

이기종 멀티 셀 유연생산환경에서의 실시간 통합운용을 위한 공정관리 체계

윤주성⁺, 남성호^{*}, 백재용⁺, 권기억⁺⁺, 이동호⁺⁺⁺, 이석우⁺

(Manuscript received: Mar, 11, 2013 / Revised: Mar, 26, 2013 / Accepted: Mar, 27, 2013)

Process Management Systems for Integrated Real-Time Shop Operations in Heterogeneous Multi-Cell Based Flexible Manufacturing Environment

Joo-Sung Yoon⁺, Sung-Ho Nam^{*}, Jae-Yong Baek⁺, Ki-Eok Kwon⁺⁺, Dong-Ho Lee⁺⁺⁺, Seok-Woo Lee⁺

Abstract

As the product lifecycle is getting shorter and various models should be released to respond to the needs of customers and markets, automation-based flexible production line has been recognized as the core competitiveness. According to these trends, system vendors supply cell-level systems such as FMC(Flexible Manufacturing Cell) that is integration of core functions of FMS(Flexible Manufacturing System) and RMC(Reconfigurable Manufacturing Cell) that can easily extend components of FMC. In the cell-based environment, flexible management for shop floor composed of existing job shop, FMCs and RMCs from various system vendors has emerged as an important issue. However, there could be some problems on integrated operation between heterogeneous cells to use vendor-specific cell controllers and on seamless information flow with high level systems such as ERP(Enterprise Resource Planning). In this context, this paper proposes process management systems supporting integrated shop operation of heterogeneous multi-cell based flexible manufacturing environment: First of all, (1) Integrated Shop Operation System to apply the process management system is introduced, and (2) Multi-Layer BOP(Bill-Of-Process) model, a backbone of the process management system, is derived with its data structure. Finally, application of the proposed model is illustrated through system implementation results.

Key Words : Multi-cell(멀티 셀), Flexible manufacturing(유연생산), Shop operation management(현장운용관리), Bill-of-process(BOP, 공정명세서), Real-time shop-floor data(실시간 생산정보)

⁺ 한국생산기술연구원

⁺⁺ (주)코체인솔루션스

⁺⁺⁺ 한양대학교 산업공학과

^{*} 교신저자, 한국생산기술연구원 IT융합생산시스템 연구그룹
주소: 426-791 경기도 안산시 상록구 사3동 1271-18

✉ Corresponding Author E-mail: goddad@kitech.re.kr

1. 서론

공작기계 기반의 제조산업에서 자동화를 통한 납기, 품질, 원가에 대한 개선 요구는 전통적인 이슈인 동시에 가장중요한 요소 중의 하나이다⁽¹⁾. 최근에는 고객 및 시장의 요구로 제품의 수명주기가 짧아지고 다양한 모델의 출시에 대응할 수 있도록 자동화를 기반으로 생산라인의 유연성을 확보하는 것이 핵심 경쟁력으로 인식되고 있다⁽²⁾.

특히 주문 기반의 다품종 생산체계 하에서는 모델에 따라 생산량, 납기체계, 공정관리, 품질수준 등이 상이하여 부분적으로 특정 제품에 특화된 시스템이 요구되면서 셀 단위의 시스템 도입이 하나의 추세를 이루고 있다⁽³⁾. 이러한 추세에 맞추어 생산 시스템 공급자들은 기존의 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System, FMS)의 기본 구성요소들을 통합하여 유연생산셀(Flexible Manufacturing Cell, FMC)을 상품화하고 FMC 구성요소를 쉽게 확장할 수 있는 재구성생산셀(Reconfigurable Manufacturing Cell, RMC)을 상용화하여 공급하고 있다⁽⁴⁾.

