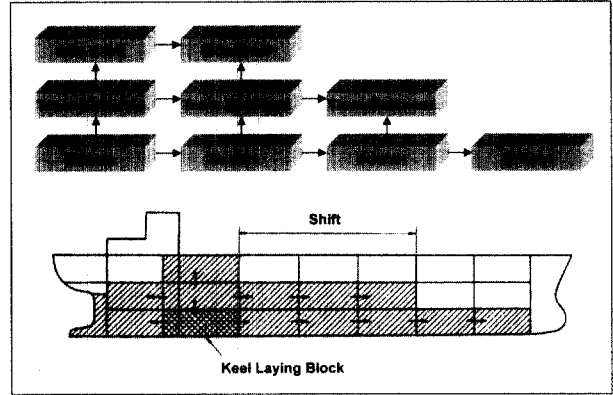


그림 6. 피라미드식 건조법.

체 형성방법에 따라 층식(floor-type), 상향식(ring-type), 그리고 피라미드식(pyramid-type)으로 나눌 수 있고, 기점블록(keel laying block)의 설정 방법에 따라 일점방식(one-point type), 이점방식(two-point type), 그리고 다점방식(multi-point type)으로 분류된다 (Ham et al., 1996).

층식 건조법은 기점 블록으로부터 선수미 방향으로의 전개해 나아가는 방식으로, 먼저 선저 부분(ship's bottom)을 전개하고 다음으로 횡벽, 종벽, 외판부(shell plating)로 전개해 나간다. <그림 4>는 층식 건조법을 그림으로 나타내고 있다.

상향식 건조법은 탑재속도가 선수미 방향으로 보다 상방향으로 빠른 방식으로서, 선저로부터 상갑판까지를 1구획 단위로 탑재해 나아가는 방법이다. <그림 5>는 상향식 건조법을 그림으로 나타내고 있다.

또, 피라미드식 건조법은 층식 건조법과 상향 건조법의 중간형태로서, 선저 블록을 탑재한 후, 격벽블록, 외판블록, 상갑판으로 전개해 나아가는 방법이다. <그림 6>은 피라미드식 건조법을 그림으로 나타내고 있다.

기점블록은 제일 먼저 탑재되는 블록으로, 이점방식과 다점방식은 필연적으로 삽입블록(insert block)이 생겨 작업상 어려

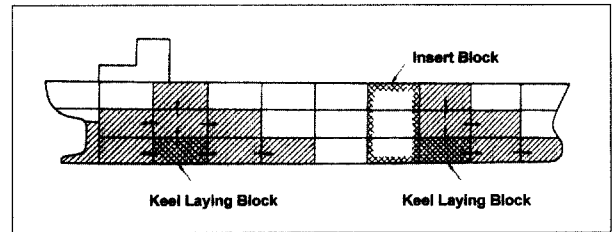


그림 7. 이점 탑재방식의 탑재순서 결정.

운 점이 있으나, 동시에 두 지역 이상에서 탑재가 이루어지기 때문에 전체 공기가 짧아진다. <그림 7>은 이점 탑재방식의 탑재순서를 그림으로 나타내고 있다.

### 6.3 시스템 구성

일반적으로 선박의 건조에 있어서, 공정계획의 수립은 설계와 생산을 연결하는 중요한 역할을 하고 있으나, 조선업의 특성상 적기에 생산계획을 위한 정보가 생성 및 전달되지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 VASS는 3D CAD 시스템으로부터의 정보와 설비(goliath crane, equipment)능력을 고려하여 탑재위치의 결정, 탑재순서의 평가 등 탑재공정계획 항목에 대한 시뮬레이션이 가능하도록 하였다. 즉, VASS는 도크를 중심으로 이루어지는 탑재공정에서 블록에 관련된 제품 데이터와 조선소 설비를 고려하여 탑재순서를 평가할 수 있는 시스템이다.

조선에서의 탑재공정은 생산공정의 마지막 부분에 해당되지만, 생산계획의 흐름으로 볼 때에는 맨 처음이며, 기준이 되는 공정이다. 탑재공정은 선박을 구성하는 주된 구성품인 블록들을 크레인으로 옮겨 건조도크에서 배의 형상대로 이들을 쌓아 선박을 형성하는 공정이다.

