

디지털 생산을 기반으로 한 조선 소조립 공정 모델링 및 시뮬레이션

이광국*, 신종계*, 우종훈*, 최양렬*, 이장현* 김세환**

Digital Manufacturing based Modeling and Simulation of Production Process in Subassembly Lines at a Shipyard

Lee Kwang Kook, Shin Jong Gye, Woo Jong Hun, Choi Yang Ryul, Lee Jang Hyun, Kim Se Hwan

Abstract

Digital Manufacturing-based production could be very effective in shipbuilding in order to save costs and time, to increase safety for workers, and to prevent bottleneck processes in advance. Digital shipbuilding system, a simulation-based production tool, is being developed to achieve such aspects in Korea.

To simulate material flow in a subassembly line at a shipyard, the product, process and resources was modeled for the subassembly process which consisted of several sub-processes such as tack welding, piece alignment, tack welding, and robot welding processes. The analysis and modeling were carried out by using the UML (Unified Modeling Language), an object-oriented modeling method as well as IDEF (Integration DEFinition), a functional modeling tool. Initially, the characteristics of the shop resources were analyzed using the shipyard data, and the layout of the subassembly line was designed with the resources. The production process modeling of the subassembly lines was performed using the discrete event simulation method.

Using the constructed resource and process model, the productivity and efficiency of the line were investigated. The number of workers and the variations in the resource performance such as that of a new welding robot were examined to simulate the changes in productivity. The bottleneck process floated according to the performance of the new resources. The proposed model was viewed three-dimensionally in a digital environment so that interferences among objects and space allocations for the resources could be easily investigated

Key Words: Digital Manufacturing, Digital Shipbuilding, PPR, UML, IDEF \emptyset , Robot Simulation, Discrete Event Simulation

* 서울대학교 조선해양공학과

** 삼성중공업(주) 거제조선소

1. 서론

생산비용 절감, 개발/생산기간 단축, 품질 향상, 신속한 소비자 요구대응, 다품종 다량 생산 등은 제조업의 불변의 과제들로 손꼽히고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 제조업체에서는 여러 가지 시도를 하고 있고, 여기에 발맞추어 최근 새로운 패러다임으로 대두되고 있는 개념이 PLM(Product Life-Cycle Management)이다. PLM은 제품의 개발, 기획부터 시제품, 생산, 소멸까지의 제품 생명주기와 그것을 조율하고 조합하는 업무 프로세스를 포함하는 제품 개발 관리를 의미한다(Shin, 2001). 기업이 비즈니스 환경변화에 신속히 대응하기 위해 혁신적인 제품 개발을 하여, 실제 투자를 하기 전에 제품의 라이프사이클 전체를 시뮬레이션할 수 있도록 지원하는 것이다. (PLM Network 18)

PLM의 대표적인 예가 디지털생산 (Digital Manufacturing)이다. 디지털 생산(Shin, 2001)은 제조업의 전 과정에 포함된 설계·생산·엔지니어링 정보와 노하우 등 생산시스템의 물리적·논리적 구성요소와 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 디지털 모델을 구성하고 가상 현실(Virtual Reality) 기술과 네트워크 기술 등을 활용하여 생산의 전 과정에 걸쳐 관련된 여러 부문에서의 의사결정과 제어를 수행하는 기술을 말한다. 디지털생산 기술을 사용하여 실제 작업 전에 생산 공정을 미리 시뮬레이션 해봄으로써 실제 작업에서 발생할 수 있는 현상을 미리 분석하고 예측할 수 있는 특징을 지니고 있다. 따라서 디지털생산을 적용함으로써 실제 생산에 적용하는 단계에서 발생할 수 있는 설계 오류나 제작상의 문제점을 미리 파악하여 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있다. 또한 새로운 제조 방법 및 생산 설비의 변화를 가상생산 환경에서 미리 적용해 볼 수 있으므로 실제 제조 시스템 적용에 필연적으

로 발생하는 재계획 및 수정에 따른 비용과 시간을 절감할 수 있는 기술이다.

