고부가가치 선박개발을 위한 디지털 선박생산

이 글에서는 먼저 디지털 생산의 개념에 대해 설명하고, 이어서 조선산업에의 디지털 생산 적용, 디지털 선박 생산 방법론, 디지털 조선소 활용을 위한 시스템 프레임 워크 그리고 끝으로 디지털 선박생산 적용효과에 대해 소개한다.

신 종 계 / 서울대학교 조선해양공학과, 교수 e-mail : jgshin@snu.ac.kr
우 종 훈 / 서울대학교 공과대학, 박사수료
이 광 국 / 서울대학교 공과대학, 박사과정
오 대 균 / 서울대학교 공과대학, 박사수료
이 춘 재 / 서울대학교 공과대학, 연구원
김 세 환 / 삼성중공업㈜ 생산기술연구소, 파트장

서 론

오늘날 세계적인 자동차, 항공 등 기계분야 제조사들이 PLM(Product Lifecycle Management) 개념을 적극 도입하여 생산성 향상과 경쟁력 향상을 가져오고 있으나 국내 제조업은 아직까지는 PLM 또는 가상 생산의 개념을 실제 설계, 생산에 도입한 예가 거의 없고, 최근 들어 메이저 제조 업체를 중심으로 PLM 도입성 검토 수준의 프로젝트를 간헐적으로 진행중인 상황이다. 그러나 외국의 경우 미국의 MARITECH[1] 등의 프로젝트, 유럽의 ESPRIT[2], MARITIME 등의 프로젝트 등을 통해서 볼 수 있듯이 국가적 차원에서, 특히 국방 산업의 막대한 자본을 등에 업고 하이테크의 조선 공학에 기반한 새로운 조선산업 인프라 구축을 위해 십수년 전부터 개발을 해오고 있다. 일례로 미국 해군은 가상 건조 시스템의 필요성을 절실하게 느끼고 프랑스의 Dassault Systemes과 공동으로 가상 건조 시스템 구축에 필요한 선체 설계 시스템의 개발에 나섰고[3] NSRP(National Ship Research Program)를 통해 Michigan 대학 등에 디지털 조선소(digital shipyard) 구축을 대대적으로 지원하고 있다. 이를 통하여 선박 건조에 소요되는 시간을 단축시키고 검증된 디지털 건조 기술을 상선의 건조에 적용하여 군함 및 상선 건조 분야에서 새로운 기술의 리더로 부각하고자 노력하고 있다.(신종계 등 2001)

PLM이란 제품의 개발, 기획부터 시제품, 생산, 소멸까지의 제품 생명주기와 그것을 조율하고 조합하는 업무 프로세스를 포함하는 제품 개발 관리를 의미한다. PLM의 목표는 모든 제조업이 추구하는 바가 그러하듯 제품을 만드는 과정에 있어서 또는 어떠한 서비스를 제공하는 일에 있어서 가장 빠른 시간에 가장 적은 비용을 이용하여 가장 정밀/정확한 제품/서비스를 제공하는 데 있다고 할 수 있다.(IBM PLM Network, 2003)

21세기 조선 산업은 세계가 단일 시장이며, 국제 경쟁력을 갖추지 않으면 안될 중요한 시점에 있다. 따라서, 우리나라의 조선산업도 기존의 시스템을 대체해서 새로운 기술로 무장한 인프라의 구축이 필요하다고 할 수 있다. 새로운 성장 원천 확보는 무엇보다 먼저 기존 산업의 혁신능력을 강화하는 것에서부터 비롯돼야 한다. 이를 위해 선박 건조의 PLM 개념에 기반 한 e-Manufacturing 도입 및 전사적 구조 강화가 필수적이다. 연구개발에서 설계, 건조 그리고 마케팅에 이르는 조선 산업의 가치 사슬 별로 정보화를 촉진하여 단계별 혁신능력을 제고하고 특히 생산 계획 및 생산 MES(Manufacturing

1. www.marad.dot.got/nmrec/maritech/proji.html
2. www.cordis.lu/esprit/home.html
3. http://www.3ds.com/news-events/press-room/release/342/1

표 1 e-Manufacturing의 핵심요소(홍지수, 2003)

