

설비 및 품질 데이터 연계 지능형 생산계획 스케줄링 모델 개발을 위한 시스템엔지니어링 접근 방법

박종희¹⁾, 김진영¹⁾, 홍대근^{2)*}

1) ㈜에이치랩, 2) 포항공과대학교 철강에너지소재대학원

Systems Engineering Approach to Develop Intelligent Production Planning Scheduling Model linked to Machine and Quality Data

Jong Hee Park¹⁾, Jin Young Kim¹⁾, Dae Geun Hong^{2)*}

1) H Lab Co., Ltd, 2) POSTECH GIFT

Abstract : This study proposes a systems engineering approach for the development of an advanced planning & scheduling (APS) system for a cosmetic case manufacturing factory. The APS system makes production plans and schedules based on the injection process, which consists of 27 plastic injection machines in parallel to control recommended inventory of products. The system uses machine operation/failure information and defective product/work-in-process tracking information to support intelligent scheduling. Furthermore, a genetic algorithm model is applied to handle the complexity of heuristic rules and machine/quality constraints in this process. As a result of the development, the recommended inventory compliance rate is improved by scheduling the 30-day production plan for 15 main products.

Key Words : Manufacturing planning, Advanced planning and scheduling (APS), Injection process planning, parallel machine scheduling, data management, scheduling algorithm, Systems Engineering

Received: October 12, 2021 / **Revised:** December 7, 2021 / **Accepted:** December 17, 2021

* 교신저자 : Dae-Geun Hong/POSTECH/dghong@postech.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

사출품의 제조 산업은 플라스틱 소재 유동성에 기반해 제품 및 부품을 가공 및 성형하는 생산 방식이다.[1] 금형을 이용한 높은 생산성으로 인해 사출 성형은 자동차, 디스플레이, 모바일, 반도체, 전기전자, 조선, 생활용품 등 대량 생산의 수단이 되고 있다. 이 분야에서 중국의 급성장은 관련 원재료의 원가 상승으로 이어져 수익성 악화의 원인이 되었다. 이를 극복하기 위해 소비전력량의 감소, 금형 가열 시스템의 최적화, 핫러너 기술 등 에너지 절감을 위한 연구가 진행되고 있다.[2] 특히, 4차 산업혁명의 흐름에 따라 스마트공장 기술의 개발과 적용을 통한 생산성 향상을 통한 원가 절감 방안이 관심 받고 있다.[3]

제조 산업에서 스마트공장 기술의 적용은 리드타임 단축, 맞춤형 제품, 설비효율 제고, 재고비용 감소, 물류 및 품질 연계의 관점에서 수행되고 있다.[3] 이 중에서 설비의 효율을 높이기 위한 생산 스케줄링은 여러 대의 사출 설비를 보유하고 있는 사출 제조 현장의 주요 이슈가 되고 있다. 제조 현장의 설비 가동률을 높이는 생산 스케줄링은 기존의 자재 수급 계획(MRP; Material Requirement Planning)을 바탕으로 한 선형계획의 수준을 넘어 다양한 정보의 연계가 필수적이다.[4] 이러한 연계 정보인 설비의 생산 데이터와 제품의 품질 데이터를 중심으로 가용자원에 대한 최적의 생산 계획 및 스케줄링을 도출하는 시스템이 지능형 생산계획 시스템 (APS; Advanced Planning & Scheduling)이다.[4]

APS 시스템은 전통적인 스케줄링 시스템의 단계적 절차에 따른 자재 및 생산 할당을 탈피하여 가용성의 관점에서 이벤트에 대응한 빈번한 일정 변경을 통해 고객 주문 납기 달성을 추구한다. 이 시스템의 목적은 리드타임 단축, 납기 준수 및 운영비용 감소이다.[4] 이를 위해, 현장의 가용 자원, 제약 조건, 생산 방식, 조달 방식, 공정, 외주 관리 등 다양한 환경에 따라 대응하기 위한 지속적인 커스터마이징

개발을 수행한다.

따라서 본 시스템 개발은 다양한 기술 대안 중 적용하고자 하는 제조 현장에 적합한 기술을 선정하고 요구사항을 기반으로 형상 관리하기 위해 시스템엔지니어링 방법론을 따라 접근한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사출 공정과 스케줄링 기술 관련 이슈를 살펴보고 3장에서는 지능형 스케줄링 시스템을 설계하기 위한 연구 체계를 설명한다. 4장에서는 지능형 스케줄링 시스템 설계 및 개발 사례를 설명한다. 5장에서 프로토타입 구현 결과에 대한 결론을 정리한다.

