
시뮬레이션 기반 조선생산실행시스템 프레임워크 설계

이광국*

Framework design of simulation-based ship production execution system(SPEXS)
in a shipyard

Kwang-kook Lee*

이 논문은 2011학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임

요 약

조선소에서 생산계획은 중추 신경적인 생산활동 중의 하나이다. 생산 중일정계획과 실행계획 간의 괴리로 인해 생산현장에서는 공정관리를 위한 충분한 정보를 얻지 못하고 있다. 본 논문에서는 생산계획과 통제 프로세스 분석을 통해 중일정계획과 실행계획 차이를 분석하고, 조선 생산실행시스템의 필요성을 도출한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션 기반 조선생산실행시스템(SPEXS)를 정의하고, 시스템적 요구사항 분석 프로세스를 통해 본 시스템의 기능적 아키텍처를 설계하며, 아키텍처의 기능요소를 기반으로 프레임워크를 구축한다. 제안된 프레임워크를 통해 생산계획의 신뢰도를 높이고, 계획 간의 실시간 피드백이 가능할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Production planning is one of the most important activities in shipbuilding enterprises. Shop-floor supervisors and planners still do not have enough information to effectively analyze shop operations because of the difference between production planning and shop-floor scheduling. In this paper, process analysis was conducted between production planning and shop-floor control to clarify the difference, and the necessity of the manufacturing execution system(MES) was derived in a shipyard. Therefore, the simulation-based ship production execution system(SPEXS) was defined by analyzing characteristics of MES. The architectural functions of the system were deduced from the process of requirement analysis. The SPEXS' framework was constructed on the basis of the architectural functions. This framework will provide more reliable production schedules and allow engineers to plan and control shop operations in real-time.

키워드

생산계획과 실행계획, 생산실행시스템, 디지털 생산, 이산 사건 시뮬레이션, 최적화

Key word

production planning & scheduling, manufacturing execution system(MES), digital manufacturing, discrete-event simulation, optimization

I. 서 론

조선 생산관리의 주요 활동 중에서 생산계획은 규명된 생산 프로세스와 공정 및 작업단위 정보를 이용하여, 자재의 수급 및 구매에 대한 일정을 세우고 재고를 관리하며, 인력의 총원 및 외주 계획을 세우는데 필요한 정보를 제공하는 생산 관리상의 중추 신경적인 핵심 활동이라 볼 수 있다.

일반적으로 조선소에서 사용되는 계획관련 용어에는 선표계획, 대일정계획, 중일정계획, 소일정계획, 실행계획, 공정계획, 표준정보관리 등으로 분류되고, 각각의 계획 영역 및 주요 흐름에 대해서는 그림 1과 같이 정리한다.

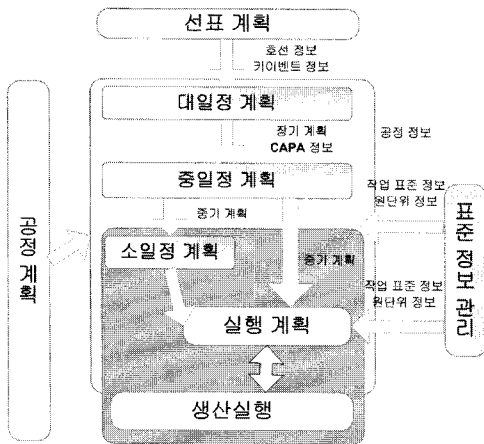


그림 1. 선박 생산계획 및 실행계획
Fig. 1 Ship production planning and scheduling

조선 실행계획에서는 생산계획에서 제시된 기간 내 제품 생산량을 달성하기 위해 세부 공정들에 대한 다양한 자원들을 계획하고 관리한다. 기존의 생산계획시스템(APS: Advanced Planning System)으로는 생산 중일정 계획까지로 범위가 제한되어 있고, 실행계획과 실질적으로 연계되지 못하여 많은 자원과 비용이 낭비되어 왔다[1]. 또한, 최근의 시장 환경은 제품 수명주기(PLC: Product Life Cycle)를 현저하게 단축시키고 있으며, 이에 탄력적으로 대응할 수 있는 생산 환경을 요구하고 있기 때문에, 생산계획과 실행계획과의 연계 문제와 생산실행이 더욱 중요해지고 있는 실정이다.

중일정계획과 실행계획 간의 차이를 최소화하기 위해서 생산관리에서도 업무흐름(work flow)을 시스템화하고 디지털화하여 생산관리 효율의 극대화를 위한 노력들이 진행 중인데, APS를 비롯하여ERP(Enterprise Resource Planning), SCM(Supply Chain Management), PLM(Product Lifecycle Management), MES(Manufacturing Execution System) 등 전사적 시스템간의 연계가 대표적이다.

MES는 생산현장 및 자동화 설비 등과 ERP 등의 전사 시스템 사이에서 제조실행을 담당하는 시스템을 말한다. 여기서 제조실행을 담당한다는 것은 생산계획을 제조현장에 지시하고 진척상황을 모니터링 하여 적절한 자재투입 상황을 통제하며 실적을 집계하는 동시에, 설비 및 품질 현황정보를 수집하여 통제가 필요한 상황을 판단하고 적절한 조치를 취하도록 하는 등의 통합적인 현장관리 기능을 수행함을 의미한다.

MES의 기능을 살펴보면, 생산실행계획, 공정 진행정보 모니터링 및 제어, 설비 제어 및 모니터링, 품질 정보 추적 및 제어, 실적정보 집계, 창고운영 관리, 재공품(WIP: Work in Process) 관리, 자재투입 관리, 인력 관리, 공무 관리 등 생산 현장에서 발생할 수 있는 모든 정보를 통합 관리한다고 할 수 있다. MESA(Manufacturing Enterprise Solutions Association)는 MES의 기능을 그림 2와 같이 대략 11 가지로 구분하고 있다[2].

