



중소 식품 제조기업에 대한 FOM-BI와 CPS를 활용한 프로세스 구축 방법론 연구

양해성^a, 권정태^b, 김수영^{a,*}

A Study on the Process Establishment Using FOM-BI and CPS for a Small and Medium-sized Food Manufacturing Company

Hae Sung Yang^a, Jeong Tae Kwon^b, Su Young Kim^{a,*}^a Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University^b Division of Mechanical and Automotive Engineering, Hoseo University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	4	July	2023
Revised	23	August	2023
Accepted	19	September	2023

Keywords:

FOM(smart-factory operation management)
 VSM(value stream mapping)
 CPS(cyber physical system)
 Smart factory
 Process

ABSTRACT

As innovative products and services are rapidly created in the era of the Fourth industrial revolution, and the convergence of digital and analog accelerates, smart manufacturing operation management is required to respond to a rapidly changing business environment, and FOM-BI, a low-cost and customized platform, can be an alternative. CPS simulations were conducted and verified for small and medium-sized food manufacturers, focusing on improvements made through FOM and VSM analysis. Optimal solutions were found to improve the non-value-added process, and productivity improvement measures were derived. The KPI visualization dashboard made it possible to detect problems in real time and make data-based decisions. Leveraging the FOM-BI platform will contribute to enhanced corporate performance and competitiveness by establishing a smart manufacturing company.

1. 서론

4차 산업 혁명 시대의 인공지능(AI, artificial intelligence), IoT (internet of things), 빅데이터 등의 IT(information technology) 기술들이 서로 연결되어 혁신적인 제품과 서비스가 빠르게 창출되고 디지털과 아날로그의 융복합이 가속함에 따라 엄청난 양의 데이터들이 기하급수적으로 생성되고 있다. 이러한 흐름에는 기술 분야의 혁신이 몰고 오는 저렴한 가격의 데이터 저장과 처리 비용, 전 세계를 하나로 묶는 빠른 네트워크 인프라 형성, 전송 속도와 분석기술의 발달, 스마트 기기의 기술혁신이 있었다. 빅데이터 시대의 도래와 알파고나 IBM의 왓슨 같은 인공지능의 등장은 기업들의 일하는 방식과 생존하는 방식을 급격하게 바꾸고 있으며, 변

화의 흐름에 적응하거나 진화하지 못하면 생태계에서 살아남지 못하고 도태되거나 밀려날 수밖에 없다. 급격한 환경변화와 데이터 홍수 시대에 살아남기 위해서는 신속한 의사결정과 실시간 데이터 기반 업무처리가 무엇보다 중요하다. 이는 기업의 경영활동으로 발생한 수많은 데이터를 바탕으로 어떻게 통합/분석하여 가치를 창출할 것인가가 관건이며, 생성된 정보를 업무담당자나 경영자층이 얼마나 실시간으로 활용할 수 있는가에 따라 기업의 경쟁력이 달라진다^[1].

2021년 데이터 기반 운영과 관련된 중소기업기술정보진흥원 디지털 연계 수준 조사에서 보면 IT 시스템을 활용해 사람이 생산 공정을 운영하는 비율이 11.3%, 데이터 교환/공유는 사람이 수행하는 공정과 시스템 간 디지털 연계/통합 구축된 회사 4.7%, 자동

* Corresponding author. Tel.: +82-70-8600-5336

E-mail address: df2030@hoseo.edu (Su Young Kim).

으로 이루어지는 기업은 2.8%, 전 영역에 걸쳐 자율적으로 제품을 생산 서비스하는 비율은 2.2%밖에 되지 않는다^[2].

많은 중소 제조기업들이 기업 생존 경쟁력확보를 위해 연구 개발과 더불어 ICT(information and communications technology) 기술을 도입하고 스마트 제조 시스템 구축에 많은 투자와 기술 변화에 대응하고 있지만, 여전히 어려운 처지에 있다. 이는 중소기업이 가지고 있는 제한된 자원, 기술 전문성 부족, 원가 절감의 한계, 혁신의 어려움, 리더십의 부재 등으로 기술 변화의 빠른 속도로 인해 따라가지 못하고 있기 때문이다. 제조기업에서 경쟁 우위 확보와 유지를 위해서는 기술적 우위(공정개발, 시설투자 등)와 더불어 제조 기술을 뒷받침하는 고도의 생산 운영이 다른 산업 분야보다 더 중요하다^[3].

본 연구에서는 중소 제조기업인 스마트 푸드 공장의 프로세스 개선을 통한 경쟁력 강화와 디지털 전환(DX, digital transformation)을 위한 비즈니스 인텔리전스 실행 모형을 만들기 위하여 4M 기반 다차원 분석 도구인 FOM(smart-factory operating management, 공장 운영관리)을 기반으로 맞춤형 생산 제조 실행 시스템을 구축하고 FOM-BI(business intelligence)를 통해 도출된 개선요인에 대해 CPS(cyber physical systems) 검증으로 최적의 프로세스를 구축하는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 선행연구

Kim(2021)은 4차 산업 혁명으로 인해 제조업의 산업 트렌드가 빠르게 변화하고 있으며, 정보기술(information technology, IT), 사물인터넷(internet of things, IoT), 인공지능(artificial intelligence, AI), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 빅데이터 등의 기술 발달로 제조과정에서 수집되는 데이터의 양을 기하급수적으로 증가시켜 제조업의 스마트화를 촉진하고 있다고 하였다^[4].

하지만 대기업에 비해 전문인력이나 혁신을 뒷받침할 수 있는 물적 자원의 부족, 데이터 활용의 능력이나 인식의 미흡 등으로 인해 중소 제조기업의 스마트화에 많은 어려움을 겪고 있다.

그러한 어려움으로 인해 국내 제조기업들이 IT 기술을 도입하는 과정에서 여러 가지 문제점의 발생으로 전사적 자원관리 ERP(enterprise resource planning), 제조실행 시스템 MES(manufacturing execution system), 생산 시점 관리 시스템 POP(point of production) 등 IT 솔루션을 적용한 중소 제조기업의 경우 대다수가 기초수준에 머무르며 스마트화 기능을 제대로 활용하지 못하고 있다고 주장하였다^[3,4].

Kim(2015)는 대부분 중소기업에서는 데이터의 수집 및 관리 방법이 체계적이지 않고, 수집되더라도 IT 활용 기술이 미흡하여 기업의 생산성과 품질을 향상하는 데 한계가 있다고 보았다^[5].