2. 문헌 연구

2.1 사출 성형 산업과 AI 기술

사출 성형 산업의 특징은 금형소재, 설계 가공, 해석, 성형기 기술, 측정 기술과 더불어 현장 경험이 필요한 복합기술인 점이다.[5] 제품의 형상이 다각적으로 복잡해지고 요구 정밀도가 높아짐에 따라 정확한 품질 관리를 위해서는 숙련공의 노하우에 의존하고 있다. 설비 내외부의 변동과 사출된 제품의 품질 데이터를 연계한 생산 스케줄링은 제조 노하우의 의존도를 낮출 수 있는 방안이다.

또한, 사출 제품 및 부품의 개발주기는 짧으나 성형품의 기본 수요량이 높은 특징이 있다. 이로 인해, 사출 기업의 재고 수준과 생산 계획 수립은 생산 관리 담당자의 경험을 바탕으로 작성하는 실정이다.[5] 이는 생산 계획 대비 실 생산량의 차이가 발생하고 설비 및 품질 이상 상황에 대응한 생산 계획 변경을 어렵게 만든다. 재고량과 가용자원, 제약 조건을 고려한 지능형 생산 계획은 보다 유연한 대처를 가능하게 하는 방안이다.

따라서, 사출 공정은 빅데이터와 인공지능 기술을 기반으로 다양한 솔루션을 개발하는 추세이다.[5] 이러한 예시로는 제조 현장에서 누적되는 공정 데이터를 자가 학습하는 적응형, 진화형 프로그램, 다형상 다품종 제품에 적용 가능한 인공지능 알고리즘,

다수의 지능형 플라스틱 사출 성형기를 원격으로 관리할 수 있는 IoT(Internet of Things) 기술, 옛지 디바이스 기반 사출성형공정 모니터링 시스템 및 데이터 처리, 전송 기술 등이 있다.



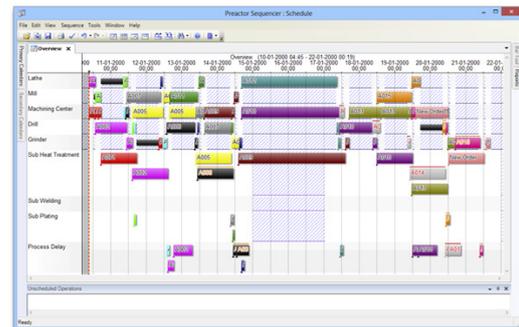
[Figure 1] Injection mold example

2.2 스마트공장과 APS 시스템

제조 현장의 경험과 노하우의 의존도를 줄여 생산성을 높이기 위해 정부는 빅데이터와 인공지능 기술을 기반으로 하는 스마트공장 구축 사업을 진행하고 있다.[6] 중소벤처기업부의 스마트제조 2.0 전략은 AI 활용 가능성과 산업 파급효과가 큰 뿌리기업 대표설비를 대상으로 스마트화하는 것이다. 이러한 대표 설비는 소성가공의 사출기, CNC 금형, 용접 분야의 용접기, 주조 가공의 프레스 등이 있으며 2022년 금형 분야 핵심 설비 AI 표준모델 적용을 목표하고 있다.[2] 이에 맞춰, 스마트제조혁신추진단의 스마트공장 구축 사업은 로봇 및 설비 등 현장 자동화, 컨트롤러 및 센서 등 제어 자동화, 그리고 최적화 및 운영 등 응용시스템의 기술 층위에서 스마트공장 솔루션 적용을 진행하고 있다.

이중에서 APS는 가장 높은 층위인 최적화 및 운영 등 응용시스템의 층위에 해당한다.[7] 이러한 APS의 주요 기능은 다음과 같다. 첫째, 기업 환경의 변동과 요건을 고려하여 신속하게 생산계획을 수정 반영하는 지원 체계이다. 둘째, 자재와 가용성, 고객의 수요를 충족하기 위한 설비능력과 제약조건의 고려 기능이다. 셋째, 최적화 알고리즘을 탑재하여 복잡한 생산 계획 시나리오를 실시간 비교분석할 수 있는 기능이다. 최근 국내의 APS 개발 및 적용 동향은 전자, 전기, 기계 산업을 중심으로 섬유, 화