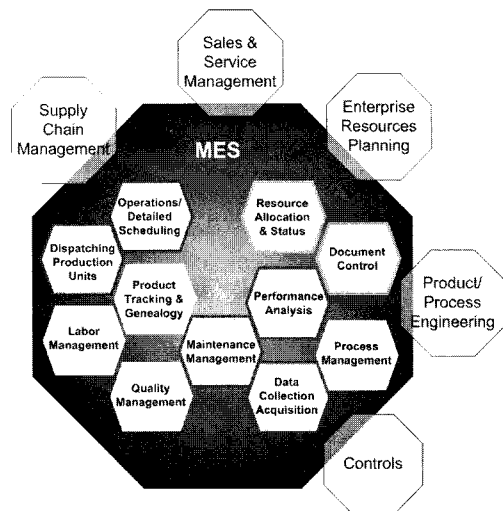


그림 2. 제조실행시스템 기능
Fig. 2 MES functions

하지만 선박 건조를 위한 생산실행시스템(MES)이 정립되어 있지 않고, 현업에서는 공정별로 ERP의 생산 모듈 또는 in-house 작업관리시스템을 활용하고 있다. 특히, 생산계획 분야에서는 생산량 예측 중심의 계획 방법론을 강구하는데 오랫동안 심혈을 기울였음에도 불구하고 선박 관련 제품의 특성상 복잡한 작업이 발생하고, 장비 오작동 등의 예기치 못한 작업이 잦아 예측을 위한 정도 있는 생산계획에는 한계가 있었다. 이로 인해 생산계획 기능이 강화된 생산실행시스템의 필요성이 한층 강조되었다.

선박 건조에 적합한 생산실행시스템 프레임워크를 구축하기 위하여 관련 연구를 살펴보면, 자동화 생산 시스템 설계를 위한 객체지향 모델링 프레임워크 개발 사례가 있다. 이는 JR-net(Job resource Relation net) 이라는 그래픽 모델링 도구와 자동화 생산 시스템에 대한 모델링 절차로 이루어져 있다. 이 연구에서는 제조 시스템 설계에 객체지향 프레임워크와 패턴넷 등의 정보화 기술을 접목하였지만, 실용화 단계까지 적용하기에는 부족하였다[3].

고 개발하였다는 점에서 의의를 가진다. 하지만, 연구가 실행 측면에 대한 시스템 개발 중심으로 구성되어 있고, 생산계획에 대해서는 고려하지 않고 있으며, 구체적인 시스템 활용에 대한 사례가 부족하다.

ERP 환경에서 유연 생산시스템 라인 관리에 적합한 제조실행시스템 아키텍처를 개발한 사례로, 이를 위해 IDEFO(Integration DEFinition) 모델링으로 제조 실행시스템의 기능적인 요구사항을 확인하고, 요구조건을 만족하는 제조실행시스템 아키텍처를 제안하였다[5]. 그리고 시스템 아키텍처를 스탬핑 머시닝 라인과 소재 가공라인에 적용하여 제안된 아키텍처의 효용성을 검증하였다. 본 연구는 전사적 자원관리 시스템과의 연동을 고려하고 유연 생산라인 관리에 적합한 제조실행시스템 아키텍처를 제안하였다는 점에서 의의를 가지지만, 단위 작업장의 실행시스템 중심이기 때문에 제품 혼합으로 구성된 두 개 이상의 공정이 연계된 생산시스템에 대한 내용이 부족하였다.

MES는 BOM(bill of materials), route 등의 생산정보 등도 MES에 효과적으로 연동되지 못하여 생산계획 기능의 최적화가 곤란한 상황이 발생하고, 대부분의 ERP 혹은 생산계획을 담당하는 시스템으로부터 생성된 생산지시(production order)를 수작업으로 변경할 수 있는 기능을 제공한다. 생산환경의 민첩성(agility)이 증시되고 응용시스템의 연계 필요성이 부각됨에 따라서 생산현장의 실시간 데이터를 반영하여 자재와 생산능력을 파악하고 생산지시를 업데이트 하는 기능이 강화되도록 구현되고, 이를 지원하기 위하여 시뮬레이션 기능이 제공되어야 한다[6].

동적인 환경 속에서 생산계획시 발생하는 불확실성을 해결하기 위해 single machine 시스템을 기반으로 주기적이고 사건 기반의 재계획 방법론을 실험한 바 있고 [7], 선박 건조 시 정도 있는 생산계획을 수립하기 위해 자원 제약을 기반으로 한 생산계획 시스템을 개발한 사례도 있다[8]. 이 시스템에서는 생산공정에 의한 제약을 받는 요소들을 추출하여 부하평준화를 통한 생산계획을 수립하였고, 자원 및 재료의 유효 여부에 따라 생산계획을 수정하고 우선순위를 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 시뮬레이션 기반 생산계획 및 재계획 전략 평가를 위한 아키텍처를 제안함으로써 실시간 재계획에 대한 평가를 할 수 있는 시뮬레이션 기법에 대해서도 논의되었다[9].

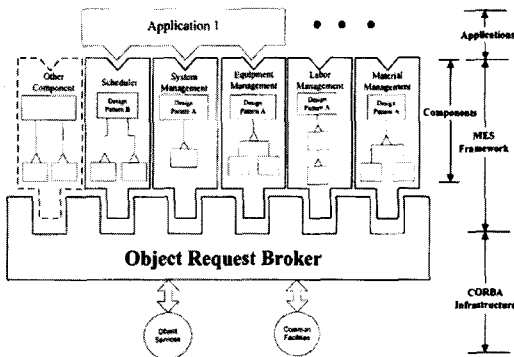


그림 3. MES 프레임워크 아키텍처
Fig. 3 MES framework architecture

Cheng 등은 분산 객체지향 기술을 이용해서 통합 제조시스템의 프레임워크에 대한 체계적인 접근법을 제안하고, 개방형, 분산형, 상호교환 등의 특성을 가진 제조실행시스템에 대한 프레임워크를 그림 3과 같이 제안하였다. 또한, 제안된 프레임워크를 이용하여 코바(CORBA) 기반의 통합 제조실행시스템을 개발하였다 [4]. 본 연구에서는 제조시스템의 프레임워크를 시스템적인 접근법 및 분산 객체지향 기법을 이용하여 분석하

최근 컴퓨터의 발전과 3차원 CAD의 확산은 생산 공 정계획 및 관리와 관련하여 모델링과 시뮬레이션(M&S: modeling and simulation)의 활용도를 넓히고 있다[10]. 특히, 생산계획에서의 새로운 접근법으로 IT를 활용한 디지털 가상생산과 더불어 가상공장을 접목하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 생산 M&S 기법으로 생산성을 향상시키거나 프로세스 혁신(process innovation)을 추구하는 프로젝트가 대표적이다[11].