		세부 구분	기대 효과
1	Information Management & Transparency	✓실시간 환경에서 수집되는 정보로부터의 주요 비즈니스 이벤트에 기반 한 중요 정보 모니터링	✓사전에 문제점을 발견함으로써 예상 발생 손해 비용 감소
		✓플랜트 내에 RFA(Remote Frequency Identification)과 같은 무선 기술을 적용한 어플리케이션 적용 비코드를 적용 한 제품, 부품, 재료 등에 대한 재인 및 실시간 추적	✓에러 감소 (e.g 재고 모니터링 및 추적 자동화) ✓적시 적소에 제품, 부품 소급 및 공급 (e.g Just In Time)
2	Digital Manufacturing & Planning	✓컴퓨터 시뮬레이션 통을 이용한 시뮬레이션 Planning과 생산 제조환경 설계 (e.g 인간공학 시뮬레이션, DES 시뮬레이션, 로봇 시뮬레이션)	✓프로세스 설계 업무 개선 ✓프로세스 설계 및 검증 과정에 대한 의사 결정 지원 ✓개선 안에 대한 신뢰성 부여
3	Enhanced Plant Floor System	✓기존 MES의 기능 확장	✓선행 분석 및 검증에 의한 비용 감소
		✓생산설비유연성 증대을 위한 자동화 테크놀러지의 확대 적용	✓생산성 및 생산량 증대
4	Value Chain Integration	✓제조 PPR(Product, Process, Resource) 정보 통합 및 컨트롤을 위한 제조 프로세스 계획 툴을 사용하여 제조 워크플로우 개선	✓제조 생산 계획 소요 시간 감소
		✓플랜트와 전사적 기업 업무 시스템의 개선환 연계성 카보 (e.g 제조 현업에 대한 업무 시스템의 실시간 모니터링)	✓재고 축소 ✓의사 결정 프로세스 개선

Execution System) 및 자동화에 있어서 e-Manufacturing 방법론, 특히 디지털 생산 도입이 선행되어야 한다.(우종훈 2004)

디지털 생산

디지털 생산이란 제조업의 전 과정에 포함된 설계 · 생산 · 엔지니어링 정보와 노하우 등 생산시스템의 물리적 논리적 구성요소와 거동을 엄밀하게 모델링 하여 통합된 디지털 모델을 구성하고 가상 현실(VR : Virtual Reality) 기술과 네트워크 기술 등을 활용하여 생산의 전 과정에 걸쳐 관련된 여러 부문에서의 의사결정과 제어를 수행하는 기술을 말하며, 디지털생산 기술을 사용하여 실제 작업 전에 생산 공정을 미리 시뮬레이션 해 봄으로써 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 필연적으로 발생하는 재계획 및 수정에 따른 비용과 시간을 절감할 수 있는 기술이다(신종계 2003). 이 기술은 3D CAD 및 PDM을 통하여 구축된 제품의 Digital Mockup과 가상현실 기술을 이용하여 구축된 가상공장(virtual factory)을 필요로 한다. 그리고 CAX 프로그램 및 모든 정보 시스템간의 통합을 바탕으로 이루어진다.

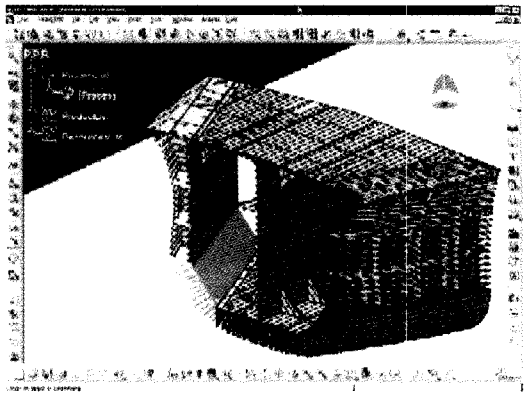


그림 1 조선 산업 적용 사례

조선산업에의 디지털 생산 적용

조선산업에의 디지털 생산 적용 사례로써 손석제(2000)와 김홍태(2002) 등이 각각 조선소 성형공장과 탑재공장에 대해 시뮬레이션 기법을 사용한 연구를 수행한 바 있다. 국내의 대학으로는 서울대학교의 디지털선박신기술센터(Digital Shipbuilding Innovation Center)를 중심으로 현재 조선 분야의 가상생산 기술을 연구하고 있다. 특히, 2001년 12월부터 산업자원부 및 정보통신부의 지원을 받아 서울대학교와 삼성중공업을 중심으로 가상생산기술을 활용한 디지털 통합건조 공법 개발에 관한 연구를 계속 진행해 오고 있다

이 글에서는 선박 건조에 디지털 건조의 개념을 적용시키는 선박 건조의 디지털 모델을 구축하는 기본적인 전략을 소개하고 구축 사례 및 활용방안에 대해 언급하고자 한다.

선박 건조의 디지털생산 모델 개발에는 생산 정보 소프트웨어 및 자동화장치의 개발, 건조 과정의 철저한 객체지향적 생산공정 분석, 이를 통한 디지털 선박 건조 모델 개발을 통해 조선소 생산성 향상을 위한 최적의 조선소 모델 개발을 필요로 한다.