디지털 생산을 조선 산업에 적용한 것이 디지털 선박생산(Digital Shipbuilding)이다. 디지털 선박생산기술(Shin, 2001)은 대표적인 주문형 소량 제조업인 조선 산업기술과 가상생산 기술 결합으로 탄생되는 신개념의 선박 생산 시스템으로 선박의 개념 설계에서부터 운용 유지까지 전 과정을 컴퓨터 속에서 만들고 시뮬레이션하는 과정을 일컫는다. 이러한 선박 생산 과정 속에는 설계, 생산 정보, CAE정보들이 PDM으로 일관화 되어야 하며, 체계적이고 과학적인 선박생산과정을 구현하여, 최고경영자로부터 현장 작업자까지 모두에게 필요한 정보를 포함하고 있어야 한다. 이를 통해, 실제 선박 생산 시에 선박의 생산성 향상, 정밀도 향상, 작업 환경 개선 및 작업자의 안전도 향상 등을 이룰 수 있다.

본 연구에서는 선박 제조업에 디지털 생산의 개념을 적용시키기 위한 체계적인 방법론을 제시하고, 그 예로써 조선 소조립 공정의 디지털 모델을 구축하는 기본적인 전략을 소개하고자 한다. 더불어 구축된 디지털 모델을 이용하여 새로 개발된 용접로봇을 현장 투입 전 미리 시뮬레이션 해봄으로써 현장에서 일어날 수 있는 다양한 변화를 예측하고 그에 따른 결과에 대해서도 고찰해 본다.

2. 디지털 생산 적용 방법론

디지털 생산을 적용하기 위한 방법론은 그림 1에서 보는 바와 같다. 분석하고자 하는 생산 시스템을 선정하여 객체지향 방법론으로 분석하고 이를 바탕으로 공정계획을 위한 초기 모델을 구현한다. 구현된 공정계획 모델은 생산 시스템의 PPR 요소들을 저장하고 있으며, 단위 자동화공정 시뮬레이션(Robot Simulation)과 물류 시뮬레이션 (Discrete Event

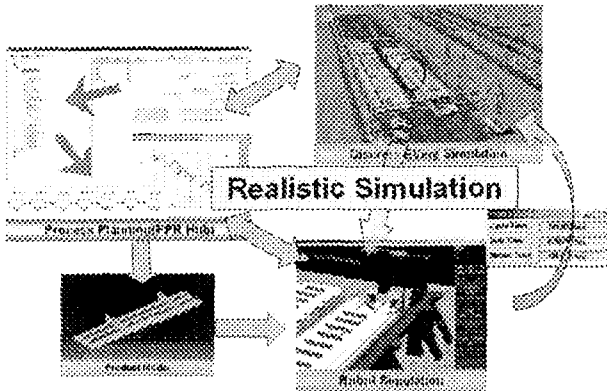


그림 1 적용방법론의 개요

Simulation)의 자원을 제공해 준다. 라인에 흐르는 제품이 결정 되면 자동화공정 시뮬레이션을 통해 자동화공정 작업 시간을 추출하여 물류 시뮬레이션의 입력 정보에 넣어주게 된다. 이로 인해 기존의 부정확하게 측정되었던 자동화 공정의 작업시간(Cycle Time)을 자동화 공정 시뮬레이션을 통해 보다 정확한 예측할 수 있었고, 얻어진 작업시간을 물류 시뮬레이션에서 사용함으로써 해당 라인의 처리량(Throughput) 및 병목 공정(Bottleneck Process)을 확인할 수 있었다.

2.1 시스템 분석, 모델링을 통한 공정계획 모델 구축

제조 시스템은 그 구성 요소들이 복잡하게 얽혀있기 때문에 시스템 설계를 위해서는 논리적인 방법을 통해 모델을 분석하는 것이 가장 중요하다. 디지털 선박 생산 모델 구축을 위해서는 우선적으로 AS-IS 모델에 대한 객관적이고 엄밀한 분석이 요구된다. 이를 위해 표준공정과 제조시스템을 IDEF(Integration DEFINition)와 UML(Unified Modeling Language)로 분석 및 모델링하여 조선소 내의 객체인 Product(선박 및 부품), Process(부품 가공/조립 및 건조 공정 정보), Resource(조선소 내 주요

설비 및 기계/인적 자원)의 디지털 정보 모델을 구축한다(Shin 2001). 아래 그림에서는 UML 및 IDEF를 이용한 선박 건조 모델 분석의 예를 보이고 있다.