VASS에서는 시뮬레이션의 수행을 위해서는 <그림 8>과 같이 먼저 3D CAD 시스템으로부터 받은 제품정보와 일정계획 시스템으로부터의 탑재순서 정보를 기초로 하여 조선소 고유의 설비자원을 반영한 ship assembly workcell을 구성하게 된다.

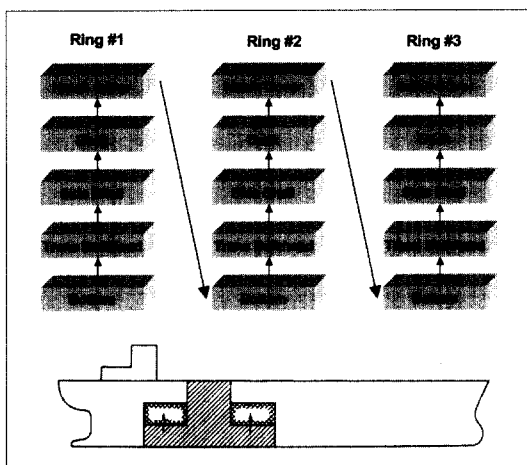


그림 5. 상향식 건조법.

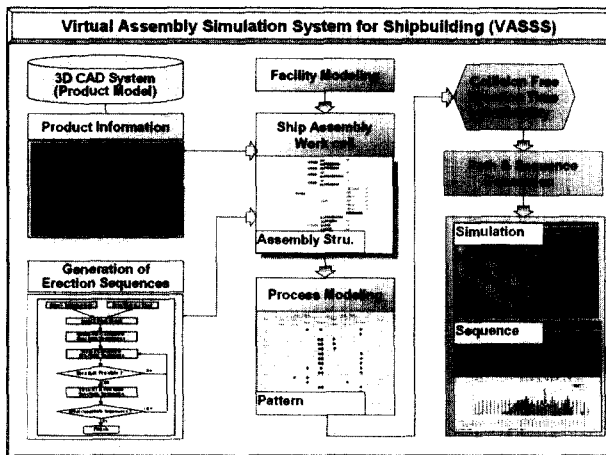


그림 8. VASSS의 구성.

또한 설비사용 패턴과 같은 프로세스 모델링을 거쳐, 충돌 회피(collision free), 탑재시간(erection time) 및 자원 활용도(resource availability)를 최적화 할 수 있는 크레인의 경로(path) 및 탑재순서를 생성하는 것이다.

본 연구에서는 시스템의 개발을 위해 활용의 범위와 적용 분야에 적합성을 고려하여 도구를 선정하였다. 즉, Delmia사의 가상 프로토타이핑 도구인 ENVISION과 프로세스 시뮬레이션 도구인 QUEST를 사용하였다. 또, 시스템 개발을 위한 O/S는 Window NT 4.0을 사용하고, 응용 프로그램의 개발을 위해 Visual Basic, Visual Fortran, Visual C++를 사용하였다.

본 연구에서는 3,400 TEU급 컨테이너선과 S 중공업의 드라이 도크(dry dock)를 대상으로 시뮬레이션이 수행되었다. <표 2>는 3,400 TEU급 컨테이너선의 사양이고, <표 3>은 S중공업의 드라이 도크의 사양을 나타내고 있다.

표 2. 3,400 TEU급 컨테이너선의 사양

Length O.A.	243.0 M
Length B.P.	226.7 M
Breath Moduled	32.2 M
Depth Moduled	19.0 M
Container Capacity	3398 TEU
Service Speed	23.25 Knot

표 3. 드라이 도크의 사양

Description	Dock No. 3
Dock (L×B)	640 M × 97.5 M
Cranes	450 Ton Goliath Crane × 2 30 Ton LLC × 1 20 Ton TTC × 2
Max. Lifting	900 Ton
Optimum Ships	VLCC & Medium-size Ship

6.4 모델링

블록에 대한 형상정보는 IGES 데이터형태로 입력되었으며, 각종 설비들에 대한 모델링은 디바이스 모델링을 통하여 구현되는데, 이를 위한 정보는 해당 도면으로부터 추출하게 된다. 작업환경 구현에 대한 디바이스의 모델링은 CAD 시스템에서 넘어온 제품에 관련된 모델을 제외한 설비 및 장비를 모델링하는 것이다. 가상 도크를 구현하기 위해서 필요한 설비 및 장비로는 도크, 게이트, 폴리아트 크레인 및 체결장비 등이다.