자동차산업과 같은 대량 생산 및 부품 조립 산업은 이미 생산 정보 소프트웨어 및 자동화 장치가 거의 전 공정에서 활용되고 있으므로 디지털 생산 기법을 다소 용이하게 적용할 수 있다. 그러나 선박의 건조 공정은 자동차산업과 같은 대량생산 제조업과 달리 3차원 CAD, 생산 및 공정 정보 소프트웨어 및 자동

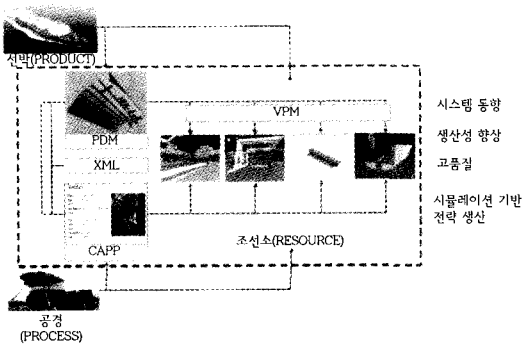
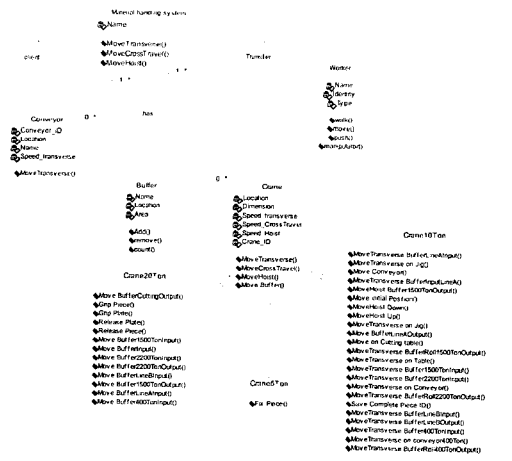


그림 2 디지털 통합 건조 공법 개발



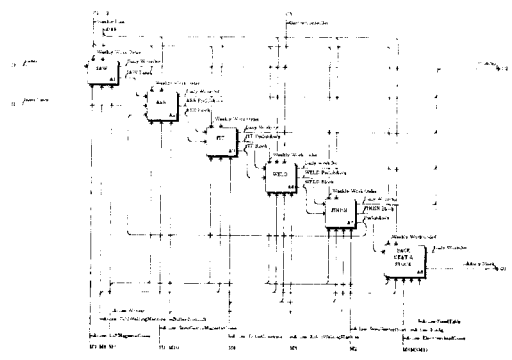


그림 3 UML & IDEF 모델링 분석 기법

화장치의 개발이 우선적으로 필요하며, 이러한 정보 및 자동화 장치를 통합한 디지털 선박건조 모델이 동시에 개발되어야 한다.

디지털 선박생산 방법론

국내에서 최초로 디지털 생산을 조선 산업에 적용한 대표적이 사례로 꼽을 수 있는 '고부가가치 선박개발용 디지털 통합건조 공법개발' 과제는 디지털 생산 방법론을 조선 분야에 적용하여 조선소의 제품, 설비, 공정, 공법 등을 디지털화(모델링)하여 컴퓨터 내에서 미리 선박건조 과정을 시뮬레이션 해 봄으로써 최소의 비용과 시간으로 최적의 대안을 찾는 시스템 개발 및 구축하는 것을 목적으로 한다. 디지털 통합 건조 공법에 대한 다이어그램을 그림 2에 보이고 있다.

제조 시스템 분석

가상 선박 건조의 디지털 건조 모델 구축을 위해서는 우선적으로 As-Is 모델에 대한 객관적이고 엄밀한 분석이 요구된다. 이를 위해 표준공정과 제조시스템을 UML(Unified Modeling Language)과 IDEF(Integration DEFinition)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. 그림 3에서는 UML 및 IDEF를 이용한 선박 건조 모델 분석의 예를 보이고 있다.

본 개념정보 모델은 프로젝트에 이해가 얽혀 있는 이해관계자(stakeholder)와의 의사소통을 원활히 할 뿐만 아니라 요구사항을 모델링 할 수 있는 좋은 도구가 된다.