제조 현장의 생산성 향상을 위해서는 프로세스의 문제점을 파악하고 공정별, 작업자별 재조정을 반복적으로 실행하면서 생산성이 높은 공정 간의 조합을 찾아낼 수 있어야 한다. 이러한 공정개선, 병목 공정 및 설비 밸런싱을 파악하기 위해서는 가치 흐름 지도(value stream mapping) 기법이 유효하다.

대규모 철강공장에 가치 흐름 지도를 기초로 하여 개선 전과 후의 공정 시뮬레이션을 통해 비교한 결과 제조 리드타임과 재공품 재고가 현저히 줄어들음을 확인하였고, 말레이시아의 한 자동차부품 생산 업체의 디스크 조립공정에 가치 흐름 지도법(value stream mapping, VSM)을 적용하여 재고를 줄이고 품질을 개선한 사례를 보였다^[6].

Park(2018)은 시뮬레이션은 실제로 대상시스템을 현장에 구축하지 않고 컴퓨터상에서 모델을 만들어 실행하여 예측 결과를 얻고 평가하는 것으로, 현장 적용 전에 모델을 설계하고 시뮬레이션 기법을 통한 분석과 사전 검토를 통하여 종합적인 대안의 평가가 필요하게 된다고 하였다^[7].

Lee(2014)는 경쟁력 향상을 위해서 기업의 내외부에서 발생하는 자료를 수집하고 분석하여 경영 환경의 추세를 파악하고 전략을 수립하기 위하여 BI 시각화 활용의 중요성을 말하고 중소기업에서 발생한 영업 관리 데이터, 자재관리 데이터를 세 가지 BI 도구로 비교 분석하고 실증을 통해 중소기업에 더 나은 의사결정을 할 수 있게 도움을 줄 수 있다고 주장하였다^[8].

앞에서 언급된 선행연구들은 IT 기술을 활용하여 중소기업에 맞는 운영 솔루션의 필요성, 빅데이터의 활용에 대한 중요성 그리고 시뮬레이션을 통한 공정 최적화의 효율성에 대해 언급하고 있다. 하지만 맞춤형 플랫폼을 통하여 제조 현장의 데이터의 최적화와 프로세스 분석, FOM 과 VSM, 가상 공장의 3D 모델링 시뮬레이션 기법을 결합하여 공정 최적화에 관한 결과를 평가하고 검증하는 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 FOM-BI 현장 맞춤형 솔루션 모델을 만들어 ICT 인프라를 비롯하여 현장에서 발생하는 raw data를 활용 한 4M 관점의 다차원 분석, 가치 흐름 분석과 의사결정 지원을 위한 시각화 과정을 진행하며, 이를 통해 전체 프로세스 흐름에 대한 문제점 요인 추출과 시뮬레이션 검증을 바탕으로 스마트한 제조 현장을 구축할 수 있는 방법론을 제시한다는 점이 기존 연구와 차별된다.

3. 프로세스 구축 방법론

본 연구에서 사용하는 스마트 팩토리 운영관리(FOM) 솔루션은 가상 물리시스템(cyber physical system, CPS), 문제 기반 맞춤형 학습(problem based learning, PBL)과 함께 디지털 팩토리에서의 최적 생산 시나리오 구축 생산 방법론인 지능 인지형 신생산

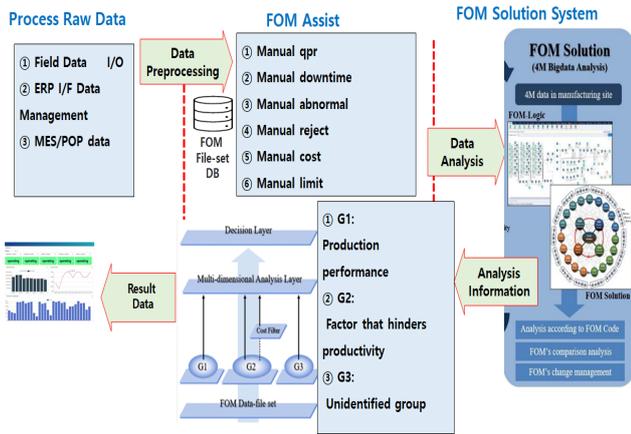


Fig. 1 FOM package structure

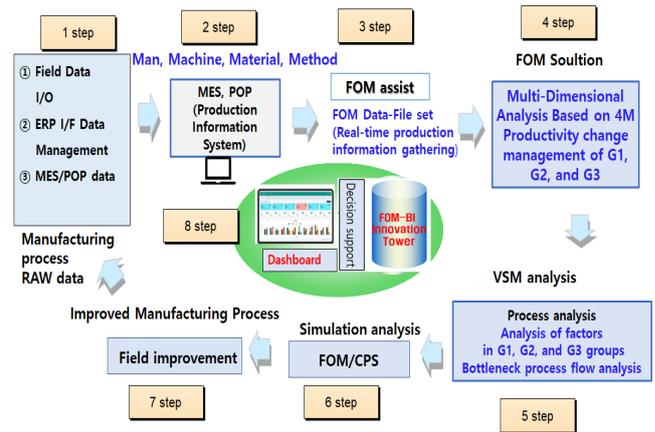


Fig. 2 FOM-BI 8 steps flow chart

시스템(MI-NPS, meta intelligence-new production system) 구축에 활용되는 방법론 중의 하나로 현장에서 얻어진 데이터를 분석하여 제조기업의 생산성 향상에 가장 큰 장애요인을 찾아 해결책을 도출할 수 있다.

FOM 솔루션에 입력되는 데이터는 기업에서 관리하는 MES, ERP, POP 또는 Excel 등의 데이터를 Fig. 1에서 보여 주는 FOM file-set DB에서 algorithm을 통해 전처리하여 실적정보관리(quick plan result, QPR) 파일과 비가동(manual downtime), 부적합(manual abnormal), 한도설정(manual limit), 불량(manual reject) 및 단가(manual cost)의 6종류의 파일을 생성하고 FOM 솔루션에 적용하면 생산실적 그룹 G1, 비가동, 불량, 부적합요인으로 구성된 그룹 G2, 미확인 그룹 G3 관련하여 다차원 분석이 가능하다.

이를 통해 제조 공정에서 발생하는 생산성 저해 요인과 핵심성과 측정지표(key performance indicator, KPI) 등을 도출하여 스마트한 제조의 통합적인 관리가 용이하게 한다^[4].

VSM(value stream mapping)은 자재나 정보의 흐름을 연결하는 시각화 기법으로 낭비를 제거하고 이를 제거하는 데 가장 중요한 실행 방법론으로 제품 또는 서비스를 제공하는 전 과정에서 자원 및 정보 흐름을 한눈에 볼 수 있게 하는 프로세스 맵이다.