학, 소비재 분야로 확산되는 추세이며[7] 연구 동향을 3가지 분류 기준으로 요약할 수 있다. 첫째, APS 시스템의 개발 분야 연구는 시스템과 모델링 내용을 제시하고 모델링 엔진과 최적 탐색 알고리즘을 개발하였다.[4] 둘째, APS 시스템의 현장 적용 연구는 주문형 반도체 생산 공장, 인쇄회로기판 제조공장 등 복잡한 생산계획의 모듈을 제시하고 시뮬레이션하거나,[8] 공급사슬관리 환경 ERP 시스템과의 연동을 제안하였다.[9] 셋째, APS 시스템의 분석연구는 산업별 공정의 형태를 분석하고 템플릿을 분류하거나 계층적 분석기법을 이용해 APS 기능의 중요도와 개선 프로세스를 제시하였다.[10] 이러한 최근 APS 시스템 연구동향은 중소 제조기업에 유효한 스케줄링 시스템으로 자리잡고 있다. 지멘스의 Preactor APS 솔루션은 Chocolates Valor 사에 적용되어 효과를 검증한 바 있다.[11]



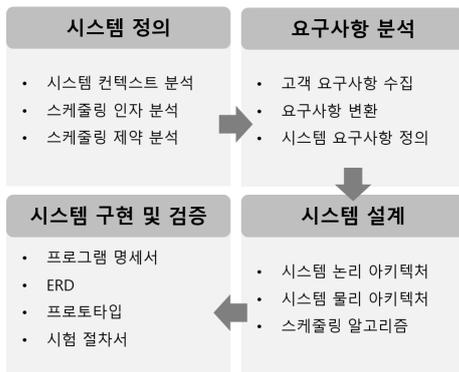
[Figure 2] SIEMENS Preactor APS Solution

3. 연구 체계

3.1 연구 범위

본 연구에서는 사출 공정의 설비 및 품질 데이터 연계 지능형 생산계획 스케줄링 모델 개발을 위한 과정을 그림 3에 표현하였다. 시스템엔지니어링 방법론의 절차를 테일러링하여 대상 시스템의 정의, 시스템 환경 분석, 인자 및 제약 분석을 시스템 정의 단계에서 수행한다. 운영 시나리오를 기반으로 고객 요구사항 수집 및 분석, 시스템 요구사항을 변환 및 정의하는 절차를 요구사항 분석 단계에서 수

행한다. 이를 바탕으로 시스템의 논리적, 물리적 아키텍처를 개발하고 프로그램을 설계하는 것을 시스템 설계 단계에서 수행한다. 마지막으로 시스템을 구현하고 검증을 수행한다. 이 과정에서 산업 현장의 다양한 이해관계자들이 한눈에 보기 어려운 추상성 높은 표현을 줄이고자 하였다. 따라서, 직접적인 현장 사용성이 좋은 입력물/출력물 위주의 기술 프로세스 중심 SE 공통 프로세스[12]를 준용하였다.



[Figure 3] Research system

3.2 시스템 정의 프로세스

시스템 분석 프로세스에서는 대상 시스템을 정의하고 이 시스템에 관련된 내부 및 외부 시스템을 배열하여 시스템 컨텍스트를 식별한다. 식별된 시스템 환경은 스케줄링에 관련된 인자(factor)와 제약 조건(constraint)로 구분하여 분석하고 시스템 변수로서 정의한다. 이 단계에서 시스템 컨텍스트 다이어그램을 활용한다.

3.3 요구사항 분석 프로세스

요구사항 분석 프로세스에서는 고객의 요구사항을 수집하고 시스템 요구사항으로 변환한다. 이 변환 작업은 품질기능전개(Quality Function Deployment, QFD) 기법에 따라 수행하고 기능 요구사항과 비기능 요구사항으로 구분하여 관리한다.

3.4 시스템 설계 프로세스

시스템 설계 프로세스는 시스템 요구사항을 기반

으로 시스템의 논리적, 물리적 아키텍처를 개발한다. 이 과정은 시스템 기능을 논리적으로 배치하고 물리적 구성 요소에 배분하는 과정을 거친다. IDEF0 다이어그램 및 HID(Hierarchy Diagram)을 활용한다.