제품 설비 및 모델링

제품 모델링은 광범위한 관점에서는 설계의 초기 단계에서부터 3차원 형상 모델링을 시발점으로 하는 PDM(Product Data Management)으로 체계화 시켜야 한다. 제조 또는 건조하고자 하는 선박 및 부품의 초기 설계에서부터 3차원 CAD를 통

그림 4 3차원 CAD 시스템을 이용한 설비 모델링 사례

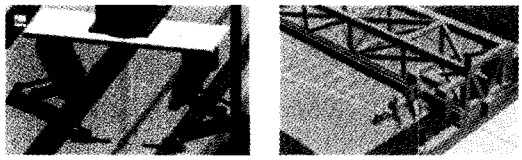


그림 5 설비 Kinematic 모델링 사례

한 제품 정보가 구축이 되어야만 가상생산 모델을 이용하여 생산공정을 쉽게 시뮬레이션 할 수 있다. 현재 제품 모델링은 조선소에서 개발 및 적용 중인 CAD/PDM 시스템이 아직은 적용성 검토의 단계에 있기 때문에 현재 단계에서는 단품에 대한 제품 데이터를 자체적으로 가공한 3차원 제품 모델을 이용하는 단계에 머무르고 있다. 아래 그림에서 선박 건조를 위한 단계 중 가공 공장에 대한 설비 모델링에 3차원 CAD 시스템을 이용한 사례를 보이고 있다.

설비 키너매틱(Kinematic) 모델링

제품을 생산하기 위하여 필요한 설비는 각각의 단위 공장과 내부의 단위 작업 기계, 그리고 AGV 와 같은 운송 수단, 작업자 등을 포함하는 객체이다. 제품은 이러한 자원을 통해서 생산된다. 이러한 각각의 설비를 3차원 가상 시뮬레이션 기술을 이용하여 가상 제조 시스템 모델을 만든다. 앞선 객체 분석 단계에서 자원의 속성과 기능을 분석하고 모델링 한 정보를 이용하여 자원들의 객체 특징을 가상 제조 시스템 모델로서 구축한다. 설비 모델링의 목적은 실제 데이터에 근거한 가상 설비의 구현, 단위 공정의 작업 검증 그리고 공장 배치의 타당성 검증이다.

앞서 모델링 한 가공 공장 설비의 요소들은 범용 시뮬레이션 응용 프로그램인 DELMIA 사의 IGRIP을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 이를 위해서 3차원 설비 모델링 요소들은 조립을 한 후 설비의 거동에 적합한 운동학적인 특성을 부여한다. 이렇게 구성된 설비 시뮬레이션 모델을 통해서 공정의 유효성을 검증한다. 설비의 위치, 동작과 시스템의 운용 시간을 최적화하고, 설비와 부품, 공구, 치구 및 주변 설비와의 충돌도 미연에 방지할 수 있기 때문에 설비 비용과 공정 시간을 줄일 수 있다. 또한 설비 시뮬레이션을 통해 실제 가공 정보의 정도를 높이고 이를 통한 결과는 OLP(Off Line Programming) 등과 연계되어 설계에서 생산에 이르는 제품의 라이프 사이클을 단축시키는 데 기여할 수 있다. 그림 5에서는 이러한 과정을 통해 구축된 가공 공장의 모델링 사례를 보이고 있다.

공정 모델링

공정 모델링을 이용한 시뮬레이션은 설비 모델링을 이용한 시뮬레이션과는 차이가 있다. 시뮬레이션의 목적이 설비 모델링의 경우에는 주로 물리적, 기구학적인 관점에서의 유효성 검증에 있다면 공정 모델링의 경우에는 일련의 변화가 시스템에 어떠한 변화를 줄 것인지를 예측하고, 임의의 결과를 체계적/논리적으로 예측하기 위함에 있다. 여기서 시스템이란 어떠한 목적을 달성하기 위해 상호 연관된 객체들의 그룹이라고 할 수 있다.

공정 모델링 시스템으로서의 접근 관점은 이산 시스템(discrete system), 동적 시스템(dynamic system), PDM+확률 시스템(product defined + stochastic system)으로 요약될 수 있다. 물류 시뮬레이션을 위해서 이산 사건 기반의 범용 시뮬레이션 프로그램인 QUEST를 이용하고 이러한 공정 모델링 및 시뮬레이션을 통한 최종 목적은 물류 흐름의 최적화를 위한 공정의 유효성 검증과 시스템 성능 검증이라고 할 수 있다.

공정 모델링을 위한 단계는 다음과 같다. 모델링하고자 하는 대상의 배치를 결정하고 그에 대한 물류 흐름을 분석하는 작업을 한다. 그 다음 단계로 기본적인 규칙을 가지는 기본 논리 모델을 구성하는데 요구 사항의 범위/만족도에 따라 적절한 가정을 통해서 기본 논리 모델이 최종 모델이 될 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 이를 기본으로 해서 모델의 구체화 작업에 들어간다. 구체화 작업의 일환으로 각 설비에 대한 요소 모델을 구성하게 된다. 요소 모델들이 구성되어 라인업을 완성하게 되면 이들을 적절히 배치

하여 최종적인 통합 공정 모델을 구축하게 된다.