이와 같이 셀 단위 시스템이 도입되면서 기존의 일반기계로 구성된 Job Shop과 다양한 벤더로부터 공급된 FMC, RMC들이 혼재하는 이기종 멀티 셀 유연생산환경에 대한 신속적인 공장운영이 중요한 이슈로 대두되고 있다. 대부분의 셀 단위 시스템은 벤더에 특화된 셀 제어기를 사용하기 때문에 셀 간 연계 운영에 문제가 발생할 수 있으며 ERP(Enterprise Resource Planning)와 같은 상위 시스템의 계획 정보를 현장상황에 맞게 할당하고 실행하기에는 정보흐름의 단절 문제로 한계가 있다. 이러한 문제들로 인해 긴급주문이나 제품변경, 기계고장, 자재부족, 생산지연 등 다양한 이벤트 발생에 실시간으로 유연하게 대응하기 어렵다. 최근 벤더들로부터 공급되는 FMC, RMC는 개방형으로 다른 시스템과의 연결성을 제공하고 있는 모델들이 있지만 상위 시스템과의 기준정보 연계 문제, 단위 셀에 대한 작업할당 문제, 개별 셀에 특화된 운영방식의 차이 문제, 다

양한 이상상황 이벤트에 대한 동적 대응 문제 등은 여전히 존재하기 때문에 이기종 멀티 셀 유연생산환경에 맞는 새로운 통합 운영시스템이 요구된다.

기존 연구에서는 이와 관련된 통합운영시스템을 제시하고 그 핵심 요소기술을 도출한 바 있다⁽⁵⁾. 이기종 멀티 셀 유연생산환경의 통합운영시스템 구현을 위해서는 Fig. 1과 같이 (1) 유연 공정관리 기술, (2) 동적 스케줄링 기술, (3) 생산정보 통합 기술, (4) 실시간 데이터 인터페이스 기술이 필요하며, 특히 유연 공정관리 기술은 통합운영시스템의 기반이 되는 기술로서 통합된 프로세스 모델을 중심으로 상위 시스템의 기준정보와 연계하여 제품정보를 하위 제조현장의 리소스 실운영정보까지 연결하는 종적 확장성과 이기종의 FMC, RMC, 일반기계들 간에 연계 운영하는 횡적 확장성이 필요하다. 특히 다양한 이벤트에 대응하여 제품 유연성, 공정 유연성, 리소스 유연성을 표현할 수 있도록 이벤트 발생에 따른 대안을 생성하고 추가, 변경, 제거할 수 있는 프로세스 모델을 개발하는 것이 핵심이 된다. 이에 본 연구에서는 종적 확장성과 횡적 확장성을 수용할 수 있는 통합된 프로세스 모델을 개발하기 위하여 부품의 가공공정 및 선후관계를 표현하는 BOP(Bill-Of-Process)를 확장하여 BOM(Bill-Of-Material)과 같은 제품정보부터 생산방식을 포함하는 공정계획정보, 리소스 할당 정보, 운용실적 정보까지 통합적으로 관리할 수 있는 Multi-Layer BOP 모델 기반의 공정관리 체계를 제시하고자 한다.

전통적인 FMS 환경에서 공정계획과 스케줄링의 실시간 통합 모델에 대한 연구가 있었으나⁽⁶⁾ 이기종 멀티 셀 환경의 리소스 구성에 따른 특성보다는 실시간 스케줄링을 위해서 공정계획의 기술정보와 스케줄링의 생산계획 정보를 두 영역의 시간적 격차를 극복하여 어떻게 통합할 것인가에 초점을 맞추고 있다. 또한 FMS 환경의 MES(Manufacturing Execution System)에 대한 BOP 모델을 제시한 연구가 있었으나⁽⁷⁾ BOP의 확장영역을 ERP 시스템과의 상호운용으로 집중하였고, 다계통 복합가공기에 대한 계층화된 공정계획 정보모델을 제시한 연구도 있었으나⁽⁸⁾ 셀 기반 유연환경의 다양한 리소스에 대한 관심보다는 다계통 복합가공기라는 특성과 공정계획 영역이라는 특정 도메인에서의 모델에 초점을 맞춘 것이었다. 이기종 멀티 셀의 유연생산환경에서의 상·하위 시스템 간의 종적 확장성과 이기종의 셀들, 기계들 간의 횡적 확장성을 고려한 통합 프로세스 모델에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 이기종 멀티 셀 유연생산환경의 통합운영을 지원하는 공정관리 체계를 제시한다. 먼저 제안될 공정관리 체계를 채용하는 통합운영시스템에 대해 소개하고, 공정관리 체계의 핵심인 Multi-Layer BOP 모델을 도출한다. 도출된 Multi-Layer BOP 모델 기반의 통합운영시스템 구현 모습을 통해 제안된 모델의 활용 방식을 설명한다.