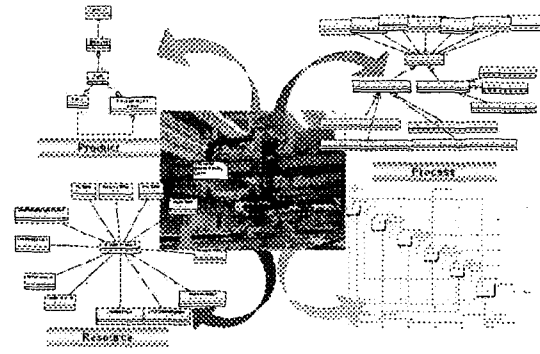


그림 2 UML과 IDEF 분석 예

객체지향 분석 방법(Object Modeling Technology)은 시스템을 체계적으로 분석하고 개발함으로써 시스템의 복잡함에 대한 이해를 도와주며, 거대 시스템 개발에 있어서 시스템의 적응성을 확보할 수 있는 방법이다(Shin, 2002). 객체 지향 방법론에서는 객체 모델(Object Model), 동적 모델(Dynamic Model), 기능 모델(Functional Model)의 세가지 측면에서 시스템을 모델링 한다. 이들은 서로 독립적이고 서로의 구조와 목적하는 바가 다르지만 시스템을 기술하는데 반드시 필요한 모델들이다. 이 세 모델들은 개발이 진행 됨에 따라 발전적으로 진화하게 된다. 본 연구에서는 객체, 동적 모델에는 UML을, 기능모델에는 IDEF0을 사용하여 해당공정을 분석하였다. 이러한 체계적 분석을 통해 디지털 생산 시뮬레이션의 프레임워크를 구성하고, 이는 분석 이후 설계, 구현 단계의 수행을 위한 기초 데이터로 활용된다.

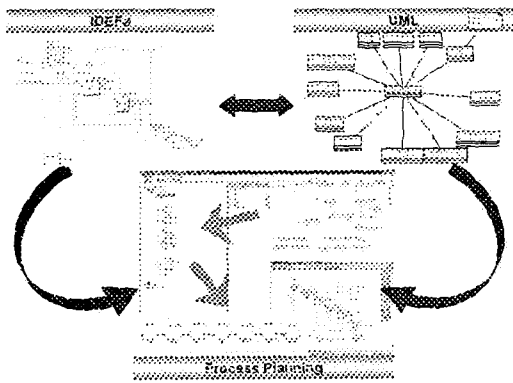


그림 3 공정계획 모델의 예

2.2 디지털 생산 시물레이션

가시화를 위해서 CAD 응용 프로그램을 이용하여 제품 및 설비의 3차원 모델링을 수행하고 범용 시물레이션 응용 프로그램을 이용하여 자동화공정 및 물류 시물레이션 모델을 구축한다. 자동화공정 시물레이션 모델은 모의 시험을 하고자하는 대상과 형상적으로, 기능적으로 똑같으며, 원하는 정확한 결과를 얻을 수 있는 시물레이션 모델을 구현하고 이를 이용하여 자동화 설비의 향상 정도를 확인한다. 자동화공정 시물레이션을 통해 얻을 수 있는 다양한 정보 중 단위 자동화공정에서 일어나는 작업시간을 추출해 물류 시물레이션의 입력 정보로 사용한다.

2.3 디지털 생산 시물레이션 검증

위 그림에서와 같이 개념 모델, 디지털 모델들은 검증 프로세스를 통해 구축된다. 최종적인 운용성검증(Operational validation)은 모델의 적용성 범위내 디지털 모델의 결과값 거동이 의도한 목적대로 충분히 정확하게 나오는지 여부에 따라 결정되고 현장 실험을 통해 이루어진다.[Sargent 2001]

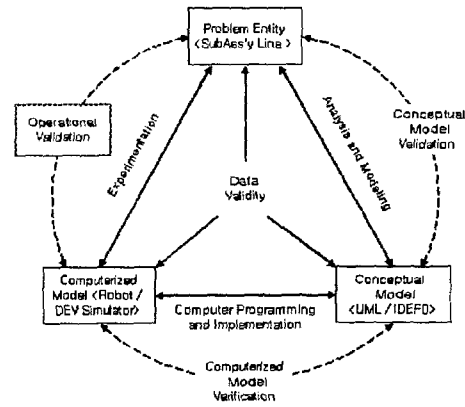


그림 4 시물레이션 검증 프로세스

3. 조선 소조립 공정 적용 예

3.1 적용대상

위에서 살펴본 바와 같이 디지털 선박생산 시물레이션 구축을 위해 조선 소조립 공정을 선택해 AS-IS모델이 TO-BE모델로 바뀔 때 따라 일어나는 공정의 변화 및 타 공정에 미치는 영향에 대해서 알아본다.