디지털 조선소 활용을 위한 시스템 프레임워크

디지털 조선소 프레임워크

현재 앞서 언급한 과정 및 단계를 통한 적용 및 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 현재 디지털 생산 모델은 현업의 검증 및 보완, 새로운 공법 적용을 위한 가능성 검증 등에 실제 부가가치를 창출하며 사용되고 있고 앞으로는 이러한 단계를 넘어서 선박 건조를 위한 전사적 의사 결정, 선박 건조 스케줄링 및 플래닝 등에 실제 활용 될 수 있는 효용성을 가지는 모델을 향해 나아가고 있다. 이를 위해 기존의 시뮬레이션 기술 외에도 PDM, ERP 등 타 시스템과의 인터페이스 구축, 최적화 기술, 동기화 기술, 분산 기술 등에 대한 기초 연구 및 적용성 테스트가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 목적을 가지고 본 연구에서는 웹 기반의 시뮬레이션 프레임워크를 소개하였다. 웹 기반을 고려한 이유는 복수의 클라이언트가 동일한 시뮬레이션 서버를 이용해 작업할 수 있게 하기 위해서이다. 또한 서로 다른 환경에 있는 스케줄링 시스템, 미들웨어, 클라이언트, 시뮬레이션 엔진에 대한 비즈니스 로직을 처리하기 위한 서버 역할을 할 수 있는 모듈이 필요하기 때문에 java servlet/jsp 기술을 이용하게 되었다.

본 연구에서는 개발 및 구축하고 있는 다양한 디지털 시뮬레이션 모델에 대한 지원 시스템에 대한 초기 프레임워크 정의 및 프로토타입 작성을 목표로 하였다. 이를 위해 client/server 아키텍처의 웹 기반 시스템을 개발하고 연계되는 DB 및 시뮬레이션 엔진에 대한 인터페이스를 설계 및 구축하였다.

개발하고자 하는 시뮬레이션 통합 프레임워크는 그림 7에 보이듯이 사용자 환경을 담당하는 클라이언트 부분, 시뮬레이션 엔진 및 서버와의 중계 역할 및 비즈니스 로직 부분을 담당하는 middle 부분, 시뮬레이션 엔진 및 계획 정보 DB 및 transaction을 처리하는 server로 이루어진다.

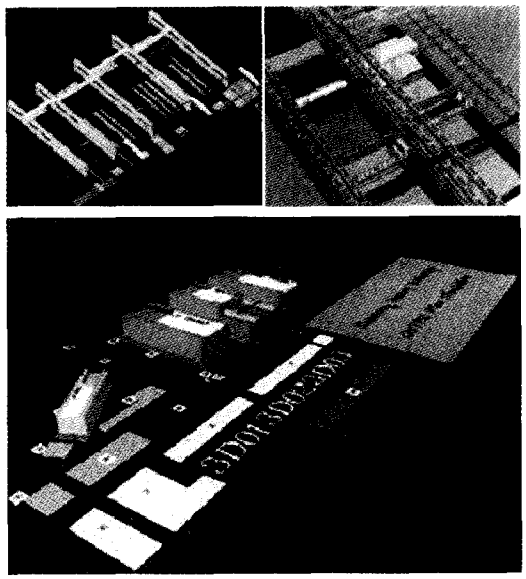


그림 6 조선소 공장 모델링 사례

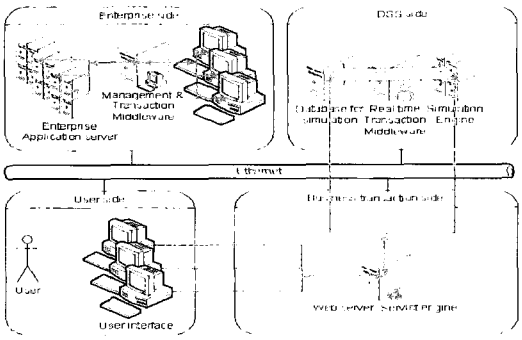


그림 7 System Framework

이러한 프레임워크는 사용자의 생산 계획 수립을 위한 의사결정 지원 도구로서 원하는 작업장의 시뮬레이션 모델을 선택, 실행 및 결과 추출의 과정을 웹에서 실행 할 수 있는 기능을 제공한다. 시뮬레이션 통합 라이브러리를 통해 작업자가 원하는 시뮬레이션 모델을 선택하면 시뮬레이션 모델 접근이 가능해지고 원하는 기간의 작업의 결과를 손쉽게 확인할 수 있다. 해당 결과는 작업자가 식별하기 쉬운 각종 그래프 및 차트로 구성이 되어 있고, 해당 데이터들은 생산정보 데이터베이스에 저장된다. 그림 8은 클라이언트 모듈의 화면 구성이다.