6.5 그래픽 사용자 인터페이스

본 연구에서는 사용자의 편리성 및 시스템의 개발단계별 기능들을 검증하기 위해서 그래픽 사용자 인터페이스를 설계하여 적용하였는데, VASSS에서는 ENVISION에서 제공하는 GSL (Graphic Simulation Language), CLI(Command Line Interpreter) 함수들을 이용하여 구현하였다. <그림 9>는 VASSS에서 사용되어 지는 메뉴들의 계층도를 나타낸 것이다.

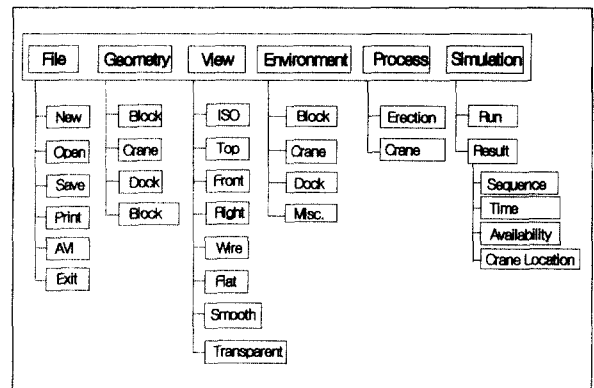


그림 9. VASSS의 메뉴.

[FILE] 메뉴는 상용 시뮬레이션 도구인 ENVISION 상에서 VASSS를 실행하기 위한 워크셀(workcell) 파일과 디바이스(device) 파일을 정의하고 이를 관리할 수 있는 기능을 나타낸다.

[GEOMETRY] 메뉴의 기능은 가상 도크 지원 시뮬레이션을 위해서 이미 저장되어 있는 선박의 외관형상, 블록, 크레인, 도크 형상들에 대한 정보를 읽어오는 것이다. 여기에는 [Ship Load], [Block Load], [Crane Load], [Dock Load] 및 [Equipment Load] 등의 하위 메뉴들로 구성되어 있다. <그림 10>은 [GEOMETRY] 메뉴의 하위 메뉴를 선택하였을 경우에 나타나는 화면이다.

[VIEW] 메뉴의 기능은 시뮬레이션 과정을 나타내는 시점을 변경할 수 있도록 하였다. 여기에는 [ISO], [Top], [Front], [Right] 및 4개의 화면분할 서브메뉴들이 있다. 또한 시뮬레이션의 특징에 따라 모델링된 블록 및 설비들을 표현하기 위한 메뉴들도 정의되었는데, [Wire], [Flat], [Smooth] 및 [Transparent] 서브메뉴들이 여기에 속한다.

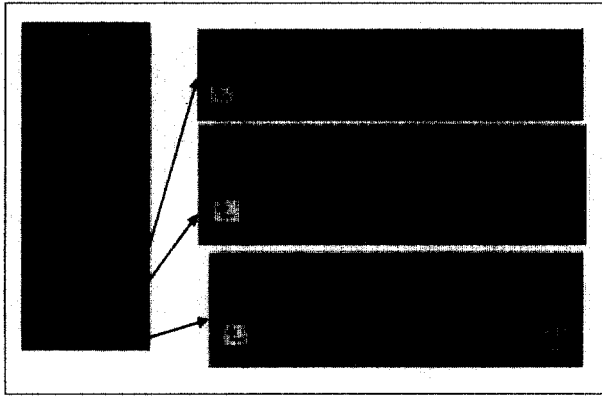


그림 10. [Geometry] Menu의 예.

[ENVIRONMENT] 메뉴의 기능은 워크셀을 꾸미기 위해 필요한 환경변수들을 지정하고 각각의 디바이스들을 정의하는 장소이다. [Block], [Crane], [Dock] 서브메뉴와 환경에 관련된 [Misc.] 메뉴들이 서브 메뉴들로 구성되어져 있다.