CPS는 기반의 가상 제조 공정 시뮬레이터로 가상 공장(cyber factory)에 생산 현장을 구축하여 제조 공정 운용을 통한 생산 현장의 다양한 문제점을 파악하고 분석하여 개선점을 발굴하여 검증할 수 있다. 또한 신규 공장의 구축이나 기존 공장의 확장에 필요한 가상 공장의 최적화 설계와 시뮬레이션을 통해 미래 위험 비용을 낮출 수 있으며, 최적의 대안을 도출하여 생산 효율을 극대화할 수 있다.

BI는 business intelligence의 약자로, Gartner에서 1996년 처음 제안된 것으로 데이터를 통합/분석으로 시각화하여 기업의 신

속한 의사결정, 정확한 KPI 수치 경영, 그리고 데이터 기반으로 고도화된 분석을 도와준다^[9].

FOM-BI 프레임 워크는 먼저 제조 현장에서 발생하는 생산, 품질, 관리용 raw data를 활용하여 MES 나 POP에서 생산 정보 시스템을 운용하고 FOM 솔루션 기반으로 G1, G2, G3 개념으로 나누어 4M 다차원 분석한다. 이를 통해 생산실적 G1과 요인분석 G2, 미확인 분석 G3를 통해 생산성 변화관리와 데이터 시각화, 생산 관리 지표분석 한 다음 VSM 분석과 FOM 시뮬레이션으로 개선항목, 낭비 요소 및 부가치 요소를 찾아내고 CPS 시뮬레이션을 통한 검증으로 최적의 흐름 생산 프로세스 구축 및 대시보드를 통해 실시간 의사결정을 지원하는 개념이다.

FOM-BI 실행 방법으로 Fig. 2의 8단계 절차를 따라 이루어진다.

먼저 1단계는 작업실적 data 나 설비 자료를 수집하고, 2단계는 4M 관련 data를 집계하여 FOM-BI 맞춤형 생산 정보화 시스템 MES를 위하여 사용자가 요구하고 필수적으로 관리되어야 하는 항목으로 시스템을 구성한다. 3단계는 실시간 생산정보를 이용하여 6개의 data file-set을 구성하는 단계이며, 4단계는 4M 기반 다차원 분석으로 G1, G2, G3 관련하여 생산실적과 요인을 분석하여 상위권 요인 중 가장 긴급한 부분을 개선 테마로 잡는다. 5, 6단계는 앞의 4단계 분석을 참고로 VSM 프로세스 분석으로 좋은 흐름이 되지 못하는 프로세스나 병목 공정을 우선순위로 하여 개선 전·후 개선 효과가 큰 요인을 찾아내기 위해 FOM이나 CPS 시뮬레이션으로 개선 효과를 확인한다. 7단계는 확인된 항목을 중심으로 현장 개선 및 간이 자동화를 실시하여 생산성을 향상하고 8단계는 운영 및 KPI 대시보드를 통해 나오는 데이터를 분석 및 모니터링으로 의사결정을 지원한다.

FOM-BI 대시보드는 전략적 대시보드, 분석 대시보드, 운영 대시보드 3종류로 나누어지며 대규모 자료 기반으로 수집, 분석, 정제된 정보를 얻어 비즈니스 의사결정에 활용할 수 있도록 해주며, 차트, 그래프, 기타 상호작용 도구를 사용한 데이터 시각화는 의사

결정자가 복잡한 데이터를 보다 효과적으로 이해하고 해석할 수 있게 도와준다.

4. 실증사례

4.1 H사 As-Is 분석

FOM-BI 을 적용한 기업은 호두과자 전문업체인 H사로 1934년 설립되어 호두과자 생산설비 4대, 포장기계 4대를 갖추어 매출액 23억, 종업원 20명의 중소기업으로 천안의 명물인 호두과자를 전문으로 생산하고 있다. 호두과자의 공정 생산현황을 보면 원자재 입고 → 앙금 만들기 → 밀가루 반죽 → 베이커기 → 내 포장 → 외포장 1 → 외포장 2로 이루어진다. H사는 전통적인 제조공장이 협소한 공간과 원만하지 못한 생산 제조 공정으로 인해 생산성의 한계에 부딪히고 있다. 이를 극복하기 위하여 새로운 공장 이전을 추구하고 있으며, 효율적인 제조 현장을 구축하기 위하여 공정상의 문제점을 비롯하여 bottle neck을 발견해 내고 이를 반영한 새로운 프로세스의 설계가 필요하였다. 이를 위해 FOM 솔루션으로 2023년 4월 한 달의 데이터를 기준으로 분석한 결과는 다음과 같다.

H사에서는 부적합(code 4000)을 관리하지 않아 생산량(code 1000), 비가동(code 2000), 불량(code 3000)을 4M 기반으로 분석하였으며, FOM 으로 분석한 결과 종합 생산 실적(1100)은 호두과자생산량과 포장 달성률을 포함한 달성률은 84.5%로 Fig. 3에서 나타나는 것과 같이 계획 대비 실적 달성률에 있어 대부분 미달