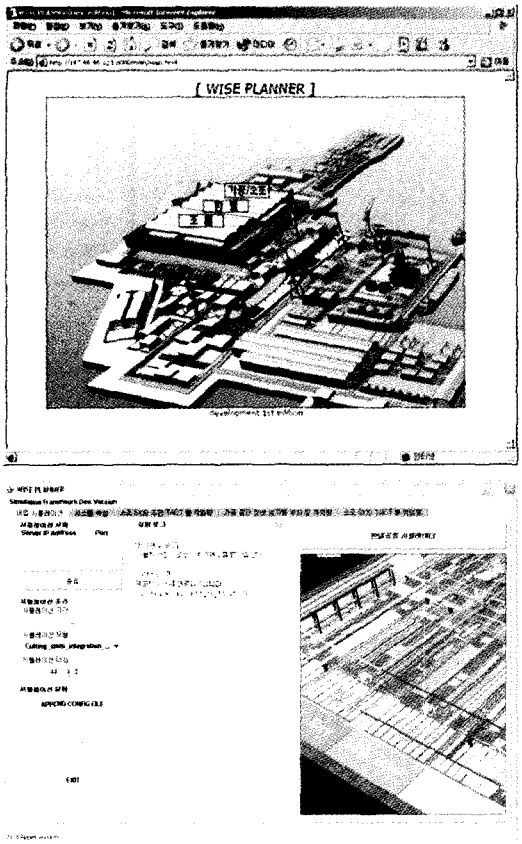


그림 8 Client module

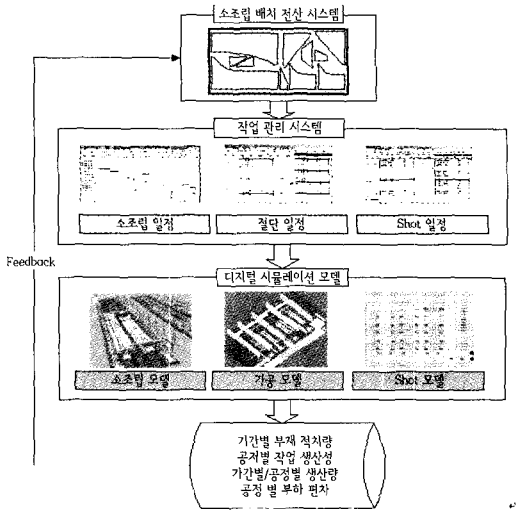


그림 9 Local strategy for the Digital Shipyard plication

디지털 조선소의 통합 및 활용 전략

앞 장에서 소개한 시뮬레이션 활용을 위한 프레임워크를 실제 스케줄링 업무에 적용하기 위해서는 기존 스케줄링 업무 프로세스로의 위치 정립이 필요하다.

이러한 프레임워크를 선박 생산에 적용한 디지털 성형 공장 모델 및 프레임워크, 디지털 가공 공장 및 프레임워크, 디지털 소조립 공장 및 프레임워크를 소개하고 각 프레임워크를 활용한 각 공장의 운영 시나리오에 대한 분석을 수행 한 예는 우종훈(2004) 등이 사례를 발표한 바가 있다. 이 글에서는 단순히 개별 공정/공장에 대한 프레임워크 활용이 아닌 선박 생산 계획 시스템과 연계되어 활용될 수 있는 전략을 소개하고자 한다.

그림 9에서는 소조립 생산 계획 전산 시스템으로부터 소조립 SKID 배치에 대한 정보를 받아서 각 공정별 시스템에서 순차적으로 생산 계획을 작성한

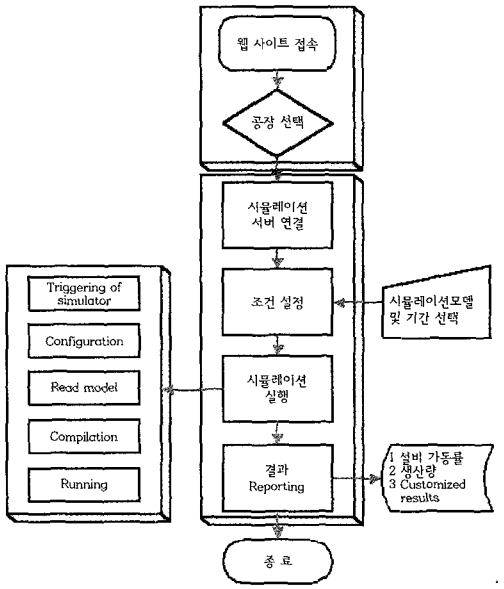


그림 10 프레임워크 운용절차

후 작성된 계획 정보를 디지털 모델을 이용하여 검증하고 문제점(공정 정체, 과부하, 부재 미 공급률 등)을 파악하여 다시 소조립 SKID 배치부터 계획을 재조정하는 절차를 보이고 있다.