[PROCESS] 메뉴에서는 시뮬레이션 과정에 필요한 탑재순서 및 공정계획 데이터를 불러들이고, 이를 확정시키는 기능을 한다. [Sequence] 서브메뉴는 일정계획 시스템으로부터 탑재순서에 관련된 데이터를 불러들이고, 시뮬레이션을 위해 최종적인 확인 작업을 하는 기능을 한다. [Pattern] 서브메뉴는 골리앗 크레인의 장비체결 표준 패턴을 데이터베이스화하여 탑재 블록의 속성으로 활용하기 위함이다. 기존 탑재 방법을 중심으로 <표 4>와 같이 12가지의 장비체결 패턴에 대한 구현이 이루어졌다.

표 4. 골리앗 크레인의 장비체결을 위한 표준패턴

Type	Upper Trolley			Lower Trolley			No. of Goliath Crane
	150T Loader	500T Loader	Beam	200T Loader	400T Loader	Sheave	
A			●	●			2
B-1			●●	●			1
B-2			●●●	●			2
C-1			●●			●	1
C-2			●●●			●	2
D			●	●●		●	2
E		●	●			●	2
F			●●			●	2
G			●			●	1
H			●	●			1
I	●		●			●	1
J			●●	●		●	1

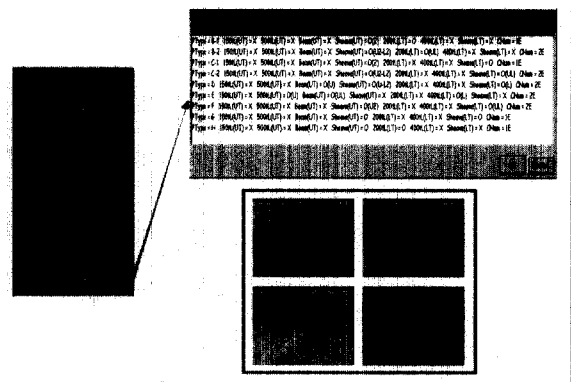


그림 11. [Process] Menu의 예.

이러한 장비체결 표준패턴은 조선소 고유의 설비 및 환경을 고려하여 변경되는 것이 바람직하다. <그림 11>은 [Pattern] 서브메뉴를 실행시 나타나는 장비체결 표준패턴과 패턴에 대한 그림을 나타내고 있다.

[SIMULATION] 메뉴에서는 디바이스, 프로그램, 모션 등으로 이루어진 워크셀을 동시에 동작시키고 시간에 따라 그 동작을 분석할 수 있게 하는 기능을 가지도록 하였다. <그림 12>는 [Show] 서브메뉴를 통해 블록탑재에 대한 순서도(sequence chart)를 띄우고, [Run] 서브메뉴를 통해 실제 동작을 구현하는 화면이다. [SIMULATION] 메뉴에서는 구현된 시나리오에 따라 워크셀의 시뮬레이션을 수행하고, 탑재 순서 및 시간과 크레인의 활용도에 대한 평가결과를 조회할 수 있다. 가상 도크 지원 시뮬레이션의 결과로 생성되어지는 것들로는 블록 탑재 순서, 블록 탑재 소요 시간, 골리앗 크레인의 활용도 및 위치평가, 장비 교체 시간 등이 있다.

### 6.6 탑재 시뮬레이션

탑재시뮬레이션을 위한 워크셀의 구현에서는 하나의 parent part에 children part들이 붙어 있는 계층적 구조를 가진다. 디바

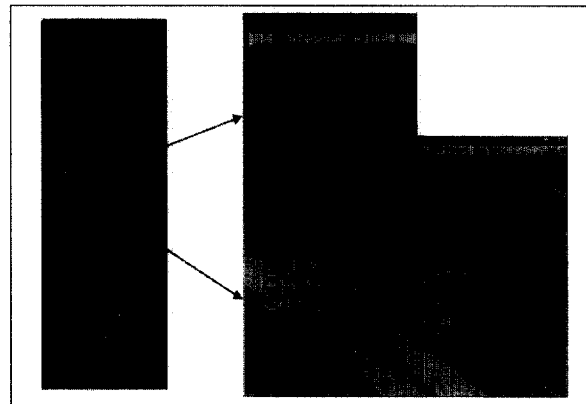


그림 12. [Simulation] Menu의 예.