M&S에 관한 연구는 최근 제품 수명 주기 전반에 대한 방법론이 정의되면서, 제조 산업을 이끌어나가는 미래의 핵심기술로 자리잡고 있다. M&S기법은 복잡한 생산 시스템의 거동을 체계적이고 합리적으로 검증할 수 있을 뿐 아니라 제품을 개선하고, 공정을 완벽하게 구축하여 설계에서 생산까지의 소요시간 및 제품 실현시간을 줄여주는 장점을 가지고 있다[12]

M&S 기법이 시스템의 정보화와 어울려져 발전한다 하더라도 복잡하고 급변하는 생산 현장의 움직임을 반영하여 모니터링 하고 제어하기까지 제약 요소가 산재해 있다. 제품설계에서 정의된 설계 정보가 생산현장까지 시스템적으로 전달되지 못하는 것이 가장 대표적인 사례이다. 이를 해결하기 위해서 제조업의 대표적인 전자, 자동차, 항공 산업 현장에서는 전사적으로 시스템 통합에 주력하고 있다[13]. 특히, 제품의 라이프사이클 데이터를 관리하는 PLM 시스템에서 생산 데이터를 관리하고 실질적인 제조 실행 부분을 맡고 있는 제조실행시스템(MES: Manufacturing Execution System)까지 연결되는 데이터 통합이 필요하다[14].

제품설계 정보가 자연스럽게 생산현장에서 활용할 수 있는 인프라가 구축되면 실제 부품을 가공하고 조립하는 공정에서 작업자에 의한 생산 활동을 실시간으로 파악이 가능하고 일정계획과 생산관리 시스템, 그리고 전사적인 정보시스템에서 계획 대비 생산 진척 상황을 파악할 수 있다. 궁극적으로 설계정보가 제조실행시스템(MES)으로 확장되는 것이다[15]. MES는 시스템 통합과 생산 진척 관리를 통해서 생산성 향상과 관리 기법의 향상을 위한 도구로서 활용할 수 있다.

PLM과 MES의 시스템 통합에 대한 관심이 증대되고 있으나, 그림 4와 같이 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 디지털 생산(Digital Manufacturing)과 MES 간의 데이터 통합에 대해 연구가 선행되어야 하는데 미흡한 실정이다. 특히, 디지털 공장에서 지원을 받는 생산계획 시스템

은 제조실행 업무와의 연계가 불충분하고 단절되어 있어 대부분의 실행계획이 담당자의 경험을 바탕으로 이루어지고 있다. 이로 인해 실행계획 시 담당자의 주관에 의지하고 체계적이지 못한 업무 흐름으로 부정확한 일정이 생산현장에 전달이 되며, 계획 대비 실적집계가 제대로 이루어지지 않는다.

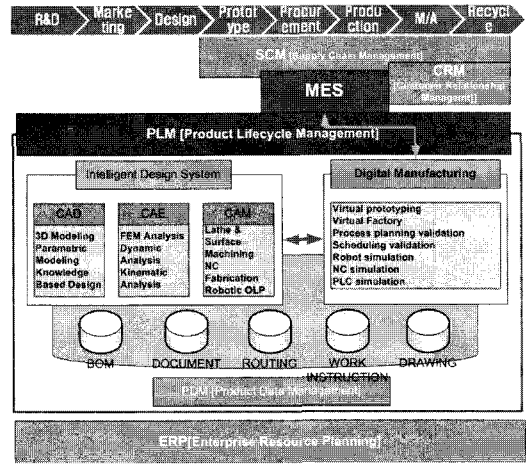


그림 4. 디지털 생산과 제조실행시스템의 관계
Fig. 4 Relationship of digital manufacturing and MES

또한, 생산계획 검증을 위한 생산 M&S 연구가 여전히 부족하고, 생산계획과 실행계획을 연동한 관점에서의 시뮬레이션 기반 접근 및 실시간 생산통제에 대한 연구는 미흡하다. 본 논문에서는 선박건조에 필요한 중일 정계획과 실행계획의 차이를 극복하기 위하여 생산실행시스템 주요 기능을 도입 적용하고, 생산계획을 정량적으로 검증할 뿐 아니라 생산 재계획의 정합성을 향상하여 실시간 피드백이 가능한 시뮬레이션 기반의 조선 생산실행시스템(SPEXS: Simulation based Ship Production Execution System)의 프레임워크를 제시하고자 한다.

II. 생산계획과 통제 프로세스 분석

2.1 생산 중일정계획과 실행계획

현업 중일정계획을 수립하는 현업운영 부서와 월간/주간계획을 하는 현업생산 간에는 다른 시스템으로 운

용되고 있어, 이로 인해 양 시스템 간의 차이가 발생하기 시작하며, 그림 5와 같이 현업 중일정계획과 월간계획 사이에 top-down의 정보 흐름은 있지만, bottom-up의 정보 흐름은 존재하지 않는다. 즉, 한번 현업 중일정계획이 수립되어 하위 부서로 전달되면 다시 피드백 되지 않는다.