3.5 시스템 구현 및 검증 프로세스

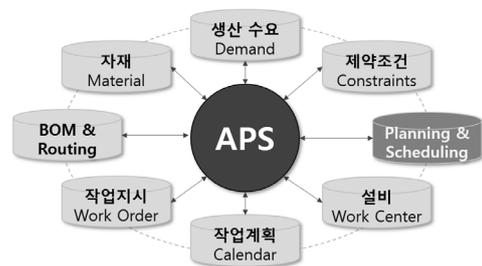
시스템 설계 산출물을 바탕으로 시스템 구현을 수행하고 결과를 구현 명세서로 정리한다. 시스템 구현 명세서를 바탕으로 시험 절차를 작성하고 시스템 검증을 수행한다. 이 과정에서 핵심 기능의 시험은 독립적인 시험 평가기관에 의뢰하여 평가한다.

4. 사례 연구

4.1 대상 시스템(Sol) 정의 및 분석

본 연구에서는 경기도 소재 사출공장에서 시스템을 적용한다. 대상 공장은 120~380톤 급 사출기 27대를 보유하고 있다.

대상 시스템이 적용되는 사출 공장에서는 생산 효율과 재고 비용 사이에서 적정 재고량을 유지하기 위한 생산계획을 필요로 한다. 이에 부합하기 위해, 대상 시스템은 기존 생산 관리자의 휴리스틱 스케줄링보다 효율적인 지능형 스케줄링 모델 도입을 추진한다.

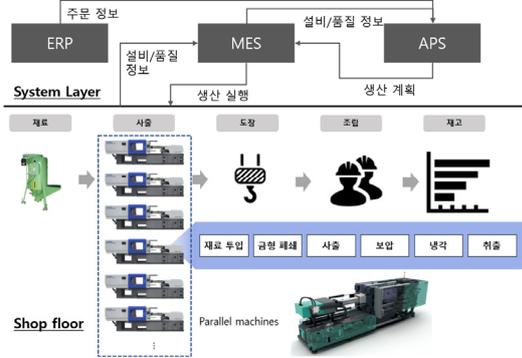


[Figure 4] System context

4.2 요구사항 분석

사업주, 생산관리팀, 자재관리팀, 공정관리자, 사출작업자, 유지보수 담당자 인터뷰 진행 및 기술정

보 조사를 통해 이해관계자 요구사항을 정의한다.



[Figure 5] Operation scenario

그림 5와 같은 운영 시나리오를 바탕으로 시스템의 이해관계자 요구사항을 추출했다. 사출 작업 환경에서 필요한 요구사항은 작업자 인터뷰 및 설문지 방식, 문헌 조사를 통해 수집했다. 주요 이해관계자 요구사항은 아래 그림 6과 같다.

관리번호	이해관계자	요구사항 명칭	세부 내용
S901	작업자	작업자 호출	사용 공간 내 작업자를 개별적으로 호출할 수 있어야 한다.
S902	작업자	관리자 호출	사용 공간 내 관리자를 개별적으로 호출할 수 있어야 한다.
S903	작업자	작업 현황	사용 공간 내 작업자와 관리자를 즉시 호출하여 작업 현황에 대한 알림이 가능해야 한다.
S904	작업자	물류 관리	작업 공간 내에서 작업하는 장비에 대한 물류 관리가 가능해야 한다.
S905	관리자	생산 계획	관리자 생산 계획 및 장비의 생산 계획을 관리자가 확인할 수 있어야 한다.
S906	관리자	작업 상황	관리자 생산 계획 및 작업자의 작업 상황을 실시간으로 확인할 수 있어야 한다.
S907	관리자	작업 현황	사용 공간 내 작업자와 장비의 작업 현황을 실시간으로 확인할 수 있어야 한다.
S908	관리자	이상징 확인	이상징 발생 시, 이상에 발생한 장비와 이상 내용을 분할하여 전달한다.
S909	관리자	작업 범위	작업 범위 설정을 통해 작업 범위를 지정할 수 있어야 한다.
S910	관리자	연기 발생	연기 발생 시, 연기에 발생한 장비와 연기를 분할하여 전달한다.
S911	관리자	고장 상황	사용 공간 내 고장 발생 시, 고장 발생 위치와 고장 내용을 분할하여 전달할 수 있어야 한다.
S912	유지보수 담당자	원인 조망	원인 조망 시, 고장 발생 위치와 고장 내용을 분할하여 전달할 수 있어야 한다.
S913	유지보수 담당자	원인 조망	원인 조망 시, 고장 발생 위치와 고장 내용을 분할하여 전달할 수 있어야 한다.
S914	유지보수 담당자	사고 발생 공유	발생하는 사고에 대한 정보가 실시간으로 공유되어야 한다.
S915	유지보수 담당자	사고 작업 확인	작업 중 사고 발생 시, 작업 진행 상황과 작업 완료 여부를 확인할 수 있어야 한다.
S916	작업자	원인 조망	원인 조망 시, 고장 발생 위치와 고장 내용을 분할하여 전달할 수 있어야 한다.
S917	작업자	작업 WIP 상태	문제 발생 시, WIP의 현재 상태와 수량을 확인할 수 있어야 한다.
S918	작업자	WIP 공유	공유로 인한 WIP의 공유 현황을 확인할 수 있어야 한다.
S919	작업자	원인 조망	원인 조망 시, 고장 발생 위치와 고장 내용을 분할하여 전달할 수 있어야 한다.
S920	관리자	지시 사항	작업 시, 작업 진행 상황에 대한 지시 사항을 공유할 수 있어야 한다.
S921	관리자	연계 사항	작업 시, 작업 진행 상황에 대한 연계 사항을 공유할 수 있어야 한다.