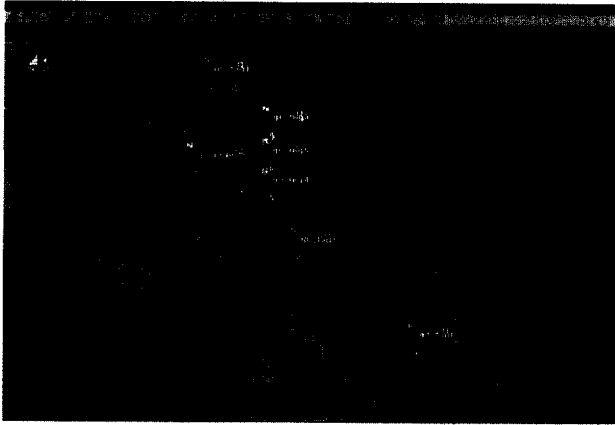


그림 13. Auto Collision Free Path의 생성.

이스의 동역학적 구현은 모델링된 디바이스가 실제로 작동하게 하고, 이를 통해 작업물이나 작업자 또는 다른 디바이스와의 충돌 여부를 검사할 수 있다. 구체적인 내용으로는 동작 관리 및 경로 설정, GSL 구현, 충돌검사 등이 있다. 여기서 GSL은 디바이스의 작동을 위한 ENVISION의 자체 프로그래밍 언어로서 대화식으로 작성하게 된다. 탑재 과정이 최적화되면 골리앗 크레인의 이동 경로를 생성하게 되는데, 전체적인 탑재 순서를 간트 차트에서 시간 기준으로 추정한다. 기존의 크레인에 의한 이동 속도를 입력 데이터로 설정하여 탑재에 대한 순서를 최적화하게 된다.

충돌회피 경로의 생성은 오토 트래젝토리(auto trajectory) 기능을 이용하게 되는데, 자동적으로 두 개의 태그 포인트(tag point) 혹은 전체 트래젝토리 사이의 충돌회피 경로를 찾아주는 데 사용된다. 이 기능을 사용하기 전에 충돌 버퍼에 충돌이 발생할 수 있는 파트 혹은 디바이스들을 설정해 놓아야 한다. 또, 이동과 회전에 대한 경로결정의 선택항목을 지정해야 한다. 여기서 회전에 대해 지정하게 되면 프로세서의 부하가 기하급수적으로 증가하므로, 대부분 이동에 대한 경로의 최적해만을 구하게 된다. <그림 13>은 자동 충돌회피 경로(auto collision free path)를 생성해 나아가는 과정을 나타내고 있다.

탑재 과정의 검증이 완벽하게 이루어지면, 탑재 경로에 따른 운동과정에서 발생할 수 있는 제한 조건들을 확인하기 위해 탑재 시뮬레이션을 행하게 된다. 간트 차트, fly-through, walk-through, view port 등과 같은 다양한 방법을 통해 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 이때 골리앗 크레인에 의한 탑재 경로를 최적화하는 작업으로, 골리앗 크레인의 운동에 따른 간섭 문제도 시뮬레이션을 통해 검증할 수 있다. <그림 14>는 위와 같은 과정을 통하여 탑재경로를 최적화하는 과정을 나타내고 있다.

6.7 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 탑재방법에 따라 생성된 탑재 순서를 평가하

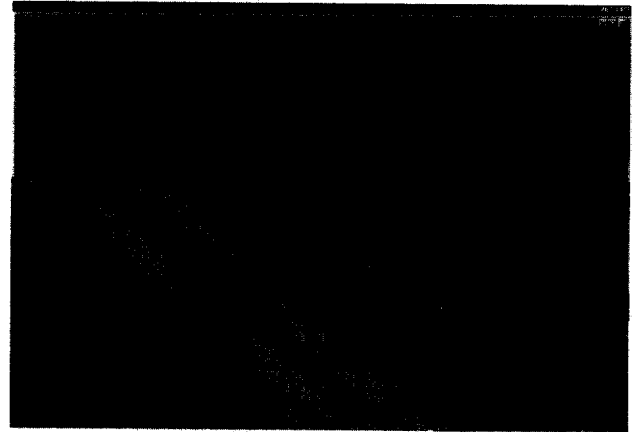


그림 14. 탑재경로의 최적화 과정.