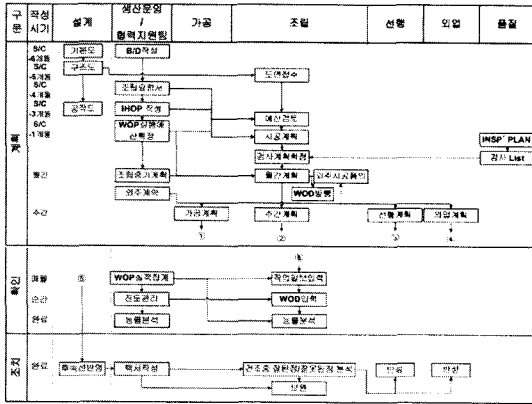


그림 5. 조선생산실행 업무흐름
Fig. 5 Ship production execution workflow

생산운영/협력지원팀은 S/C-6개월에 블록 분할부터 조립요령서, IHOP(Integrated Hull Outfitting and Painting) 작성, WOP(Work of Package)실행예산 확정, 조립중기계획, 외주계약을 체결한다. 반면, 조립 생산부서에서는 설계에서 받은 도면을 접수하여 예산을 검토하고 시공계획, 검사계획확정, 월간계획, 주간계획을 수립한다. 따라서 조립중기계획은 생산운영에서 수립되고, 생산실행계획은 조립 생산부서에서 수립된다. 한번 수립된 계획은 그림 5과 같이 재 계획되거나 피드백 되는 정보가 부족하다.

유일한 의사소통 수단으로 생산부서에서 작업일표를 입력함으로써 생산운영에서 실적집계를 하고, 본 실적 집계를 통해 능률 분석을 진행한다. 생산실행에서 실적을 집계 후 실행계획 수립에 바로 반영하는 프로세스가 없으므로 실행단계의 결과를 시스템을 통해 생산계획으로 연결해 주는 프로세스가 필요하다.

생산 중일정계획과 실행계획이 차이 나는 이유를 보면 생산계획은 생산운영을 비롯한 부/과 레벨에서 주관하는 반면, 실행계획은 현업 생산관리자 및 직/반장 레벨에서 주관하고 있기 때문이다. 따라서 생산실행에서

생산관리자 또는 직/반장의 실행계획 시 중일정 레벨의 생산계획 정보를 참조하되, 현장의 변동성을 반영의 어려움으로 재계획의 빈도가 높고, 후행 공정에서 긴급 요청 블록이 잦아 재계획 시 직/반장의 경험에 의한 실행계획이 수립된다. 특히, 실행계획에서는 작업장 배원 계획의 어려움, 작업자의 결근, 작업자의 작업능력 대의 차이, 설비 오작동, 자재 수급의 어려움 등의 불확실한 요소가 준비해 있기 때문에 더욱 쉽지 않다. 따라서 직/반장의 어려움을 해소해 줄 수 있는 정량적, 체계적 실행계획 수립을 위한 시스템이 필요하고, 기사와 직/반장 간의 협업지원시스템이 필요하다.

2.2 문제점 도출 및 솔루션 전략

선박 건조 프로세스는 상당히 복잡해서 기존의 정적인 생산계획과 실행계획으로는 생산현장을 통제하기에 어려움이 많다. 이를 극복하기 위해 이산사건 시뮬레이션(discrete-event simulation)이 조선산업에 도입되면서 생산현장의 동적인 변동성을 고려하여 생산관리자가 기존의 방식보다 나은 의사결정을 할 수 있도록 지원하고 있다[16][17]. 최근 조선산업에 있어 시뮬레이션 응용 분야는 다양하게 확장되어 야드 설비 확장에 필요한 레이아웃 설계를 비롯하여 블록 물류 및 운영방안을 계획하는데 쓰이고 있다[18][19].

표 1. 문제점 도출 및 솔루션 접근법
Table. 1 Problem statement & solution approach

문제점도출	솔루션 접근법
생산 중일정계획과 실행계획의 시스템적 연계 부족으로 인한 계획간의 GAP 발생	생산계획 및 실행계획의 통합 데이터 체계 구축
정량적인 실행계획 검증 방법 부재로 생산관리자의 경험을 바탕으로 수행	Discrete-Event Simulation 기반의 실행계획 평가
실행계획시 공정예측의 어려움으로 인한 신속한 의사결정 필요	실행계획 의사결정시 배정 및 최적화 알고리즘 적용
생산관리자의 시뮬레이션 결과 해석의 어려움 호소	사용자 편의 중심의 인터페이스(UI) 구성
생산 공정현황 파악 어려움과 공정정보 공유의 단절로 폐이피 중심의 정보 전달	무선 인터넷을 통한 생산실적 집계 관리

본 연구에서는 조선산업에서 적용 가능한 시뮬레이션 기반 MES 프레임워크 설계를 목표로 한다. MES는 주로 제조업에서 주생산 프로세스를 지원하여 ERP와 생산장비 제어 어플리케이션과의 거리를 좁히는 역할을 한다. 최근 MES 어플리케이션들은 실시간 생산통제 뿐만 아니라 데이터 수집, 리포팅, 생산능력 분석을 지원한다. 더불어 제안하는 프레임워크는 작업분석을 통한 작업장 거동을 시뮬레이션 함으로써 생산관리자가 생산계획 및 통제에 필요한 의사결정 시 정량적인 데이터를 제공해 준다. 앞서 언급한 문제점을 다섯 가로 요약하여 표 1과 같이 솔루션 기능으로 매핑 하였으며, 이를 기반으로 시뮬레이션 기반 조선생산실행시스템의 핵심기능을 그림 6과 같이 도출하였다.