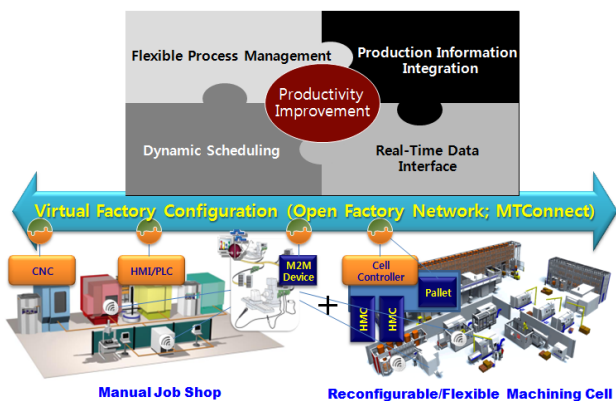


Fig. 1 Enabling Technologies of Integrated Shop Operation System

2. 통합운용시스템 범위 및 구조

통합운용시스템은 이기종 RMC, FMC, 일반 기계들로 구성된 Shop-Floor 운영계 레벨의 역할을 기본으로 공장레벨의 생산관리 기능을 포함하는 MES 레벨까지 확장된 영역에 위치하는 시스템으로서, Fig. 2와 같이 상위 ERP 시스템과 하위 이기종 멀티 셀을 연계하는 핵심 모듈은 (1) 공정 모델링 모듈, (2) 스케줄링 모듈, (3) 모니터링 모듈, (4) 실운영정보 인터페이스 모듈로 구성된다.

공정 모델링 모듈은 해당 현장의 셀, 기계 구성과 같은 리소스 현황에 맞는 공정계획을 생성할 수 있도록 상위 시스템으로부터 주문정보, 계획정보, 제품설계정보, 공정설계정보 등을 받아 대안 공정, 대안 기계를 할당함으로써 제품 정보를 리소스 정보로 매핑시켜 나가는 역할을 수행한다. 프로세스의 재할용, 추가, 변경, 삭제를 용이하게 하여 공정 모델링의 효율을 높일 수 있도록 공정 템플릿을 통해 상위 기준정보와 하위 리소스정보를 통합한다. 특히 현장 상황의 변화가 실시간으로 반영될 수 있도록 작업자 부재, 기계 고장, 자재 부족, 공정 변경, 긴급 주문, 계획 오차 등의 이벤트에 따른 관련 정보를 업데이트할 수 있도록 지원한다.

스케줄링 모듈은 모델러에서 정의된 통합 공정정보를 바탕으로 상위 시스템의 주문정보 및 계획정보를 기계 및 셀에 할당할 수 있도록 기계 및 셀 기준의 최적 작업순서 및 생산시점을 계산해 낸다. 이기종 멀티 셀의 팔레트, 치구, 공구 등을 고려하여 할당하고 현장의 다양한 실시간 이벤트 발생에 따라 다시 스케줄링할 수 있도록 실운영정보 인터페이스 모듈과 연동하여 실행한다. 특히 실시간 스케줄링을 위해 의사결정나무 기반의 우선순위 규칙을 적용하는 동적 스케줄링 기능을 포함한다.

모니터링 모듈은 기계 및 셀에 대한 가동, 비가동 상황을 수집하여 설비의 종합효율을 관리한다. 기계의 CNC, 셀 제어기, M2M(Machine-To-Machine) 장치, 사용자 입력 등 다양한 방식을 통해 데이터를 실시간으로 획득함으로써 리소스 상태를

추출하고 실적을 산출하여 가시화한다. 현장에서 발생하는 이벤트를 다른 모듈에 알려줄 수 있도록 수집된 데이터를 실시간 상태 감시 데몬을 통해 이벤트화하고 기정의된 이벤트 처리 기준과 방법에 따라 처리하는 기능을 포함한다.