프레임워크 운용절차

프레임워크 운용절차는 실제 디지털 조선소의 최종 사용자(end-user)가 스케줄링을 수행할 경우

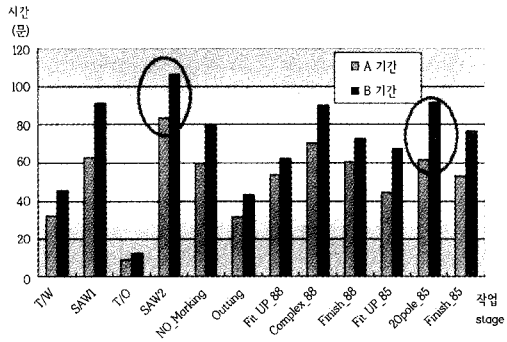


그림 11 스테이지별 작업시간

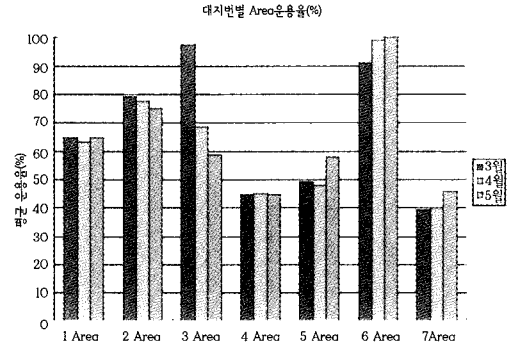


그림 12 작업장 운용률

표 2 제품의 속성

	A 기간	B 기간
전체물량	70판	72판
극후판 (50t 이상)	9판	19판
SEAM수 (4개 이상)	20판	27판
LONGI수 (21개 이상)	5판	12판

표 3 생산리드타임 결과

	A 기간	B 기간
1일차	8.8시간	13.2 시간
2일차	10.6시간	10.3 시간
3일차	9.9 시간	12.5 시간
4일차	12.0 시간	20.0 시간
5일차	10.6 시간	14.0 시간
전체리드타임	51.9 시간	69.9 시간

디지털 조선소에 접속하여 스케줄링에 필요한 결과를 산출하는 과정을 나타낸다.

이 글에서 소개하는 프레임워크는 기본적으로 웹을 통하여 디지털 조선소를 이용하고자 하는 목적이 있다. 최종사용자는 디지털 조선소 해당 웹 페이지에 접속하여 대상 공장을 선택한다. 선택된 공장 정보는 JSP servlet engine을 통하여 해당 GUI (Graphic User Interface)를 로딩시킨다. 로딩된 GUI에서 최종사용자는 시뮬레이션을 위한 조건을 설정하고 시뮬레이션을 위한 준비 작업을 수행한 후 시뮬레이션을 시작한다. 시뮬레이션이 완료되면 시뮬레이션 결과에 대한 리포팅(reporting) 작업을 수행하게 된다.

그림 10에 디지털 조선소 프레임워크 운용절차에 대한 다이어그램을 보이고 있다. 최종사용자는 이를 통해 기존에 일정계획 시 발생했던 비효율을 줄이고 객관적이고 정량적인 데이터를 통해 효율적인 관리 체계를 정립할 수 있으리라 기대된다.

디지털 선박생산 적용효과

앞서 소개한 디지털 조선소 모델 및 시스템 프레임워크를 사용한 실제 사례에 대해 소개하고자 한다.

패널라인 시뮬레이션 결과

패널라인 시뮬레이션 사례에서는 실적 데이터를 이용하여 물량 특성(극후판 다소)이 다른 두 기간에 대한 패널 라인의 설비 및 일자별 부하와 문제점을 분석해 보았다. 표 2에서는 두 기간 A, B의 물량 특성을 나타내고 있고, 표 3에서는 두 기간 A, B의 생산 리드타임에 대한 시뮬레이션 결과를 보여있다.

그림 11은 물량 특성에 따른 스테이지별 주간 평균 부하 비교 분석 결과를 나타내고 있다.