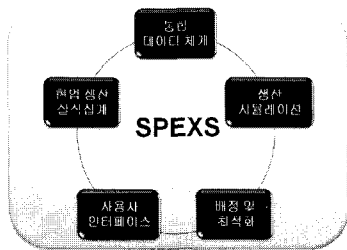


그림 6. SPEXS 핵심 기능
Fig. 6 SPEXS core functions

본 시스템에서는 MES의 11가지 주요 기능 중 선박건조 시 보완해야 할 5가지 핵심기능으로 범위를 한정하여

접근하였다. 첫째, 생산계획 및 실행계획의 통합 데이터 체계인 SPEXS data hub를 통해 생산계획과 실행계획의 데이터 부정합을 해소하고, 둘째, Discrete-event simulation 기반의 실행계획 평가가 가능한 SPEXS 생산 시뮬레이션으로 실행계획 시 생산현장의 공정예측의 어려움을 해결하고자 한다. 나아가 생산계획을 바탕으로 대부분의 실행계획이 담당자의 경험을 바탕으로 수행하던 것을 정량적인 데이터를 제공해 줌으로써 실행계획 검증을 가능하게 한다. 셋째, SPEXS Dispatching & Optimization을 제안하여 신속한 의사결정을 위한 실행계획 시뮬레이션의 최적화를 도모한다. 넷째, 시뮬레이션 결과 해석의 어려움을 해소하고, 사용자 편의를 위한 SPEXS UI(User Interface)를 제안한다. 마지막으로 실행계획 시 생산현장의 현황 파악, 실적 집계 of 번거로움으로 현장 통제가 어려웠던 점을 SPEXS Production Monitoring을 통해 현업 생산실적 집계 관리될 수 있도록 한다.

III. 시뮬레이션 기반 조선생산실행시스템 (SPEXS) 설계

SPEXS 아키텍처는 시스템을 구성하고 있는 하부레벨요소의 중요한 특성과 각 요소 간의 관계를 나타낸 구조이다. 동일 시스템에 대해 두 가지 공통적인 아키텍처 구조를 가진다. 기능 아키텍처는 기능 인터페이스를 네

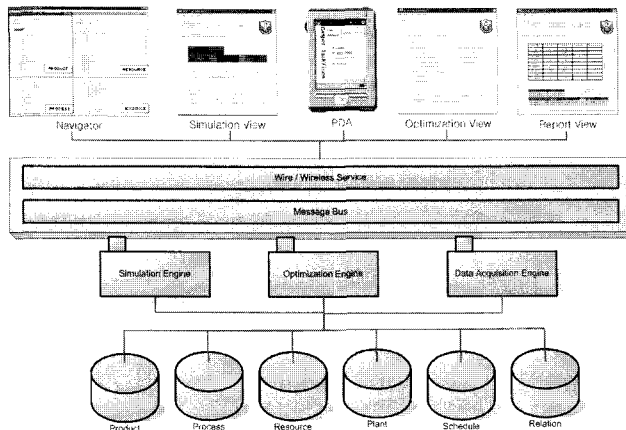


그림 7. SPEXS 기능적 아키텍처
Fig. 7 Integrated functional architecture of SPEXS

트위크로 나타낸 시스템 구조이고, 물리적 아키텍처는 물리적 구성품의 인터페이스를 네트워크로 나타낸 시스템 구조이다. 핵심 기능요소에서 기능 아키텍처 설계를 수행하고, 그림 7과 같이 기능적 아키텍처 결과를 도출하였다.

3.1 SPEXS 요구사항 분석

요구사항 분석은 ISO/IEC 15288 테크니컬 프로세스와 ANSI/EIA632의 요구사항 분석 기법에 준하여 수행을 하였다[20].

표 2. 요구사항 질문리스트
Table. 2 Requirement question list for SPEXS

No	Requirements	Priority	Production Planner	Production Engineer	Farmen	Assistant Foremen	Technician	IT System Engineer
1	A short term plan shall be referenced to production planning data.	High		o	o	o		
2	System shall be able to check up the necessary part list prior to operation	High		o	o	o		
3	System shall be able to key in working method by user interface	High		o	o	o		
4	System will compare returns on investment	Middle	o					
5	System will manage part revision during engineering change	Middle	o	o	o	o		
6	System will manage welding information	Middle	o	o	o	o		
7	System will update a process plan after material flow simulation is complete	Middle	o	o	o	o		
8	System must evaluate monthly, weekly, and daily schedule by simulation	High		o	o	o		
9	A schedule shall be compared to the revised schedule	High		o	o	o		
10	System will be able to evaluate a sequence of input blocks	High		o	o	o		
31	System will update standards for working time	Middle	o	o	o	o		o
32	System will support quick response for a request	Middle		o	o	o		o

내업 블록공장과 관련 있는 이해당사자는 생산운영, 정보시스템, 생산부서로 크게 나눌 수가 있다. 생산부서에는 조립기사, 현업직장, 현업반장, 현업작업자가 주요 이해당사자가 된다. 항목별로 이해당사자에게 해당 사항을 기입하고 중요도를 부여하여 점수화 한다. 표2는 요구사항 분석 체크리스트의 요약 사례이다.

3.2 SPEXS 프레임워크 설계

3.2.1 SPEXS 통합 데이터체계

그림 8과 같이 선각 블록 생산 라인의 예를 보면 제품(product), 공정(process), 자원(resource), 일정(schedule)의 정보가 공존하나 유기적으로 결합되어 있지 않고 독립적으로 구성되어 있다. 이로 인해 어떤 작업을 누가, 언제 할지에 대한 정보를 파악하기 쉽지 않고, 생산정보를 관리하기 위해서는 상호간의 연결고리를 가지고 있어야 한다. 따라서 제품 정보는 프로세스 정보와 링크를 갖

고, 프로세스 정보는 자원 정보와 링크를 갖는다. 물론 제품 정보와 자원 정보도 링크 관계를 가질 수 있다. 마지막으로 프로세스 정보와 스케줄 정보가 링크 관계를 가진다.

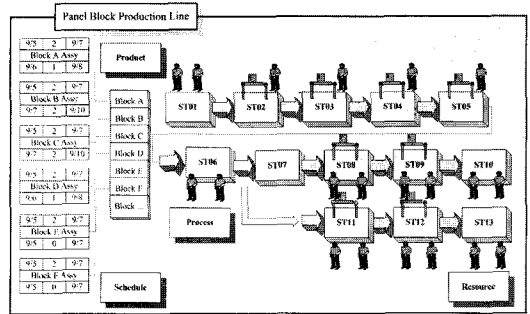


그림 8. 조선 블록생산공정의 도식화
Fig. 8 Schematic illustration of ship block production line.