실운영정보 인터페이스 모듈은 통합운용시스템이 이기종의 셀 및 기계들을 연계하여 운용할 수 있도록 실시간 현장 데이터를 통합하는 양방향 통신 미들웨어이다. 통합운용시스템이 상·하위 다른 시스템들과의 상호운용성을 지원할 수 있도록 실시간 생산정보 교환을 위한 MTConnect 인터페이스와 외부 서비스와의 연계를 위한 웹서비스 채널을 포함한다. MTConnect 인터페이스는 미국제조기술협회를 주도로 정의된 XML 기반의 표준으로서⁹⁾, 이기종의 셀, 기계, M2M 장치 및 CNC, PLC 등의 하부 제어요소와 인터페이스할 수 있도록 지원한다.

이러한 통합운용시스템에서는 공정흐름의 전반을 관리하기 위하여 통합 프로세스 모델인 Multi-Layer BOP 모델을 기반으로 공정관리 체계가 구성된다. Multi-Layer BOP는 PPR (Product-Process-Resource) 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 프로세스 표현 방식을 제공하여 통합운용시스템의 각 모듈들을 긴밀히 연계함으로써 상위 시스템의 기준정보 체계를 통합하고 실시간 현장 정보 기반의 동적 스케줄링을 위한 입출력 데이터를 제공할 뿐 아니라 하위 장치레벨까지 일관되게 연결할 수 있도록 지원한다.

3. Multi-Layer BOP 모델

3.1 BOP의 계층 구조 및 유형

Multi-Layer BOP 모델을 개발하기 위해 이기종 멀티 셀 유연생산환경에서의 공정관리 액티비티를 분석하여 BOP 관련 영역을 설정하고 영역 내에서 필요로 하는 BOP의 요구기능을 도출하여 구조화하였다. 이 때 기존 연구의 공정관리 분야의 계층 구조를 기초로⁵⁾ 이기종 멀티 셀 유연생산환경의 특성들을 고려하여 확장하였다. Fig. 3과 같이 상위시스템의 기준정보를 연계하여 공정계획 수립, 리소스 운영계획 수립, 일정계획 수립을 거쳐 셀 및 기계에 배포하고 실적을 피드백하는 과정에서 필요한 BOP는 네 개의 계층으로 구체화될 수 있다: (1) Master BOP, (2) nBOP, (3) hBOP, (4) eBOP.

Master BOP는 통합운용시스템에서 상위 시스템의 기준정보와 연계할 수 있도록 제품 전체적인 레벨에서 조립공정까지 포함하는 모델이다. BOM과 Routing의 매핑관계에 의해 생성되며 제품과 부품, 생산방식의 종합적인 뷰를 제공한다.

nBOP(H/W Independent Neutral BOP)는 Master BOP의 노드들 중에서 가공 대상이 되는 부품에 대한 공정계획을 포함하며 가공 형상을 기준으로 셀, 기계 등 H/W 구성과 관계없이 제거되어야 할 볼륨과 가공순서에 따라 생성될 수 있는 다양한