[Figure 6] Stakeholder's requirements

생산계획의 주요 인자는 전사적 자원 관리 (Enterprise Resource Planning, ERP) 기본 생산 인자인 수요처 주문 정보 및 제품별 재고 현황, 생산 관리시스템 (Manufacturing Execution System, MES) 기본 생산 인자인 배치 사이즈, 리드타임, 재공품 (Work in Progress, WIP) 관리를 고려한다. 주요 제약사항은 설비별 가동 현황, 점검 일정, 긴급 고장 정보, 제품 및 제공 품질 추적 데이터를 활용한다. 이러한 설계 고려사항 (Design consideration) 을 바탕으로 시스템 요구사항을 도출하였다. 시스템 요구사항은 그림 7과 같이 정리했다.

관리번호	요구사항 명칭	세부 내용
S901	수요처 주문 정보	시스템은 지정된 시간 별에 해당하는 스케줄된 정보를 획득할 수 있어야 한다.
S902	실시간 주문 정보	시스템은 실시간 주문 정보를 획득할 수 있어야 한다.
S903	주문 정보 전송 주기	시스템은 제품 작업장의 주문 정보를 주기적으로 전송할 수 있어야 한다.
S904	서비스 제공 사용자 등록	시스템은 서비스를 제공할 사용자를 등록할 수 있어야 한다.
S905	작업 사용자 등록	시스템은 작업 사용자의 정보를 등록할 수 있어야 한다.
S906	데이터베이스 연결	시스템은 데이터베이스로 정보를 전달할 수 있어야 한다.
S907	정보 요청 기록	시스템은 정보 요청 내역을 기록해야 한다.
S908	요청 정보 내역 조회	시스템은 정보 요청/전송 내역을 조회할 수 있어야 한다.
S909	서비스 요청자 인식	시스템은 서비스 요청자를 인식할 수 있어야 한다.
S910	서비스 요청자 자동 확인	시스템은 서비스 요청자명 서비스 이용 자격을 확인할 수 있어야 한다.
S911	전송 목적의 설정	시스템은 전송할 데이터를 설정할 수 있어야 한다.
S912	데이터 전송 여부 확인	시스템은 데이터가 손실없이 전송되었음을 확인할 수 있어야 한다.
S913	데이터 전송 방식	시스템은 JMS, TCP/IP, HTTP, FTP 및 SOAP 방식을 사용하여 정보를 전달할 수 있어야 한다.
S914	데이터 등록 전용	시스템은 데이터를 등록하는 전용을 제공할 수 있어야 한다.
S915	데이터 등록 삭제	시스템은 등록된 데이터를 삭제할 수 있어야 한다.
S916	중복수 속성 설정	시스템은 사용자/사물/데이터 등 서비스 속성을 변경할 수 있는 인터페이스를 제공해야 한다.
S917	외부 시스템 연동 암호화	시스템은 외부 시스템과 연동 시 데이터를 암호화할 수 있어야 한다.
S918	데이터 복호화	시스템은 데이터를 복호화할 수 있어야 한다.
S919	주요 기능	시스템은 데이터의 중요한 표현 방법 보안성을 분석할 수 있어야 한다.