제품, 프로세스, 자원, 일정의 관계가 프로세스 중심 (process centric)으로 어떻게 매핑이 되는지는 그림 9에서 확인할 수 있다. 제품 정보의 최종 아이템 하나하나가 프로세스의 각 작업인 OP#1, OP#2 등과 연결되고, 해당 작업은 Station 2에서 이루어진다. Station 2는 설비 계층도를 구성하여 Factory | Shop | Line 과 Parent-Child 구조를 가진다. 제품 정보와 작업정보의 연결을 통해 얻은 일정 정보는 작업정보의 속성정보를 통해 생성된다. 제품, 프로세스, 자원, 일정 정보 간의 연결관계를를 구성하는 것이 SPEXS 통합데이터 체계의 핵심이라 하겠다.

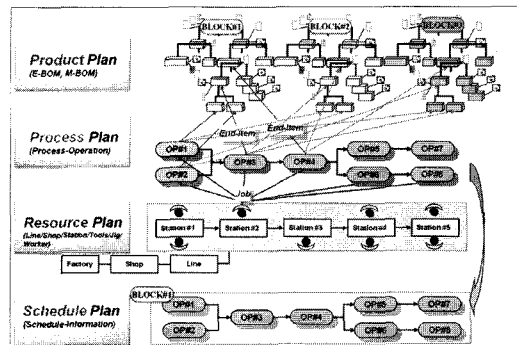


그림 9. PPRS 데이터의 개념적 독립성
Fig. 9 Conceptual interdependence of PPRS data in SPEXS.

3.2.2 SPEXS 생산 시뮬레이션

작업장에서 작업요소에 따라 작업시간의 변동이 심하다. 특히, 그 변동성의 주요 요인인 용접장의 길이 변화를 살펴보면 수 미터에서 백수십 미터로 차이가 난다. 이로 인해 작업장의 공정능력 예측이 어렵고, 블록의 투입 순서에 따라 각 작업장의 작업시간에 큰 차이가 벌어진다. 이러한 공정 변동성으로 인해 작업장 간의 부하 불균등 현상이 초래되고 작업자 간의 피로감이 발생한다. 선박건조공정은 복잡, 상호의존적, 확률적이고, 변동이 심한 공정으로 여러 타입의 형상화된 모델이 필요하기 때문에 시뮬레이션 기법을 적용한다.

AutoMod, SimFactory, PROMODEL, Taylor II, and QUEST와 같은 생산 시뮬레이션 패키지의 경우 구조화된 API(Application Program Interface) 제공으로 생산 계획 및 실행계획 시스템 적용에 용이하다. 하지만, 시뮬레이션 패키지는 고가이고 실행계획 단에서 필요한 기능을 다루기에 비효율적이다. 이에 핵심 기능만을 수행할 수 있는 사용자 정의 DES 기반의 시뮬레이터를 구현하여 실행계획 단에서 필요한 핵심 모델을 그림 10과 같이 구축한다. 본 모델 구축 시 Unified Modeling Language (UML)와 C# 프로그래밍 언어를 활용한다.

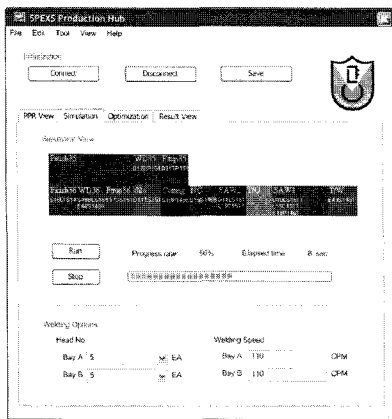


그림 10. SPEXS 생산 시뮬레이션
Fig. 10 SPEXS production simulation

3.2.3 SPEXS 시뮬레이션 최적화

시뮬레이션 모델의 경우 직관적인 방식으로 실제 시스템의 거동을 모방하기 때문에 계획자들과 운영자들이 그 논리를 이해하기 용이하고, 직관적인 방식으로 작업 투입 규칙들을 바꿈으로써 빠르게 다양한 실행계획

들을 생성할 수 있다. 또한 기계 활용도 및 지연 작업 수와 같은 통계량을 사용자가 확인할 수 있고, 그 실행계획들 중에서 가장 적합한 계획을 선택한다.

하지만 시뮬레이션 모델을 통해 파라미터를 직관적으로 바꿔 보는 것이 한계를 가져오기도 한다. 특히, 몇 가지 파라미터를 바꾸면서 시뮬레이션을 해야 하는 반복적인 작업을 요할 경우 과다하게 시간을 소모할 수 있다. 따라서, 불필요한 시간을 아낄 수 있는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 휴리스틱(heuristics) 기법을 통해 보다 빠른 시간 내에 접근이 가능하고, 이는 시뮬레이션의 실험적 설계(experimental design) 방법을 체계적으로 검증된 알고리즘을 통해 해소할 수 있는 역할을 한다.

본 논문에서는 Local Search의 단점을 개선한 방법으로 조합 최적화 문제에 많이 사용되는 시뮬레이티드 어닐링 기법(Simulated annealing)을 적용한다. SA는 TSP(Traveling salesman problem) 문제를 해결하는데 가장 퍼포먼스가 좋은 알고리즘 중의 하나이고[21], 선박 블록생산 순서를 TSP 문제로 변환하여 선박블록 생산시스템에 적용 결과, 생산시간을 10~15%감소시켜 생산성 향상을 도출한 사례가 있다[22].