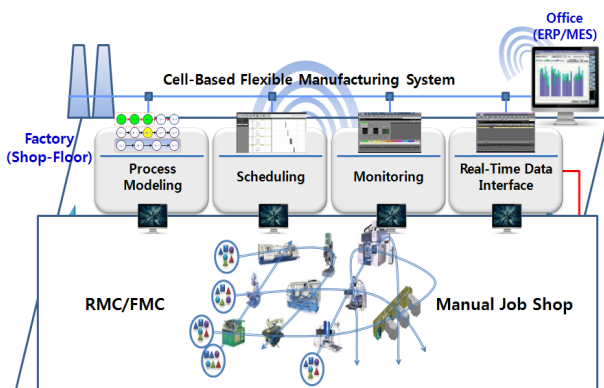


Fig. 2 Functional Architecture of Integrated Real-Time Shop Operations System

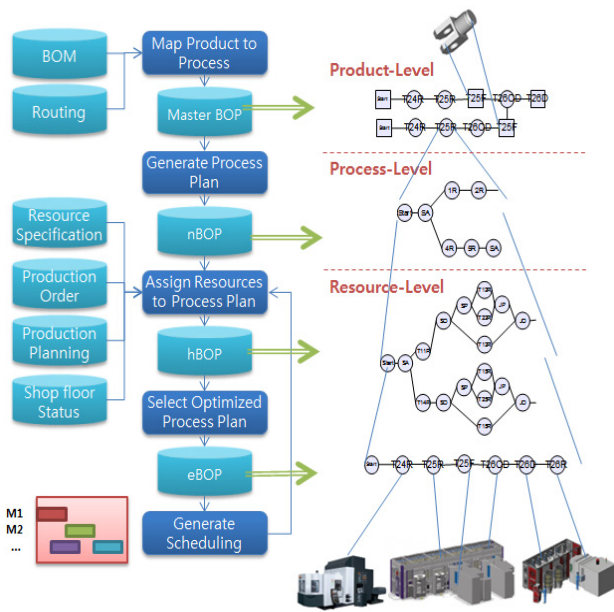


Fig. 3 Types of Multi-Layer BOP

대안 공정계획 정보를 정의하고 표현하는 모델이다. 아웃소싱 및 생산라인 재구성 등을 고려하여 특정 현장에 특화된 것은 아니며 일반적인 기계 카탈로그는 참조하되 단위공정 노드에 특정 리소스를 할당하지 않으므로써 공정계획 자체의 다양성 (Process Flexibility)을 정의하고 리소스 변경 시 공정에 대한 기술정보를 재활용할 수 있게 된다.

hBOP(H/W Dependent BOP)는 nBOP를 기반으로 현장의 셀 및 기계 H/W 구성을 반영한 공정계획을 정의하고 표현하는 모델이다. 실제 가공 가능한 기계가 단위공정 노드에 할당되어야 하기 때문에 현장의 셀 및 기계들의 현황과 상태정보가 연동되어야 한다. 현장의 셀 구성에 따른 기계구성의 다양성 (Machine Flexibility)을 정의함으로써 nBOP로부터 상속된 공정 자체의 다양성과 기계구성의 다양성이 함께 반영되어 생성된 여러 가지 대안 공정계획 정보가 hBOP를 통해 표현되고 통합운용시스템 안에서 체계적으로 관리될 수 있다. H/W에 독립적인 nBOP와 H/W를 반영한 hBOP를 이원화하여 체계적으로 관리함으로써 현장상황 변화에 따른 공정 모델링 변경 상황에서 nBOP의 공정관련 기술정보를 참조하여 hBOP를 수정하는 방식으로 대응할 수 있게 된다.

eBOP(Executable BOP)는 hBOP의 대안 중에서 실제 사용할 선택된 공정계획을 표현하는 모델로 최적 스케줄링 결과를 포함하는 선형 프로세스로 구성된다. 가공 실행 후 공정 관련 실시간 실적 및 상태 정보를 수집하여 eBOP와 연계함으로써 계획 대비 실적을 관리하고 피드백 결과를 반영할 수 있게 된다.