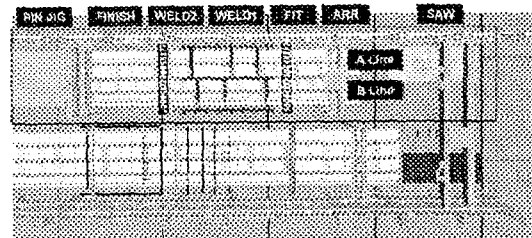


그림 5 소조립 공정의 레이아웃

위에서 보는 바와 같이 소조립 공정의 프로세스는 다음과 같이 이루어졌고, 세부 프로세스에 대해서 설명하면 다음 그림과 같다.

위 세부공정 중 자동화공정용접에 해당하는 공정이 기술 개발로 표1과 같이 바뀔 때 어떠한 공정의 변화가 일어나는지 알아본다.

표 1 AS-IS와 TO-BE 시스템 비교

	AS-IS	TO-BE
용접토치	일반토치	고속토치
용접속도	36cpm	80cpm



그림 7 자동화공정 시뮬레이션

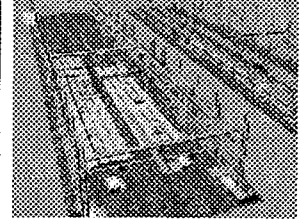


그림 8 라인 시뮬레이션 시뮬레이션

3.2 디지털 생산 시뮬레이션 결과

용접토치 속도가 바뀔에 따라 로봇용접 스테이지의 작업시간이 어떻게 달라지는지 확인하기 위해서 자동화공정 시뮬레이션을 수행했고, 실험을 통하여 시뮬레이션 모델을 검증했다. 본 모델은 현장 자동화공정의 작업 시간과 비교시 2분 19초의 오차를 가지는 것을 확인했고, 이는 로봇용접 스테이지 전체작업 시간의 2.9%였다. 여기서, TO-BE모델의 작업시간을 예측하기 위해서 용접로봇의 속성을 표1과 같이 수정한 후 적용하였다. 이를 통해서 고속토치를 적용하였을 때, 작업시간을 예측할 수 있었다.

표2. TO-BE모델의 작업시간 예측

	AS-IS	TO-BE
Digital World	109.2분	83.5분
Real World	111.6분	85.4분

자동화공정 시뮬레이션을 통해 새로이 예측된 작업시간들은 라인 시뮬레이션의 입력값으로 사용이 되고 이에 따라 공정의 물류흐름을 시뮬레이션 할 수 있게 되었다.

물류 시뮬레이션을 하기 위한 입력 정보는 현장에서 사용하는 작업관리시스템에서 데이터를 추출하여 사용하였고, 시뮬레이션을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 시뮬레이션 시간: 60 hrs
- ② 입력데이터양: 일주일치 SKID 물량
- ③ 공정의 준비시간, 고장시간 무시
- ④ 후속공정이 끝나지 않으면 선행공정은 대기

위의 가정 아래 시나리오에 따른 물류 시뮬레이션을 수행한 결과 AS-IS에 비해 TO-BE의 처리량이 35% 증가함을 알 수 있었다. 하지만 TO-BE모델은 여전히 AS-IS모델과 같이 로봇용접 스테이지가 과부하 공정이었으며, 개선의 여지가 남아있음을 알 수 있었다.

TO-BE 모델을 개선하기 위해 로봇용접 스테이지 구간의 작업시간을 작업관리시스템이 아닌 실험을 통해 얻었던 데이터를 바탕으로 다시 산출하였고, 여기에 용접로봇에 들림 용접기능을 가미하였다(CASE1). 그 결과 병목구간이 배재로 옮겨감을 알 수 있었다. CASE1에서 들림용접을 수행함으로써 수동용접 스테이지에 투입되었던 두명의 작업자에서 여유가 생겼고, 이 인원 중 한명을 배재 공정에 투입시켜 시뮬레이션하였다. 이로 인해 다시 병목 구간이 취부로 이동함을 알 수 있었다

(CASE2). 여기서 다시 취부 공정에 작업자를 한명 늘인 결과 병목 공정이 마무리로 이동함을 관찰할 수 있었다(CASE3). 이를 통해 본 연구에서는 각 공정성능의 변화에 따라 라인에서의 물류의 흐름의 변화를 명확히 확인할 수 있었고 그에 따른 대안을 마련해 낼 수 있었다.