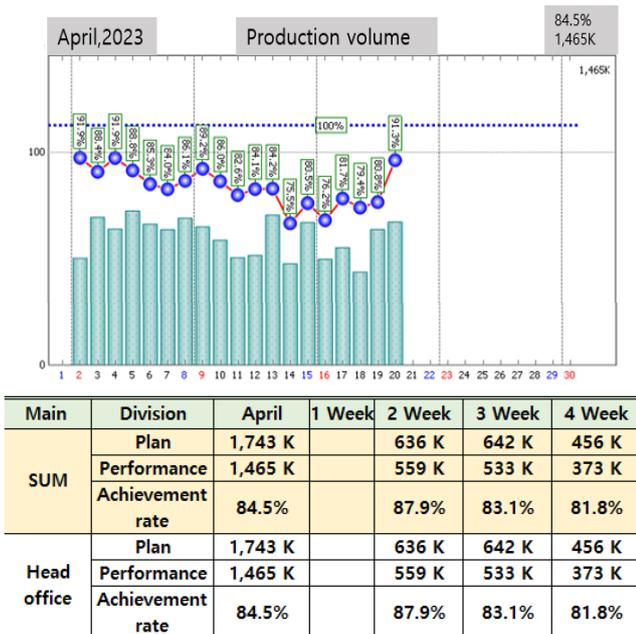
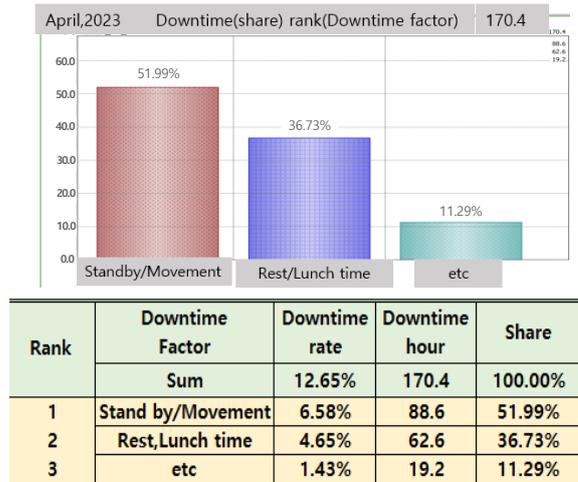
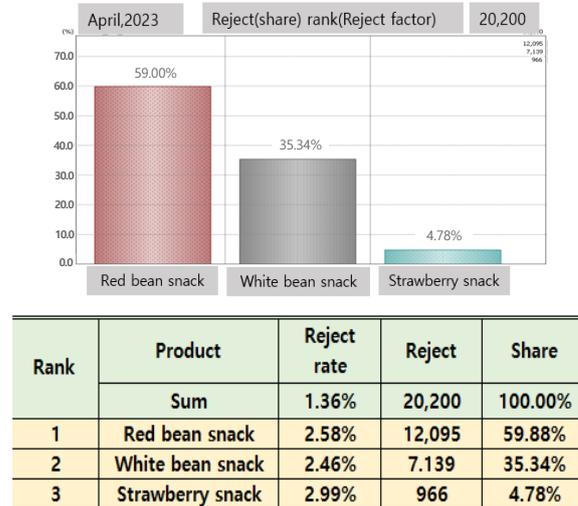


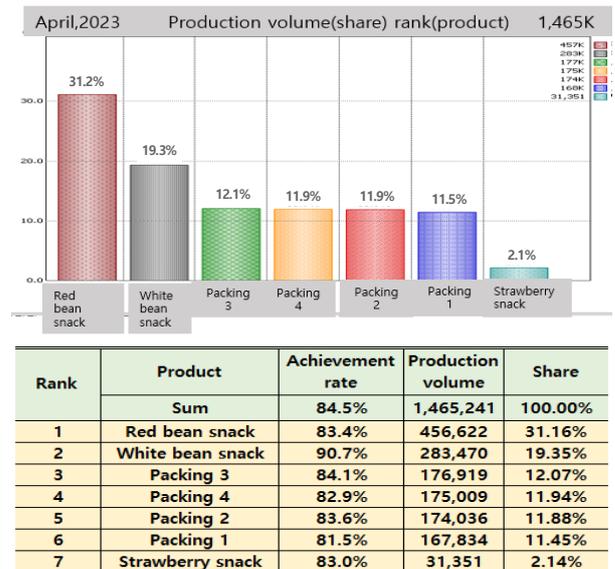
Fig. 3 FOM As-Is total production volume



(a) Downtime rank (share)



(b) Reject rank (share)



(c) Production rank (share)

Fig. 4 FOM As-Is analysis

Table 1 FOM As-Is results

Item	As-Is
Product volume	Target achievement rate 84.5%
Downtime	12.65%
Reject	Walnut snack manufacturing 2.68%
Process balance (production)	Baker 52.6%, Packing machine 47.4%

을 보여주고 있다.

Fig. 4 FOM As-Is 분석을 종합해보면 (a)점심시간 및 대기로 인한 비가동 12.68%로 개선이 시급하며 (b)호두과자 미투입 및 터짐으로 인한 불량률 2.68% 또한 대책이 필요하고 (c) 베이커기와 포장기의 생산량 비교에 있어 베이커 생산 달성률 52.68%, 포장기 47.35%로 두 공정 간에 5.33%의 차이를 보여주어 두 공정 간에 공정 밸런싱이 필요함을 알수 있다.

Table 1은 FOM 솔루션을 통해 나온 FOM As-Is 데이터 분석 결과이며, 각 항목의 데이터 분석을 통해 개선이 필요한 항목으로 계획 대비 목표미달, 베이커기와 포장 설비의 당일 생산량 불균형, 비가동이 및 불량 등이 개선되어야 할 항목으로 나타났다.

4.2 VSM 흐름 생산 분석

H사의 프로세스의 문제점을 파악하고 흐름 생산에서 개선이 필요한 포인트를 찾기 위해 Fig. 5와 같이 현 공정을 토대로 현재 상태 가치 흐름 지도(current state value stream map)를 작성하였다. 리더 타임은 30일 기준 1day 83.2초이며 1day는 영업팀에서 생산계획을 주면 팔을 이용한 앙금과 밀가루를 공급자에게서 공급 받으면 500 kg 단위로 사전 작업이 이루어지는 단계로 분석에서 제외하고 분석 사이클 타임은 베이커가 굽기에서부터 외포장 1까지의 83.2초를 사이클 타임으로 정했다. 작업공정은 베이커 기에서 4대의 베이커 기에서 각각 1알 기준 사이클 타임 0.48초를 가지

고 굽기를 한 다음 포장기로 가서 내 포장하고 동시에 같은 작업대에서 외포장 공정을 수행한다. 외포장 2는 고객의 주문에 따른 포장이 이루어지는 관계로 분석에서는 제외하였다.

Fig. 5의 현재 VSM 보면 베이커 제조 공정 → 내 포장 공정 → 외포장 1공정 → 영업 매장 외 포장 2공정에서 많은 문제점과 단계별 공정 간의 재공 재고가 많음을 알 수 있다. VSM의 아래 그래프 부분은 공정별 사이클 타임을 나타내며 내려 그래프 위의 부분은 대기나 사전 작업, 이동에 걸리는 시간이며 아래는 공정별 사이클 타임이다. 가장 문제점을 많이 가지고 있는 것이 베이커 공정으로 베이커기의 호두과자 생산을 위해 필요한 20분 정도의 사전 예열 시간으로 인해 비가동 시간 증가 원인이 되고 있으며 호두과자의 터짐과 호두 미투입 등의 불량 또한 베이커 기기에서 만들어지고 있었다. 내 포장기 자동 포장 속도와 외 포장 1의 수작업 속도로 재공 재고가 많이 발생하여 생산 공정의 bottle neck으로 작용하고 있으며, H 사는 베이커 공정과 포장 공정의 배치가 원활하게 흐르는 흐름 생산 구조가 되지 못하고 공정간 대기과 이동 낭비가 많이 발생하고 있었다. 베이커기와 내 포장기, 외 포장기 1, 외 포장기 2에서 재공 재고가 많이 쌓여 이를 반 이하로 줄일 필요가 있다. H사는 베이커 4대 4명, 포장기 4명 현재 총 8명이 각 요소 작업(work element)을 수행하고 있으며 각 공정 간에 존재하는 지속적인 재공 재고는 베이커기의 생산 속도와 포장기 생산 속도와와의 차이로 공정 간의 line balancing에 문제가 있는 것으로 판단된다. 이러한 분석을 기반으로 Table 1의 FOM분석 개선항목과 Fig. 5의 현재 VSM 분석을 통하여 미래 VSM에 도달하기 위하여 도출되고 실행되어야 할 개선항목을 종합하면 다음과 같다.