표 5. 탑재 방법의 평가를 위한 시뮬레이션 결과

Erection Type	No. of Keel Block	Total Erection Time (min)	Remark
Floor-type Erection	1	1665.958	- No. of Goliath Crane : 2 - Hoisting Capacity : 450 Ton - Travelling Speed : 30 m/min
	2	1630.348	
Ring-type Erection	1	1666.276	
	2	1630.303	
Pyramid-type Erectioon	1	1658.323	
	2	1623.345	

기 위한 시뮬레이션이 수행되었다. 선체 형성방법과 기점 설정방법을 조합하여, 6가지 탑재방법에 대한 평가가 이루어졌다.

<표 5>는 탑재방법을 비교평가한 결과를 나타낸 것이다. 여기서의 소요시간은 골리앗 크레인의 이동시간, 장비교체시간, 블록의 고정시간을 고려한 것이다. 표에서 보듯이, 층식 건조법과 상향 건조법에 소요되는 시간은 거의 차가 없는 것을 알 수 있었으며, 피라미식 이점 건조법에서 가장 적은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

또한 <그림 15>에서 보는 바와 같이, 골리앗 크레인의 유휴시간에 대한 비교에서도 층식 건조법과 상향식 건조법은 거의

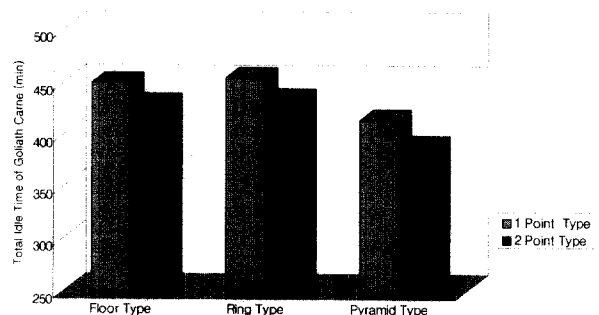


그림 15. 골리앗 크레인의 유휴시간 비교.

비슷한 결과를 보여주고 있으며, 피라미드식 이점 건조법이 가장 좋은 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

위의 두 결과에서와 같이 피라미드식 이점 건조법이 총 탑재시간과 콜리엇 크레인의 유용성 측면에서 가장 효과적인 탑재 방법으로 평가 되었다.

본 시스템은 탑재공정의 계획단계에서 기존의 탑재계획에 대한 평가 및 새로운 공법에 대한 유효성 검증을 위해 사용이 가능할 것으로 사료된다.

### 7. 결론

현재 조선업계에서는 CAD/CAM 시스템을 중심으로 한 차세대 조선시스템의 구축을 추진하고 있다. 물론 이들 시스템이 기존의 프로세스들을 자동화하고, 생산성 및 품질의 향상에 크게 기여할 것으로 기대하지만 기존의 프로세스들을 근본적으로 변화시키거나 급격히 발전하는 기술들을 효율적으로 수용하는 데는 한계가 있다고 보고 있다.

최근 제품 모델을 중심으로 설계를 포함하여 제품생산에 필요한 모든 대상의 정보와 활동에 관한 정보처리 기능을 컴퓨터 내에 모델링하여, 설계와 생활활동을 시뮬레이션해 볼 수 있는 시뮬레이션 기반의 제조 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다.

본 연구에서 수행한 내용을 바탕으로 실용성 있는 시스템의 개발을 위해서는 기본적으로 제품 모델을 기반으로 한 3D CAD 시스템, PDM(Product Data Management) 시스템에 대한 기술 확보가 이루어져야 하고, 탑재, 조립, 가공, 절단 및 검사 등의 공정에 관련된 요소기술들의 개발 및 응용 시스템의 개발을 통한 다양한 기능 구현, 운용에 따른 검증절차 등이 수행되어야 할 것이다.

앞으로 시뮬레이션 기반의 제조환경의 구축을 통하여, 가상 시뮬레이션 기술을 설계, 모델링, 해석, 시뮬레이션, 생산, 검사, 정보 시스템 등에 응용하여 제품과 생산공정을 개발함으로써, 미래의 동시공학적 시스템의 기반을 제공할 수 있으며, CALS/EC와 함께 미래 조선산업의 경쟁력을 좌우할 핵심요소가 될 것으로 전망해 본다.

### 참고문헌

Angster, S. (1997), VEDAM: Virtual Environment for Design and Manufacturing, *VR News*, 6(5), 16-29.

Aoyama K. et al. (1995), Development of Integrated CAE System for Design Ship Structure in CIM, *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 178, 749-762.