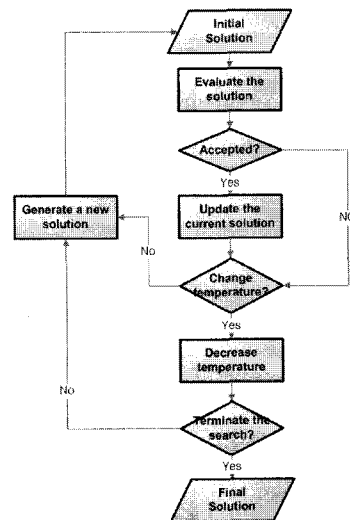


그림 11. SA 알고리즘
Fig. 11 SA algorithm flow-chart

SA의 기본 알고리즘은 그림 11과 같이 1)초기해 생성한 후, 2)현재의 해를 임의로 변화하고, 여기서 Neighborhood Structure가 중요하다. 3)새로운 해가 원래

의 해보다 좋은 경우 해를 바꾸고, 그렇지 않은 경우 확률적으로 해를 변화한다. 4) 좋지 않은 해로 이동해갈 확률을 시간에 낮추어가면서 3)의 과정을 반복하여 수행한다.

본 논문의 SA 알고리즘은 크게 네 가지 과정으로 진행되고, 이 때 확률, 즉 네트워크 온도를 어떻게 낮추어가느냐가 중요하다. 초기에는 좋지 않은 해로 이동할 확률을 크게 주고(높은 온도) 점점 이 확률(온도)을 낮추어가면서 최적화한다. 주어진 파라미터에 대한 실험 및 검증은 추후 본 프레임워크를 기반으로 한 적용사례에서 언급할 계획이다.

3.2.4 SPEXS 실적집계

생산 현장의 실행계획 수행 시 많은 제약요소가 따른다. 대표적으로 일간 실행계획과 실제 작업간의 차이 발생으로 모니터링이 어렵고, 실시간 병목현상 파악 제한에 의한 대처가 미흡하다. 작업 시 문제가 발생하면 직장이 부분적으로 후회화한다. 하지만 자동화 공정은 일시적 조정이 불가하다. 또한 용접 시 작업자들이 용접 정보(용접 각목 두께, 용접시행 횟수 등)를 파악하기가 쉽지 않다.

이처럼 현업 생산 팀 간의 실시간 정보 전달의 필요성이 증대되고, 긴급 전달 사항 등의 실시간 정보 전달이 중요하다. 작업장 간 이동으로 병목이 발생할 경우 선/후행 공정 조율의 필요함을 관련 작업에게 알려주는 인프라가 요구된다.

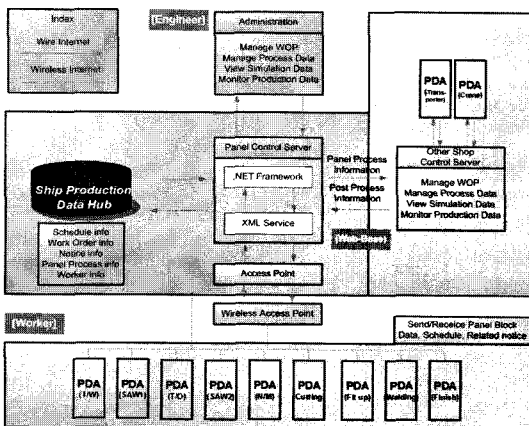


그림 12. SPEXS 생산 모니터링
Fig. 12 SPEXS production monitoring

이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 그림 12와 같이 실시간 생산 모니터링을 통한 생산실적 집계 기능을 제안하고, 이는 이동작업 가능한 PDA(Personal Digital Assistant), 스마트폰과 같은 모바일 무선 환경으로 정보의 효과적 관리를 통한 생산성 향상 도모할 수 있다.

3.3 SPEXS 프로세스 흐름

SPEXS 시스템의 사용자 인터페이스 내부에서 구현되는 프로세스는 그림 13에서와 같이 요약할 수 있다. 이 중 “PPRS Navigator”에 대한 부분을 간략히 표현하면, 먼저 생산실행을 위한 데이터를 생산계획 시스템에서 받아 오기 전에 데이터 수집 상태를 확인한 다음 업데이트 프로시저를 밟게 된다. 이 프로시저를 실행한 다음 “Data Integration Service” 프로시저를 실행하여 제품, 프로세스, 자원에 대한 데이터를 통합하게 된다.

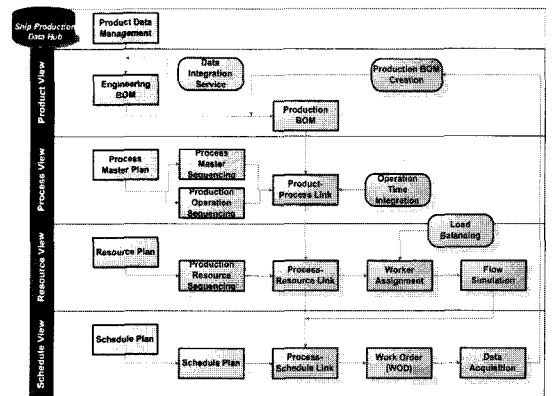


그림 13. SPEXS 프로세스 흐름
Fig. 13 SPEXS process flow

통합된 데이터는 생산계획과 실행계획의 차이를 최소화하는데 큰 기여를 한다. 데이터를 인터페이스 한 다음 BOM 생성, Process plan 및 Resource plan을 통한 실행계획을 작성 후 시뮬레이션과 최적화 알고리즘을 통해 검증하고 현장 데이터 획득까지 피드백을 원활히 받을 수 있는 루프 구조로 구성된다. 이 프로세스를 통해 SPEXS 프레임워크가 유기적으로 운영된다.

본 프레임워크로 통해 계획 담당자는 경험에 의해 이루어졌던 실행계획을 실행계획 검증 기능을 통해 객관적이고 정량적으로 계획을 수립한다. 더불어 이는 공정

의 효과적인 운영일정을 평가하는데 유용하고, 전략적으로 여러 대안들을 평가하며, 공정능력을 바탕으로, 실제로 생산 가능한 공정 수행능력을 비교, 평가가 가능하다. 타 공정 적용 시에는 시물레이션 모델의 추가적인 커스터마이징이 필요할 것으로 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 조선 산업의 생산현장에서 발생하는 복잡하고 급변하는 생산 실행단계의 문제점을 해결하고자 생산계획과 통제 프로세스 분석을 통해 현업 중 일정계획과 생산실행계획 차이를 규명하였고, 생산실행의 문제점을 도출하여, 솔루션 접근법을 통해 시물레이션 기반 생산실행시스템의 프레임워크를 설계하였다.