- 1) 하루 목표량 목표 대비 84.5% 생산량 미달에 있어 베이커기 부분 자동화로 호두과자 자동 투입기 및 반죽 일정량 투입될 수 있는 장치를 개선하여야 하며
- 2) 베이커기 52.65%, 포장기 47.35%로 공정이 동기화되지 못하고 있어 내 포장기의 속도를 1개 포장 능력을 2개 포장으로 개선하고 외포장 1에 로봇팔을 추가하여 자동화한다.
- 3) 비가동 시간은 12.75%로 베이커기 예열용 자동 점화 장치 개선이 필요하며 점심시간 베이커가 반자동화와 전 공정에서 컨베이어 화를 하여 자동 이송 기능을 추가하고,
- 4) 제품 불량을 개선하기 위하여 베이커기의 반죽 주입기개선 및 머신 비전 설치로 사전 불량 감소가 필요하다. 그리고 이동 낭비를 줄이기 위하여 공정간 이동은 컨베이어화 해야 한다.

Fig. 6은 FOM과 VSM을 통해 나온 사항들을 중심으로 자동화와 공정개선을 반영한 미래 VSM으로 베이커기의 성능 향상, 내 포장과 외포장 1의 자동화 및 개선을 한 미래 모습을 나타낸 가치 흐름 지도이다. 현재 상태의 VSM에서는 사이클 타임이 83.2초이나 개선 후의 미래 VSM에서는 자동화 장치와 공간 라인 발린싱 등을 통해 64.72초로(이동공정 단축 50%↓, 작업공정 40% 단축

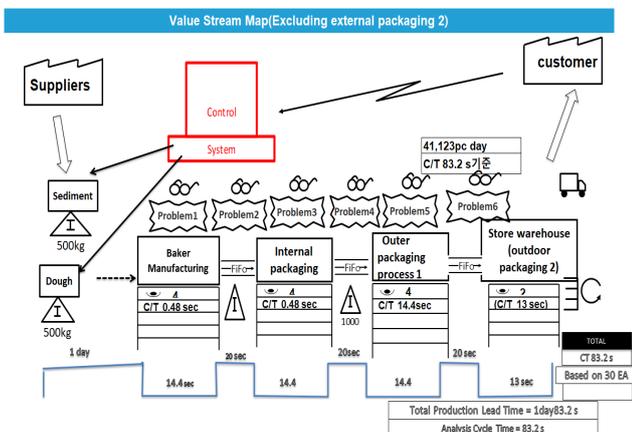


Fig. 5 Present VSM

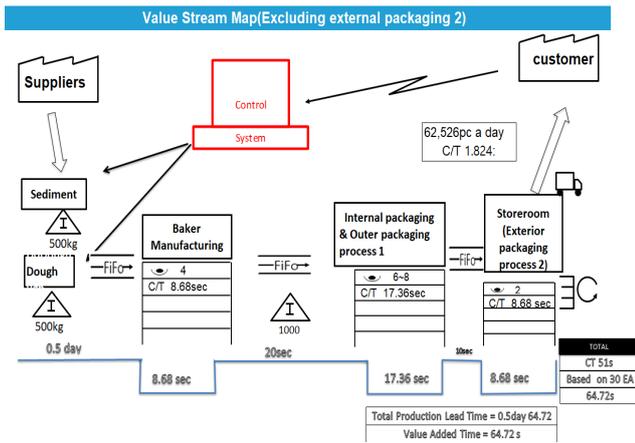
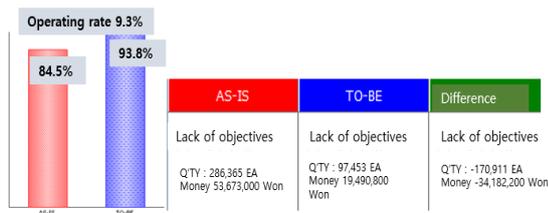


Fig. 6 Future VSM

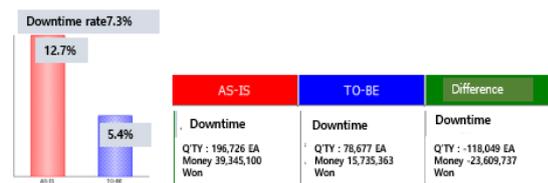
↓ 개선을 목표로 하여 각 공정의 개선이 필요하다. 이를 위하여 밀가루 반죽과 앙금 작업을 1일 → 0.5일로 작업 시스템을 변경하고 베이커기 굽기 공정은 부분 자동화로 14.4초에서 8.68초로 줄이면서 각기기의 생산 속도 최적화와 각 공정의 라인 밸런싱을 통



(a) Comparative analysis of operation rate before and after improvement



(b) Comparative analysis of reject rate before and after improvement



(c) Comparative analysis of downtime rate before and after improvement

Fig. 7 FOM Comparative analysis

해 재공재고가 3~4,000개에서 1,000개 이하로 운영될 수 있도록 한다. 그리고 내 포장과 외포장 1부분에 있어 동시에 한기 계에서 이루어지는 자동화로 28.8초 → 17.36초로 하여 리더 타임을 1 day 83.2초에서 0.5day 64.72초로 운영될 수 있도록 하여야 한다.

FOM과 VSM 분석에서 나타난 개선항목을 바탕으로 FOM 솔루션 모델에 입력한 시나리오를 작성하고, As-Is 데이터를 기반으로 제조 공정에서 적용할 수 있는 수준을 고려한 4M 다차원 분석과 개선 효과에 대해 예측 분석을 수행하였다. 개선 효과를 예측하기 위해서는 먼저 To-Be data를 활용한 manual QPR data file-set을 생성하여야 한다.