Beier, K. (2000), Web-based Virtual Reality in Design and Manufacturing Applications, *Proceedings of COMPIT'2000*, Germany.

Baum, S. T. and Ramakrishnan, R. (1997), Applying 3D Product Modeling Technology to Shipbuilding, *Marine Technology*, 34(1), 56-65.

Behning, A., Cary, T. and Wittmeyer, J. (1997), Simulation and Visualization Opportunities in the Ship Production & Maritime Environment, *Proceedings of 1997 Ship Production Symposium*, SNAME.

Cardner, J. (1998), *Simulation of Mobile Offshore Base*, Project Report, GCRMTC.

Fast, K. (1996), EVS at Electric Boat, *Proceedings of 1996 Deneb's User Group*, Michigan.

Ham, W.-K., Kim, K.-C., Shin, I.-J., Um, D.-S. and Hong, B.-K. (1996), *Ship Construction Engineering*, The Society of Naval Architects of Korea. (in Korean)

Hong, Y.-K., Jung, E.-K., Jun, J. and Kim, S.-Y. (1997), Generation of Erection Sequence in Shipbuilding Process Planning, *IE Interface*, 10(1), 189-207. (in Korean)

Hugan, J. C. (2000), Using Simulation to Evaluate Cargo Ship Design on the Lpd17 Program, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando.

Jones, G. and Hankinson, T. (1994), Simulation Based Design for Ship Design and Acquisition, *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, Germany.

Kim, H. (1998), Collaborative Virtual Prototyping Technology for Engineering Simulation, *Journal of Ships and Ocean Engineering*, 27, 97-104. (in Korean)

Kim, K., Woo, S. and Han, H. (2001), A Study on the Erection Scheduling for Shipbuilding Considering Resource Constraints, *IE Interface*, 14(3), 218-226. (in Korean)

Kraftcheck, J., Dani, T. and Gadh, R. (1997), State of the Art in Virtual Design and Manufacturing, *VR News*, 6(4), 16-22.

Lee, J.-K. and Choi, H.-R. (1993), Erection Scheduling at Shipbuilding Using Constraint Directed Graph Search; DAS-ERECT, *Proceedings of 93 Korea-Japan Joint Conference on Expert Systems*, Seoul, Korea.

Lee, J.-K. et al. (2000), *Development of Model-based CAE and Simulation Technologies for Ships and Ocean Engineering (III)*, Project Report, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering. (in Korean)

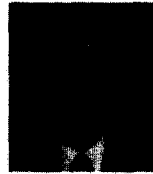
Noh, S.-D., Lee, C.-H. and Han, H.-S. (2001), Virtual Manufacturing for an Automotive Company(I), *IE Interface*, 14(2), 120-126. (in Korean)

Shukla, C., Vazquez, M. and Chen F. F. (1996), Virtual Manufacturing: Overview, *Computers and Industrial Engineering*, 31(1/2), 79-82.

Vassalos, D., Kim, H., Christiansen, G. and Majumder, J. (2001), A Mesoscopic Model for Passenger Evacuation Simulation in a Virtual Ship Environment and Performance-based Evaluation, *Proceedings of Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Germany.

**김홍태**

고려대학교 산업공학과 학사  
 고려대학교 산업공학과 석사  
 고려대학교 산업공학과 박사  
 한국기계연구원 조선시스템연구부 선임연구원  
 현재: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
 선임연구원  
 관심분야: Simulation Based Manufacturing,  
 Marine Ergonomics Marine Safety Engineering

**황규욱**

현재: 삼성중공업 정보기술팀 부장  
 관심분야: Shipbuilding Information Technology,  
 Digital Shipbuilding

**이종갑**

부산대학교 조선공학과 학사  
 부산대학교 조선공학과 석사  
 부산대학교 조선공학과 박사  
 한국기계연구원 조선시스템연구부 책임연구원  
 현재: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
 책임연구원  
 관심분야: Simulation Based Design, Shipbuilding  
 CALS

**장동식**

고려대학교 공과대학 산업공학과 학사  
 텍사스 주립대학 산업공학 석사  
 텍사스 A&M 주립대학 산업공학 박사  
 현재: 고려대학교 공과대학 산업시스템정보  
 공학과 교수  
 관심분야: Computer Vision System, Pattern  
 Recognition