[Figure 7] System requirements

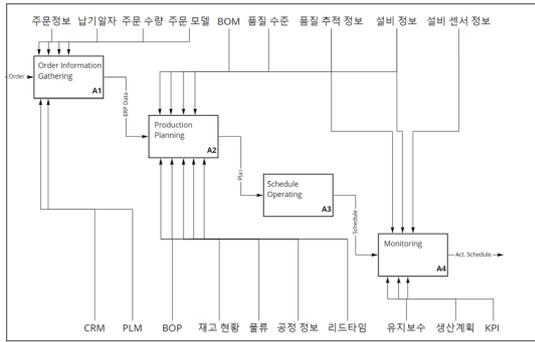
시스템 요구사항 도출은 본 사례연구에서 채택한 QFD 방법에 의해 그림 8과 같이 진행하였다. 이는 성능측정지표 (Measure of Performance, MOP) 에 의해 관리된다. APS 시스템의 기술적 설계 변수로는 ERP 인터페이스, 작업자 인터페이스, 스케줄링, 센서 인터페이스, 이상 상황 분류, 재고 정보, 물류 정보를 가지고 있다. 이 변수들의 성능측정지표는 주로 데이터 인터페이스에 걸리는 시간과 패킷 송수신 성공률이다.

MOP	APS 시스템 기술적 설계 변수											
	ERP 인터페이스	작업자 인터페이스	스케줄링	센서 인터페이스	이상 상황 분류	재고 정보	물류 정보	데이터 인터페이스	데이터 전송	데이터 수신	데이터 저장	데이터 검색
1. 데이터 전송 시간 최소화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2. 데이터 전송 성공률 최대화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3. 데이터 전송 용량 최소화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4. 데이터 전송 보안성 강화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5. 데이터 전송 유연성 강화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

[Figure 8] MOP requirements by QFD method

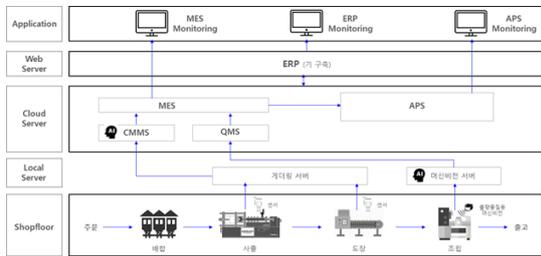
4.3 시스템 설계

시스템 요구사항의 논리적 순서를 바탕으로 시스템의 논리 아키텍처를 도출하였다. 시스템 기능을 아래 그림 9와 같이 순차적으로 배치하였다. 이 과정에서 기능 모델을 정의하기 위해 IDEF0 다이어그램을 활용하였다. 이 다이어그램은 상자 좌우로 입력과 출력을 표기하고 상자 상하로 제어 요소와 방법 요소를 표기한다.



[Figure 9] System logical architecture

시스템 논리 아키텍처를 바탕으로 기능 및 비기능 요구사항을 할당하여 그림 10과 같은 시스템 물리 아키텍처를 도출하였다. 시스템 물리 아키텍처는 제조 현장에서 수집되는 데이터를 연계하여 ERP 및 MES 정보와 연계한 인터페이스를 표시한다. 이 아키텍처는 애플리케이션, 레거시 서버, 클라우드 서버, 로컬 서버, 현장의 5개 층위를 구분하고 있으며 APS 스케줄링 모듈의 데이터 인터페이스를 위한 기능을 각 요소별로 할당하였다.



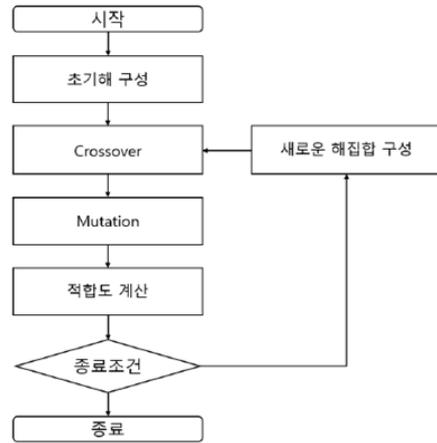
[Figure 10] System physical architecture

스케줄링 모델의 후보 알고리즘인 디스패칭 룰 (작업배정규칙, Dispatching rule), 선형계획, 유전 알고리즘, 강화학습 모델을 표 1과 같이 비교하였다. 이 중에서 유전알고리즘은 적자생존의 원리를 적용하여 수많은 이벤트 조합 중 최적의 스케줄을 탐색한다. 반복 생성할 대상(모델)이 필요하며 인공신경망 등 다양한 모델을 사용할 수 있다. 이러한 작동 순서는 무작위로 인공신경망의 가중치를 설정하여 초기 모델(스케줄)을 생성, 그 중 손실함수 (Loss Function)가 낮은 우수한 모델을 선택, 위의 부모 모델을 기반으로 자손 모델을 새로 생성, 자손

모델에서 확률적으로 돌연변이 생성, 이 과정을 반복하여 최적의 모델(스케줄) 도출하는 방법이다. 이를 그림 11의 과정으로 정리하였다.