Fig. 7은 공정별 개선 상한선을 고려하여 베이커기 및 포장 생산량을 10% 상향, 대기 이동시간 감축 및 점심시간의 간이 자동화 도입으로 비가동 시간 50% 단축, 불량률 50% 감소를 목표로 정하고 2023년 5월의 QPR 데이터 manual QPR_2023.csv'(To-Be 데이터)를 생성하고 시뮬레이션을 통해 개선 전/후 비교 분석 결과이다. Fig. 7 FOM 시뮬레이션 결과를 보면 (a) 생산 가동 달성률이 개선 전 84.5%에서 개선 후 93.8%로 9.3% 개선되었고, 목표 달성에 따른 이익도 약 3,418만 원 증가하였고, (b) 불량률은 개선 전 1.36%에서 개선 후 0.63%로 0.73% 감소하였고, (c) 비가동률은 개선 전 12.7%에서 개선 후 5.4%로 7.3% 감소함을 확인하였다. Table 2는 이를 개선 효과를 종합 정리한 현황표이다.

4.3 FOM 시뮬레이션을 통한 개선 효과 분석

FOM과 VSM 분석에서 나타난 개선항목을 바탕으로 FOM 솔루션 모델에 입력한 시나리오를 작성하고, As-Is 데이터를 기반으로 제조 공정에서 적용할 수 있는 수준을 고려한 4M 다차원 분석과 개선 효과에 대해 예측 분석을 수행하였다. 개선 효과를 예측하기 위해서는 먼저 To-Be data를 활용한 manual QPR data file-set을 생성하여야 한다. Fig. 7은 공정별 개선 상한선을 고려하여 베이커기 및 포장 생산량을 10% 상향, 대기 이동시간 감축 및 점심시간의 간이 자동화 도입으로 비가동 시간 50% 단축, 불량률 50% 감소를 목표로 정하고 2023년 5월의 QPR 데이터 manual QPR_2023.csv'(To-Be 데이터)를 생성하고 시뮬레이션을 통해 개선 전/후 비교 분석 결과이다.

Table 2 FOM simulation improvement results

Total improvement	Reducing 34.2 won of the loss cost of production and productivity rate has increased by about 9.3%
Improve product reject	Reduction of the loss cost by 217.2 Kwon
Reduce downtime	Reduction of the loss cost by 23.6 MWon and down rate has reduced by 7.2% point

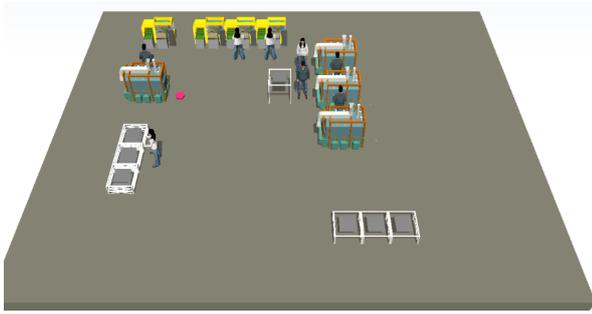


Fig. 8 Company H virtual factory designed with S-Prodis

4.4 CPS 시뮬레이션

CPS는 제조 현장의 설비 배치, 물류 동선, 작업자 등을 가상의 공간에 구현한 가상 시스템으로 최적의 공정 운영 방안을 찾기 위한 시뮬레이터와 이 방안을 적용할 제어가 융합된 시스템으로 디지털트윈을 구성하는 요소이다^[5].

본 연구에서 사용하는 S-Prodis 12는 국내 시뮬레이션 개발도구 업체인 에쎬 테크놀지 회사의 프로그램이다. CPS 기반의 가상 제조 공정 시뮬레이터로 Fig. 8은 H사의 현재 공장을 그대로 가상 공장(cyber factory)에 3D 모형화 한 것으로 이를 이용하여 제조 공정 운용을 통한 생산 현장의 다양한 문제점을 파악하고 분석하여 개선점을 발굴하여 검증할 수 있고, 다양한 공정 시뮬레이션을 통해 최적의 대안을 도출하여 생산 효율을 극대화할 수 있다.

4.4.1 시뮬레이션 모델 설계

S-Prodis를 이용한 시뮬레이션에 필요한 가상 현장 모델링과 제조 공정 모델은 현장 도면, 설비 종류 및 배치, 공정 구성 등의 제반 정보를 수집하고 분석한 결과에 기반하여 ut에 따른 실제 현장과 동일하게 장비 위치 결정, 물류 및 작업자를 배정 설계한다^[10].

Fig. 9 시뮬레이션 모델링 과정은 가장 먼저 설비환경을 모델링하여 가상 공장에 layout을 구축하고 이를 바탕으로 Fig. 11와 같이 공정에 따른 작업자, 장비, 공정 변수 parameter 별로 실 현장에 맞는 기준정보를 입력하고 제품정보와 생산계획정보를 작성하여



Fig. 9 Simulation model

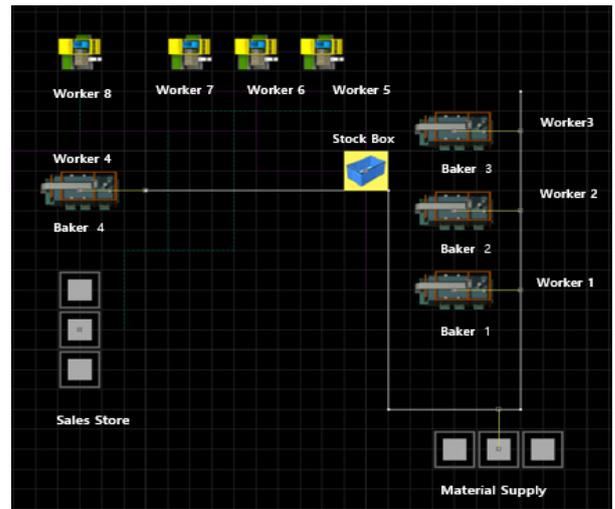


Fig. 10 Virtual factory modeling

Worker parameter setting

Group name	Floor	Delay rate	Return time	Moving time	Worker number	Start position	Pattern
Baker worker	1	0.00	0	40.00	2		
Dedicated worker	-	-	-	60	-		-
Packing worker	1	0.00	0	40.00	5		