3.2 BOP 내부 데이터 구조

3.1 절에서 제시한 Multi-Layer BOP는 이기종 멀티셀 유연

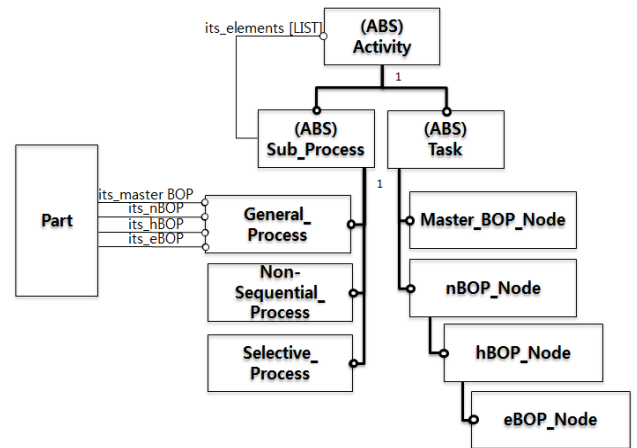


Fig. 4 Data Structure of Multi-Layer BOP

생산환경의 다양성을 모델링하기 위해 비선형의 네트워크 형태의 구조로 표현될 수 있다. 특히 비선형 공정계획 수립, 대안 기계 및 셀 할당, 동적 공정 추가, 제거, 삭제 가능한 유연한 공정관리 체계를 구축하기 위해서는 비선형 네트워크 형태의 BOP 모델의 유연성을 효과적으로 표현할 수 있어야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 비즈니스 프로세스 표준인 BPMN (Business Process Management Notation)⁽¹⁰⁾에서 정의된 비즈니스 프로세스 구조와 CNC 공작기계의 공정계획에 대한 표준인 ISO 14649 Part 10⁽¹¹⁾의 공정계획 데이터 모델을 참조하여 Multi-Layer BOP의 내부 데이터 구조를 Fig. 4와 같이 EXPRESS-G 방법론을 사용하여 제시한다.

통합운용시스템의 관리 기준은 가공 대상 부품이기 때문에 해당 부품을 기준으로 BOP 정보를 관리하게 되며, BOP는 Activity의 집합인 General_Process 타입의 속성으로 정의한다. Activity는 더 이상 분해할 수 없는 최하위 레벨의 단위공정을 나타내는 Task 타입과 하위 Activity의 집합인 Sub_Process 타입으로 구분된다. Sub_Process의 서브타입으로는 Sub_Process를 구성하는 Activity들이 순차적으로 수행되는 General_Process 타입, 순서와 관계없이 모든 조합이 가능한 Non-Sequential_Process 타입, 선택적으로 선별하여 수행할 수 있는 Selective_Process 타입을 포함시킴으로써 이기종 멀티 셀 유연생산환경에서 공정계획의 다양성을 표현할 수 있다. 또한 최하위레벨의 Activity인 Task는 Multi-Layer BOP의 단위공정을 표현할 수 있도록 네 가지 타입으로 상속되는데 Master_BOP_Node는 제품 관점의 속성을 표현하기 때문에 개별적으로 따로 정의하여 표현하고 nBOP_Node는 hBOP_Node로, hBOP_Node는 eBOP_Node로 상속될 수 있도록 구성함으로써 상위 계층 단위공정 노드의 속성을 연계할 수 있게 된다.

3.3 Multi-Layer BOP 기반 통합운용시스템의 공정관리

Fig. 5와 같이 Multi-Layer BOP 모델을 기반으로 통합운용

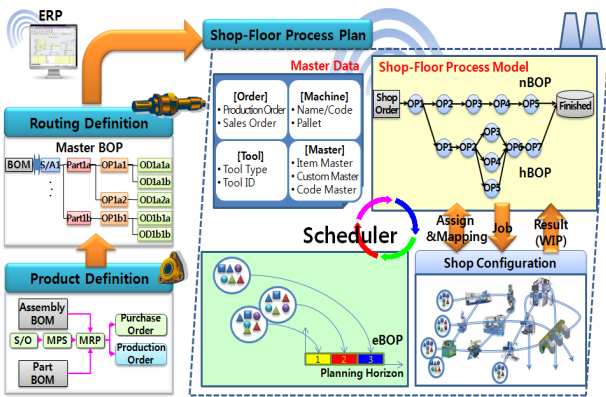


Fig. 5 Multi-Layer BOP Based Process Management

시스템의 주요 모듈이 작동하게 된다. 공정 모델링 모듈에서 nBOP를 바탕으로 현장 기계 구성을 반영하여 대안기계 등 정보 입력 후 hBOP를 생성함으로써 공정 모델링을 수행하게 되면 스케줄링 모듈에서는 hBOP에서 입력 파라미터를 받아와서 최적 스케줄을 포함하는 eBOP 생성하게 된다. eBOP 기반의 스케줄은 실운영정보 연계모듈을 통해 해당 셀 및 기계에 배포되고 작업실적을 eBOP에 추가하여 실적관리로 연계한다. 재스케줄링이 필요한 경우에는 실적자료가 추가된 eBOP를 받아와서 해당 hBOP를 수정한 후 새로운 hBOP 생성하여 스케줄링 모듈의 입력으로 사용한다. 또한 BOP 뷰어를 통해 상위 시스템과 연계된 Master BOP와 eBOP를 가시화함으로써 계획 대비 실적을 비교할 수 있게 된다.