표 7 시나리오에 따른 병목공정의 변화

공정 \ 모델	AS-IS	TO-BE	CASE1	CASE2	CASE3
SAW	0.51	0.45	0.39	0.36	0.31
ARR	1.63	1.54	1.53	0.78	0.68
FIT	1.41	1.39	1.47	1.56	1.00
WELD1	2.45	1.93	0.79	0.87	0.75
WELD2	0.97	1.00	0.23	0.22	0.19
FINISH	0.88	0.95	1.02	1.07	1.01

표 7에서는 AS-IS, TO-BE, CASE1, CASE2, CASE3로 변함에 따라 병목공정(표에서 짙은 부분)이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

표 8 시나리오에 따른 생산성 변화

	AS-IS	TO-BE	CASE1	CASE2	CASE3
60시간동안 조립된 SKID갯수	20	27	33	37	38
38개의 SKID 조립시간	107.5	94.5	75.1	69.4	56.6
생산성향상 (%)	0	35	65	85	90

표 8에서 볼 수 있듯이 다양한 시나리오에 따른 시물레이션 결과로 병목 공정이 이동함에 따라 생산량이 증가하는 것을 확인할 수

있다.(표 8, 그림 9)

그림 9 시나리오에 따른 생산성 변화

4. 결론

본 연구에서는 선박 제조업에 디지털 생산의 개념을 적용시키기 위한 체계적인 방법론을 제시하였고, 그 예로써 조선 소조립 공정의 디지털 모델을 구축하는 기본적인 전략을 소개하였다. 더불어 구축된 디지털 모델을 이용하여 새로 개발된 용접로봇을 현장 투입전 미리 시물레이션 해봄으로써 현장에서 일어날 수 있는 다양한 변화를 예측하고 그에 따른 대안을 마련해 보았다.

5. 후기

본 연구는 “고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법개발”의 일환으로 수행되었으며, 산업자원부·정보통신부의 연구비 지원에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- [1] 신중계, 이장현, 우종훈, “디지털 선박생산 (Digital Shipbuilding) 개념”,

- 대한조선학회논문집, 제38권 제1호, pp. 54-62, 2001
- [2] 신종계, "Introduction to Digital Shipbuilding," 한국 CAD/CAM 학회 Workshop 자료집, 한국 CAD/CAM 학회, pp. 299-340. 2001
- [3] 신종계, 이장현, 우중훈, 김용균, 이종무 "디지털생산을 위한 초기 모델 개발 소개 (조선소 성형공장을 중심으로)," 대한용접학회지, 제20권 제1호 2001
- [4] 신동헌,우중훈,이장현,신종계,"적응시스템 접근법을 이용한 조선소 가공공장 분석 (Forming Shop Analysis with Adaptive Systems Approach)", 대한조선학회논문집, 제39권 제3호, pp 75-81, 2002
- [5] Sargent, R. G., "Some approaches and paradigms for verifying and validating simulation models", Proceedings of the Winter Simulation Conference. 2001
- [6] PLM Network vol.18, 5~6, Sep, 2003

● 저자소개 ●

이광국

2001 부산대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2003 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 석사
2003~현재 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 박사과정
관심분야: Simulation, Manufacturing System

신종계

1977 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
1979 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 석사
1988 미국 M.I.T. 대학 해양공학 박사
1993~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수
관심분야: 시뮬레이션 기반 생산시스템

우중훈

1998 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2000 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 석사
2000~현재 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 박사과정
관심분야: Simulation, Manufacturing System

최양렬

1988 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
1990 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 석사
2001 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 박사
관심분야: Simulation & Planning of Manufacturing System

이장현

1993 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사

1995 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 석사

1999 서울대학교 공과대학원 조선해양공학과 박사

1999~현재 서울대학교 해양시스템공학연구소 연구원

관심분야: PLM, Modeling & Simulation of Manufacturing system

김세환

1980 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사

1982 서울대학원 공과대학원 조선해양공학과 석사

1984~1986 한진중공업 선체설계

1986~현재 삼성중공업 조선플랜트 연구소, 생산자동화시스템 개발

관심분야: 절단/용접자동화, 도장자동화, Simulation, 용접 Process