Fig. 11 Parameter setting

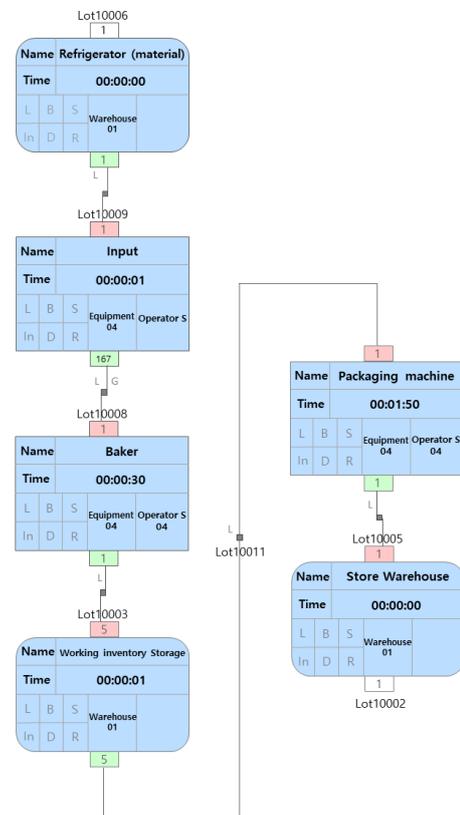


Fig. 12 1st Simulation process model

모델링 한다.

4.4.2 시뮬레이션을 위한 공정 As-Is 분석

Fig. 10은 H사의 현재 공정을 시뮬레이션하기 위해 modling 한 가상 공장이다. 오른쪽에 3대의 베이커기와 반대편에 떨어져 설치되어 있는 베이커 4호기 그리고 벽면에 4대의 포장기가 있다. 작업 시작 전 냉장고에서 반죽과 앙금이 각 베이커기에 투입되어 굽기 과정으로 완성된 제과는 포장을 위해 중간에 있는 재공 재고 박스에 대기하다가 포장기에서 포장한 다음, 포장된 베이커는 판매 매장(sales store)으로 이동하게 된다.

Fig. 10의 가상 공장을 시뮬레이션을 위해서는 먼저 Fig. 12과 같은 공정 모델을 만들고 공정별로 Fig. 11에 나와 있는 것처럼 공정별 변수를 직접 설정 입력해야 한다. 시뮬레이션 모델 기준정보는 실 제조 작업시간 기준으로 베이커기 1 lot 기준 30초, 1 lot 30알 기준 1분 30초(포장 30초, 대기 공정 60초), 167 lot 기준 원재료 투입(투입 공정시간 1초), 설비별 작업자는 1명 배치, 작업자의 이동속도는 40 m/min이다. 이를 바탕으로 기본적으로 그린 layout에 따른 각 단위 공정별 정보를 설정해야 한다.

S-Prodis에서는 Fig. 11과 같이 각 공정에 대한 작업자, 장비에 대한 parameter와 같은 공정별 생산정보 입력이 중요하며 시뮬레

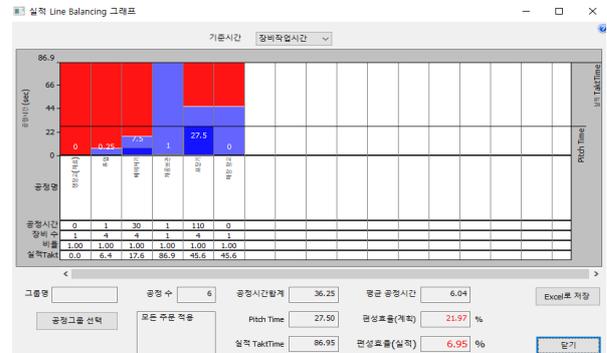
이션의 기본 변수가 된다.

Fig. 12는 냉장고에 보관된 재료가 하루에 두 번 베이커기에 167 lot 양으로 투입되어 베이커기 →재공보관 →포장기 →매장창고로 가는 1차 시뮬레이션 모델 기준정보를 나타낸다. 이를 기준으로 CPS 1차 시뮬레이션한 결과인 Fig. 13에서 살펴보면 시간당 생산량 UPH(unit per hour) (a)는 75개이며, 라인 편성효율(b)는 계획 21.97% 대비 실적 6.95%, 작업의 시작과 끝을 표시하는 Gantt 차트(c)를 보면 상단 베이커기와 하단 포장기의 작업속도 차이가 크게 남을 알 수 있다. 작업자 실적 그래프(d)를 보면 작업자 평균 작업실적은 66.4%이며 이를 상세히 분석하면 포장기에서 작업자 부하가 베이커기보다 높아 병목 공정이 되어 포장기 1대를 추가하여 공정을 밸런싱 할 필요 있는 것으로 판단 된다.

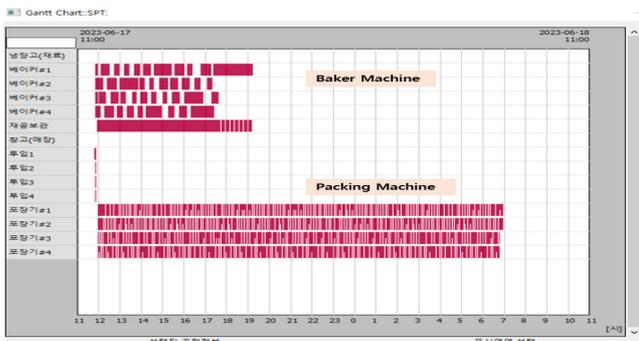
다음으로 Fig. 14와 같이 제품 물류 이동 동선의 최소화를 위하여 베이커기를 오른쪽으로 이동하고 중간에 재공 재고가 발생하지 않는 조건으로 layout을 모델링하여 2차 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 결과 Fig. 15에서처럼 (a)시간당 생산량은 75 EA에서 95.43 EA (d)작업자실적은 66.4%에서 75%로 각각 상승하고 (c) 칸트 차트는 베이커 공정과 포장기 공정이 거의 동기화 되었으며 (b)라인효율은 2번째 시뮬레이션 결과를 종합한 Table 4에서 보여주는 것과 같다.