ISO/IEC 15288 테크니컬 프로세스와 ANSI/EIA632의 요구사항 분석 기법을 통해 제안된 시스템의 주요 기능을 도출하였고, 아키텍처 설계 프로세스를 수행하였다. SPEXS 프레임워크에는 SPEXS 통합 데이터 체계, SPEXS 생산 시물레이션, SPEXS 배정 및 최적화, SPEXS 사용자 인터페이스, SPEXS 실적 집계까지 5개의 모듈로 구성하였다. 또한 각 모듈의 핵심 알고리즘을 도식화하여 모듈 간의 유기적인 관계에 대해서 설명하였다.

향후 SPEXS가 조선소 적용사례를 통해 현업 작업관리 시스템과의 통합 및 안정화가 이루어지면 시물레이션 데이터의 축적과 함께 시물레이션 모델이 보다 정교해질 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 지속적인 시스템 개선을 통해 실시간 실행계획 및 통제를 통한 생산성 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것으로, 관계부처에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 송영주, 이광국, 이동건, 우중훈, 신중계, “시물레이션 기반 실행 지원 시스템”, 한국정밀공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집, pp.913-914, 2008.
- [2] J.Fraser, “MES explained: a high level vision”, White Paper, No.6, Pittsburgh, PA, 1997. MESA International. Available from: <http://www.mesa.org> [Accessed 4 July 2011].
- [3] T.Y.Park, K.H.Han, B.K.Choi, “An object-oriented modeling framework for automated manufacturing system”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.10, No.5, pp.324-334, 1997.
- [4] F.T.Cheng, E.Shen, J.Y.Deng, K.Nguyen, “Development of a system framework for the computer-integrated manufacturing execution system: a distributed object-oriented approach”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.12, No.5, pp.384-402, 1999.
- [5] B.K.Choi, B.H.Kim, “MES(manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system)”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.15, No.3, pp. 274-284, 2002.
- [6] H.Ju, “An overview of MES solution trends and a strategy for successful MES deployment”, Samsung SDS Consulting Review, Vol.3, No.2, pp.69 - 79, 2006.
- [7] L.K.Church, and R.Uzsoy, “Analysis of periodic and event-driven rescheduling policies in dynamic shops”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.5 No.3, pp.153 - 163, 1992.
- [8] V.R.Prasad, M.Graul, P.Benjamin, P.D.Cahill, R.Mayer, “Resource-constrained shop-level scheduling in a shipyard”, Journal of Ship Production, Vol.19, No.2, pp.65 - 75, 2003.
- [9] A.Pfeiffer, B.Kádár, L.Monostori, D. Karnok, “Simulation as one of the core technologies for digital enterprises: assessment of hybrid rescheduling methods”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.21 No.2, pp.206 - 214, 2007.

- [10] Y.Okumoto, H.Kentaro, and U.Noritaka. "Simulation-Based Ship Production Using Three-Dimensional CAD", *Journal of Ship Production*, Vol.22, No.3, pp.155-159, 2006.
- [11] D.Steinbauer, "SAPP - simulation aided production planning at Flensburger", *Proceedings of COMPIT'06*, pp.391 - 398, 2006.
- [13] G.Wöhlke and E.Schiller. "Digital Planning Validation in automotive industry", *Computers in Industry*, Vol.56, Is.4, pp.393 - 405, 2005.
- [14] K.M.Kelly, "The importance of MES-PLM integration", *Automotive Design & Production*, Vol.119, Is.8, pp.54-58, 2007.
- [15] S.Weygandt, "Getting the MES model - methods for system analysis", *Instrumentation, Systems and Automation Society Transactions*, Vol.35, Is.2, pp.95-103, 1996.
- [16] K.Aoyama, T.Nomoto, and L.Watanabe, "Development of shipyard simulator based on Petri nets", *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.4, No.1, pp.35 - 43, 1999.
- [17] J.G.Shin, K.K.Lee, J.H.Woo, W.D.Kim, J.H.Lee, S.H.Kim, J.Y.Park, H.J.Yim, "A modeling and simulation of production process in subassembly lines at a shipyard", *Journal of Ship Production*, Vol.20, No.2, pp.79 - 83, 2004.
- [18] M.Krause, F.Roland, D.Steinbauer, M.Heinemann, "Discrete event simulation: An efficient tool to assist shipyard investment and production planning", *Journal of Ship Production*, Vol.20, No.3, pp.176 - 182, 2004.
- [19] C.Nedess, A.Friedewald, L.Wagner, M.Hubler, "Simulation of material flow processes in the planning of production spaces in shipbuilding", *Proceedings of COMPIT '06*, pp.186-198, 2006.
- [20] ISO/IEC 15288: 2002, "Systems engineering-System life cycle processes", Geneva: International Organization for Standardization, issued 1, 2002.
- [21] S.Kirkpatrick, C.D.Gelatt, and M.P.Vecchi, "Optimization by simulated annealing", *Science*, Vol.220, No.4598, pp.671 - 680, 1983.
- [22] 황인혁, 노재규, 이광국, 신종계, "시물레이티드 어닐링을 활용한 조선 소조립 라인 소일정계획 최적화", *한국시물레이션학회논문지*, Vol.19, No.1, pp.73-82, 2010.

저자소개

이광국(Kwang-Kook Lee)



2001년 부산대 조선해양공학과
(공학사)

2003년 서울대 조선해양공학과
(공학석사)

2008년 서울대 조선해양공학과(공학박사)

2008년~2011년 STX조선해양 생산기획팀 과장

2011년~현재 경남대 조선해양IT공학과 교수

※ 관심분야: 모델링&시물레이션, PLM, 생산관리