옥외물류 시뮬레이션 결과

옥외 물류 시뮬레이션 사례에서는 총 4개월치의 일정 계획 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 3개월치 물량에 대한 일자별, 작업장별 운용률 및 일자별 부하정도, 가공제품 개수 및 용적률 등을 각 주요 작업장에 대해 결과 값으로 추출하였다.

그림 12는 주요 작업장에서의 운용률을 나타내고 있고, 그림 13에서는 특정 작업장에 대한 일자별 점유율 변화 추이를 볼 수 있다.

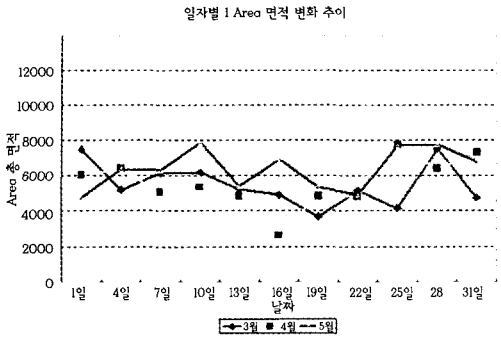


그림 13 일자별 작업장 면적 변화 추이

맺 음 말

디지털 조선소 구축을 위한 본 연구는 기업의 장기적인 전략의 일환으로 추진중인 과제로 이 글에서는 일부 적용사례를 소개하는 정도로 내용을 정리하였다. 본 연구의 결과물은 기업에서 보유하고 있는 설계 · 생산 시스템과의 연계 또는 통합을 통해 실질적인 효과를 볼 수 있으며 연계 및 통합을 위한 기본 작업들은 본 연구 범위에 포함하여 프로토타입(prototype) 수준에서 개발이 이루어졌다고 할 수 있다. 향후, 본 디지털 조선소의 확장 용이성을 충분히 활용하여 디지털 조선소 전체 모델의 완성을 계획하고 있으며 비즈니스 프로세스(business process) 분석을 통해 적용 개소 확대를 검토하고 있다. 또한 디지털 조선소 구축과정에서 얻은 디지털 모델(digital model)을 가상현실 기술과 접목하여 구체적 환경(안전, 훈련, 품평 등)에서도 활용도를 높이고자 한다.

후 기

본 연구는 '고부가가치 선박 개발용 디지털 통합 건조 공법개발'의 일환으로 수행되었으며, 산업자원부, 정보통신부의 연구비 지원에 감사 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] 노상도, 홍성원, 김덕영, 이창호, 손창영, 한형상, "자동차 가상생산 기술 적용 · 차체공장 가상 플랜트 구축 및 운영," 2001 한국 CAD/CAM 학회 Workshop 자료집, 한국 CAD/CAM 학회, pp. 342~362.

[2] 신종계, "Introduction to Digital Shipbuilding," 2001 한국 CAD/CAM 학회 Workshop 자료집, 한국 CAD/CAM 학회, pp. 299~340.

[3] 신종계, 이장현, 우종훈, 김용균, 이종무 "디지털 생산을 위한 초기 모델 개발 소개 (조선소 성형공장을 중심으로)," 대한용접학회지, 제20권 제1호.

[4] 신동현, 우종훈, 이장현, 신종계,"적응시스템 접근법을 이용한 조선소 가공공장 분석 (Forming Shop Analysis with Adaptive Systems Approach)", 대한조선학회논문집, 제39권 제3호, pp. 75~81, 2002.

[5] Jong Gye Shin, Kwang Kook Lee, Jong Hun Woo, Jang Hyun Lee, Se Hwan Kim, "A Modeling and Simulation of Production Process at a Shipyard", COMPIT (Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries), Hamburg university Germany, May 2003.

[6] Thomas Lamb, Hyun Chung, Mark Spicknall, Jong Gye Shin, Jong Hun Woo, Phillip Koenig, "Simulation-based Performance Improvement for Shipbuilding Processes", SNAME, San Francisco USA, September 2003.

[7] 우종훈, 이광국, 정호림, 이장현, 황규옥, 신종계, "디지털 조선소 구축을 위한 물류 모델 프레임워크" 2004 한국 CAD/CAM 학술발표대회 논문집, 한국 CAD/CAM 학회, pp. 133~142, 2004.

[8] 홍지수, 2003,"e-Manufacturing in Automotive Accenture Point of View", 2003 DELMIA Korea User Conference.

[9] IBM PLM Network vol.18, 5~6, Sep, 2003.

[10] 김홍태, "A Simulation-Based Shipbuilding System for Evaluation of Validity in Design and Manufacturing", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Department of Industrial Systems and Information Engineering Graduate School, Korea University, July, 2002.

[11] J.G. Shin and S. J. Sohn(신종계, 손석제), "Simulation-Based Evaluation of