<Table 1> Scheduling model types and comparison

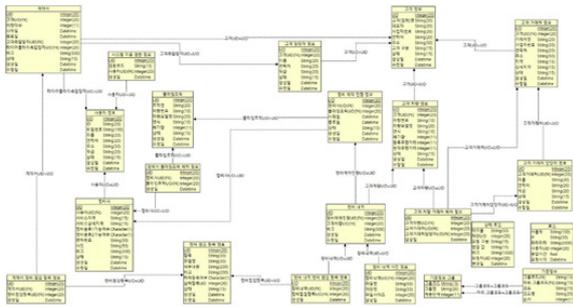
항목	디스패칭룰	선형계획	유전 알고리즘	강화학습
전제 조건	-	비례성, 가산성, 분할성, 확정성	-	마르코프 가정
환경 반영	작업시간, 유희시간 (상수)	작업순서, 작업비용, 작업시간 (부등식)	모든 수식 조건	모든 수식 조건
시스템 크기 (공정, 기계 수)	小	中	中	大
적합한 공정	Flow shop	Jopshop	Jopshop	Jopshop
컴퓨팅 비용	하	중	상	상
개발 난이도	하	중	중	상



[Figure 11] System model algorithm

4.4 시스템 구현 및 검증

시스템 아키텍처를 바탕으로 프로그램 명세서, 개체관계모델(Entity Relationship Diagram, ERD), 화면정의서를 그림 12와 같이 도출하였다. 도출된 ERD는 주문 정보와 설비 및 품질 정보 테이블을 중심으로 생산 스케줄, 정비, 출고, 기준정보 테이블 등이 구성되었다. 이러한 산출물을 바탕으로 시스템을 구현한다.



[Figure 12] Entity Relationship Diagram

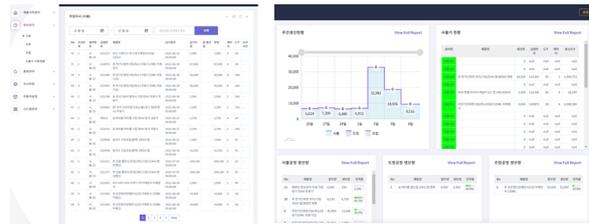
이 시스템은 Tencent 클라우드 서버와 MySQL 데이터베이스를 이용해 개발환경을 구축하고 그림 13과 같이 여러 대의 사출기가 병렬로 구성되어 있는 사출 공장 환경에서 구현하였다.



[Figure 13] Test Environment (예시)

사출 공장 환경은 27대의 사출 설비가 병렬로 구성되어 있으며, 배합된 재료가 사출기에 투입되고 제품에 해당하는 금형을 이용해 사출, 보압, 냉각의 과정을 거쳐 취출되는 과정을 거친다. 이 과정에서 주문 정보를 기반으로 생산량을 사출 설비에 할당하고 설비 및 품질 데이터에 따라 신속하게 스케줄을 재구성하는 테스트를 진행하였다.

구현된 프로토타입 시스템은 그림 14와 같은 사용자 인터페이스를 통해 스케줄링 정보를 작업자에게 전달하고 작업자는 지시된 작업을 수행한다. 시스템은 수행되는 작업의 현황과 결과 데이터를 모니터링하여 스케줄링에 재반영한다. 프로토타입은 메뉴를 통해 생산관리, 모니터링 기능을 활용할 수 있으며 좌측에 표시되는 작업지시를 바탕으로 생산 스케줄을 확인하도록 구현하였다.