여기에서, Master BOP와 nBOP는 통합운영시스템 외부의 상위 시스템에서 생성되어 통합운영시스템의 사용자가 참조할 수 있도록 가시화되고 hBOP는 통합운영시스템 내부에서 관리된다. 한편 eBOP는 hBOP와 같이 시스템 내부에서 관리되는

동시에 계획 대비 실적 비교를 위해 Master BOP와 함께 사용자에게 가시화된다.

4. Multi-Layer BOP 기반 통합운영시스템 구현

본 연구에서 제안한 Multi-Layer BOP 모델을 기반으로 이기종 멀티 셀 유연생산환경에 대한 통합운영시스템을 확장하여 구현하였다. Fig. 6은 현재 구현 중인 통합운영시스템의 여러 기능들 중에서 Multi-Layer BOP 모델과 관련하여 확장된 부분들을 중심으로 보여 주고 있다.

먼저 상위 ERP 시스템과 기준정보를 연계함으로써 Production Order나 Sales Order 정보를 통합운영시스템의 공정 모듈과 스케줄링 모듈에서 사용할 수 있도록 구현하였고, ERP 시스템의 생산계획 모듈과 통합운영시스템의 공정 모델링 모듈 및 스케줄링 모듈의 정보를 연계하여 납기응답 산출 기능을 구현하였다. 또한 공정 모델링 모듈에서는 Multi-Layer BOP 기반의 공정관리를 위하여 공정 템플릿을 확장하고 BOM 정보를 연계하여 Master BOP와 eBOP를 가시화할 수 있는 뷰어를 구현하고 있다. 뿐만 아니라 MTConnect 기반의 이기종 기계 및 셀 간 확장형 인터페이스를 구현하여 실운영정보 인터페이스 모듈이 양방향 통신을 통해 실시간 생산현장 정보를 연동하여 eBOP에서 관리할 수 있도록 함으로써 동적 스케줄링에 필요한 실운영정보를 확보할 수 있도록 하였다.

5. 결론

본 논문에서는 이기종 멀티 셀 유연생산환경의 통합운영을 지원하는 Multi-Layer BOP 기반 공정관리 체계를 제시하였다. 본 연구에서는 통합운영시스템의 효과적인 공정관리 체계