[Figure 14] Prototype test

테스트 환경에서 수행된 시스템의 핵심성과지표 (Key Performance Indicator, KPI)는 설비 가동률 65%, 적정 재고 준수율 82%의 결과로 정량적 목표를 달성했다. 이 결과를 표 2와 같이 정리하였다. 테스트 전 시점은 관리자의 수작업으로 작성된 생산계획을 주간 작업지시로 관리하는 프로세스에서 측정하였으며, 테스트 후 시점은 APS 모듈이 생성한 스케줄을 관리자가 승인한 월간 생산계획으로 관리하는 프로세스에 따라 측정하였다.

<Table 2> Prototype test results

항목	테스트 전	테스트 후	향상
설비가동률	40%	65%	25%p
적정 재고 준수율	61%	82%	21%p
스케줄링 기간	15일	30일	-

5. 결론

본 연구는 시스템엔지니어링 방법론에 따른 접근 방식으로 설비 및 품질 데이터 연계 지능형 생산계획 스케줄링 시스템을 설계하고 이를 기반으로 APS 시스템 프로토타입을 구현하여 검증하였다. 이 APS 시스템은 기존의 MRP 기반 단계적, 선형적 스케줄링 방식의 문제점을 극복하고 사출 공정의 생산성을 향상하였다. 이에 따라 설비의 가동 효율을 높이고 적정 재고 준수율을 제고하여 결과적으로 고객 납기를 준수할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 대상 시스템을 개발하기 위한 이해관계자 요구사항 60개 항목을 도출하고 시스템

요구사항으로 변환하여 관리하였다. 시스템 요구사항을 바탕으로 3개 모듈과 주요 2개 알고리즘으로 이루어진 시스템을 설계하고 논리적, 물리적 아키텍처에 반영하였다.

시스템 아키텍처를 기반으로 구현된 S사의 APS 시스템은 정량적 목표인 설비 가동률과 적정 재고 준수율을 각각 25%p, 21%p 향상하였다. 이를 통해, 생산 작업자와 관리자 측면에서 생산 효율성 향상 정도를 확인하였다. 개발 과정에서 설비 가동률 지표는 영업, 생산관리, 생산기술, 물류, 외주관리의 다양한 이해관계자가 관련되어 있다는 이슈를 가지고 있어 레거시 시스템 구축에 활용된 소프트웨어 개발 방법을 적용하는 것에 어려움이 따랐다. 본 논문에서 준용한 SE 방법론의 시스템 성능척도 정의 프로세스에 따라 작성한 QFD를 통해 설비 정비 일정의 상충 없이 설비 가동률의 향상을 높였고 각각의 이해관계자들이 이 영향을 활용할 수 있는 가이드라인을 제시하는 효과를 얻었다.

추후 APS 시스템은 사출 공정에서 60대 이상으로 확장할 계획이며, 커스터마이징 개발을 통해 조립 공정 및 도장 공정에 확대 적용할 예정이다.

References

- 허영무(2002). 사출성형용 금형의 기능 및 구조에 대한 고찰. 소성가공, 11(8), 641-650
- 관계부처 합동(2020). AI·데이터 기반 중소기업 제조혁신 고도화 전략, 비상경제 중앙대책본부
- 임정우 등(2017). 스마트팩토리 기반 제조공정 혁신에 관한 연구. 대한경영학회지, 30(9), 1609-1630
- 정남기 등(2001). TOC/DBR 기반의 APS 시스템 설계에 관한 연구. 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 490-493
- 원시대 등(2014). 사출금형·성형 기술동향. 소성가공, 23(3), 184-188
- 조용주(2017). 4차 산업혁명 시대에 국내 스마트팩토리 추진전략. 정보과학회지, 35(6), 40-48
- 이재용, 신문수(2015). 디스패칭 룰 기반의 Advanced Planning and Scheduling (APS) 시스템 활용 사례연구. 산업경영시스템학회지, 30(3), 78-86
- 서정대, 정재우(2011). LCD 모듈 공정의 MES 생산계획 프로세스를 위한 주문 스케줄링. 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 929-936
- 남승훈 등(2016). 조선산업의 공급망을 고려한 APS 생산계획 모듈 설계. 한국CDE학회 논문집, 21(3), 353-362
- 황덕형 등(2012). APS 개선을 위한 요인 분석. 대한안전경영과학회 춘계학술대회, 585-602
- SIEMENS. Products, Advanced Planning and Scheduling. (2021). Available online: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/>
- 이태경, 이중윤(2017). 시스템엔지니어링 공통 프로세스 개선 연구 : 기술 프로세스를 중심으로. 시스템엔지니어링 학술지, 13(1), 41-50