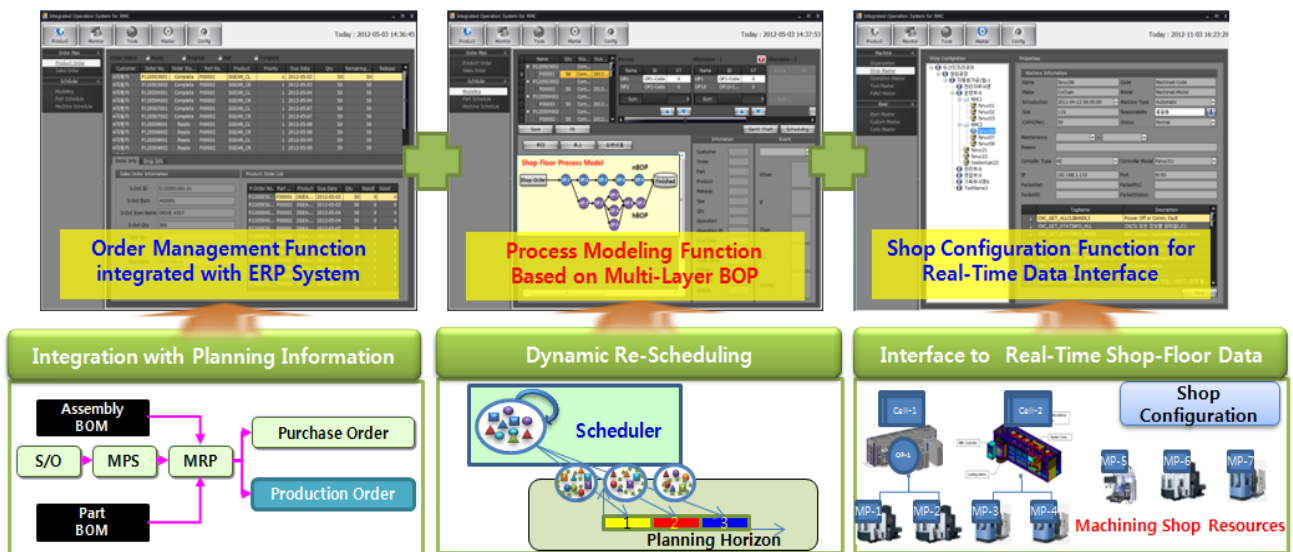


Fig. 6 Implementation of Integrated Real-Time Shop Operations System

구축을 위하여 Multi-Layer BOP 모델을 4개 계층으로 구분하고 각 영역에서 요구되는 정보요소를 수용함으로써 상위 시스템으로부터 하위 장치 레벨까지 일관된 표현과 체계적인 관리를 할 수 있도록 설계하였다. 또한 Multi-Layer BOP의 프로세스를 유연하게 표현할 수 있도록 내부 데이터 모델을 제시하고 이를 기반으로 하는 통합운용시스템의 사용 시나리오를 통해 제시하였다. 이러한 Multi-Layer BOP 모델을 통해서 확장되어 구현 중인 통합운용시스템의 모습을 통해 제안된 모델의 활용 방식을 설명하였다.

향후 상위시스템과의 연계를 강화하고 실운영정보 인터페이스를 활용하여 이기종 멀티 셀 유연생산환경의 다양한 현장 발생 이벤트에 대한 시나리오를 개발하여 통합운용시스템을 검증하고 현업에서 발생하는 다양한 상황에 대응할 수 있는 실증적인 시스템으로 발전시켜 나가고자 한다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 중 하나인 ‘자율적응 생산시스템 통합 운용기술 개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- (1) Lee, D. G., Jeong, M. G., Kim, M. H., Chang, K.C., 2010, “Transition of Manufacturing Systems”, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 593~598.
- (2) Lee, D. G., Jeong, M. G., Kim, M. H., Chang, K.C., 2010, “The Future of Flexible Manufacturing System”, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 607~611.
- (3) Nam, S. H., Baek, J. Y., Choi, Y.J., Shin, J. H., Lee, S. W., 2012, “New Paradigms of Flexible Automation: Cell-Based Flexible Manufacturing System”, *Proceedings of KSME 2012 Spring Conference on Manufacturing & Design Engineering*, Daejeon Korea, Jun 26-27 2012.
- (4) Fastems, Inc., viewed 5 Mar.2013, <<http://www.fastems.com>>.
- (5) Nam, S. H., Ryu, K. Y., Shin, J. H., Kwon, K.E., Lee, S. W., 2012, “An Integrated Shop Operation System for Multi-Cell Flexible Manufacturing Systems under Job Shop Environments”, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 29, No. 4, pp. 386~394.
- (6) Jain, A., Jain, P. K., Singh, I. P., 2006, “An integrated scheme for process planning and scheduling in FMS”, *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, pp. 1111~1118.
- (7) Choi, B. K., Kim, B. H., 2002, “MES Architecture for FMS Compatible to ERP”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 3, pp. 274~284.
- (8) Chung, D. H., Suh, S. H., 2008, “ISO 14649-Based Nonlinear Process Planning Implementation for complex machining”, *Computer-Aided Design*, Vol. 40, No. 5, pp. 521~536.
- (9) Herrmann, G., Kim, B. H., Vijayaraghavan, A., Sobel, W., Fox, A., Dornfeld, D., Warndorf, P., 2008, “Improving Machine Tool Interoperability Using Standardized Interface Protocols: MTConnect”, *Proceedings of 2008 International Symposium on Flexible Automation*, Atlanta GA USA, Jun 23-26 2008.
- (10) Object Management Group, viewed 8 Mar.2013, <<http://www.bpmn.org>>.
- (11) ISO, 2004, “Industrial Automation Systems and Integration - Physical Device Control - Data Model for Computerized Numerical Controllers - Part 10: General Process Data”, ISO 14649-10:2004(E), Switzerland.