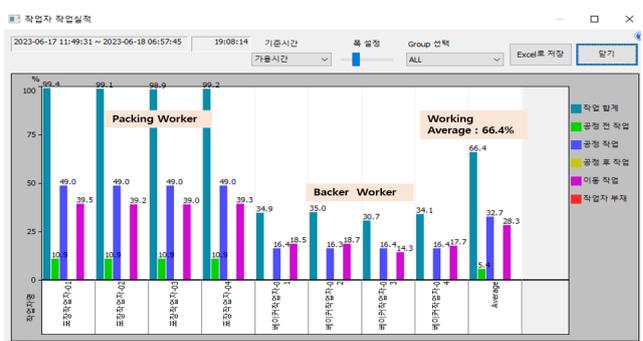
(a) Unit Per Hour (UPH)



(b) Performance line balancing graph



(c) Gantt char



(d) Worker's performance

Fig. 13 1st Simulation result

Table 3 1st Simulation As-Is analysis

Item	As-Is
UPH	75.00 EA
Line efficiency	Plan 21.97% Performance 6.95%
Worker performance	Average 66.4%
Gantt	The gap between the packaging process and the maker process is large

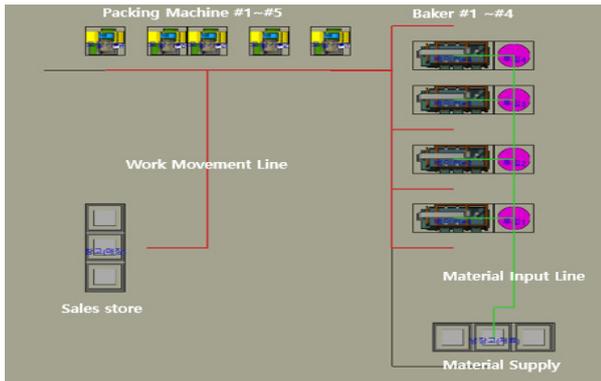


Fig. 14 2nd Simulation

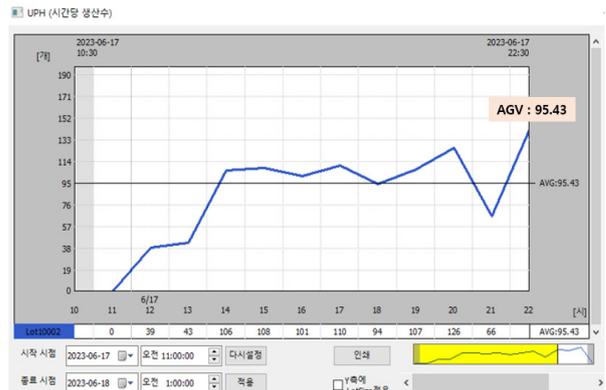
최종적으로 동일 조건으로 미래 VSM을 구축하기 위하여 현재 조건에서 목표 공정 타임을 30% 정도 줄이는 조건으로 시뮬레이션하였을 때 Fig. 16에서처럼 미래 VSM #1 UPH 그래프는 111.33 EA로 CPS As-Is 기준 48% 증가를 나타내고, 미래 VSM #2 조건으로 작업자 2명에서 4명으로 변경하여 시뮬레이션할 경우는 UPH 생산 수량은 133.66 EA로 77% 증가함을 보여준다.

FOM 과 VSM, CPS 시뮬레이션 분석 결과, 베이커 설비의 생산량, 포장기와 베이커 공정간 재공 재고 그리고 라인 불균형이 해결해야 할 핵심적인 요인임을 알 수 있고, 미래 공장의 layout 변경 때나 설비증설시 주안점을 두어야 함 점은 베이커기의 생산 능력 향상, 베이커 생산 속도와 동기화할 수 있는 포장기 생산 수량 증대, 제품이동 수단의 개선과 line balancing이며, 이를 중점적으로 개선할 때 H사의 생산 능력은 획기적으로 증가함을 예측할 수 있다.

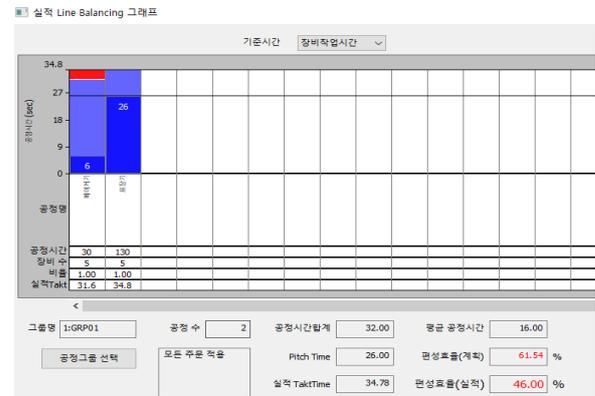
4.5 FOM-BI 대시보드

데이터 기반의 인사이트를 얻고 신속하게 기업 의사결정을 지원하는 FOM-BI에서 생성되는 대시보드는 종합 생산현황 운영 보드와 핵심 지표인 KPI 대시보드로 만들어져 운영된다.

Fig. 17은 베이커 1~4호기와 포장기 1~4호기까지의 생산현황, 전일 대비 실적, 월간 생산실적과 표시되어 공장 전체의 생산현황과 흐름을 한눈에 알 수 있게 하는 생산 운영 종합 상황판이며, Fig. 18 종합 KPI 대시보드는 매출액 관련 전년



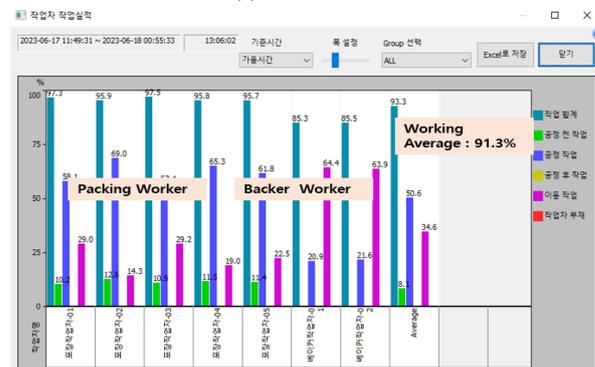
(a) Unit per hour (UPH)



(b) Performance line balancing graph



(c) Gantt chart



(d) Worker's performance

Fig. 15 2nd Simulation result

Table 4 2nd Improvement results

Item	Results
UPH	75 EA → 95.43 EA
Line efficiency	Plan 21.97% Performance 6.95% → Plan 67.45% Performance 47.35%
Worker performance	Average 66.4% → 75%
Gantt	The gap between the packaging process and the maker process is synchronization

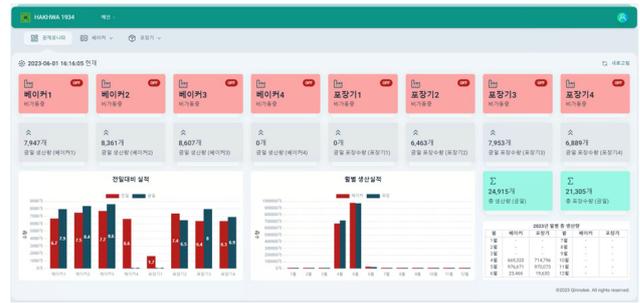


Fig. 17 Operating dashboard

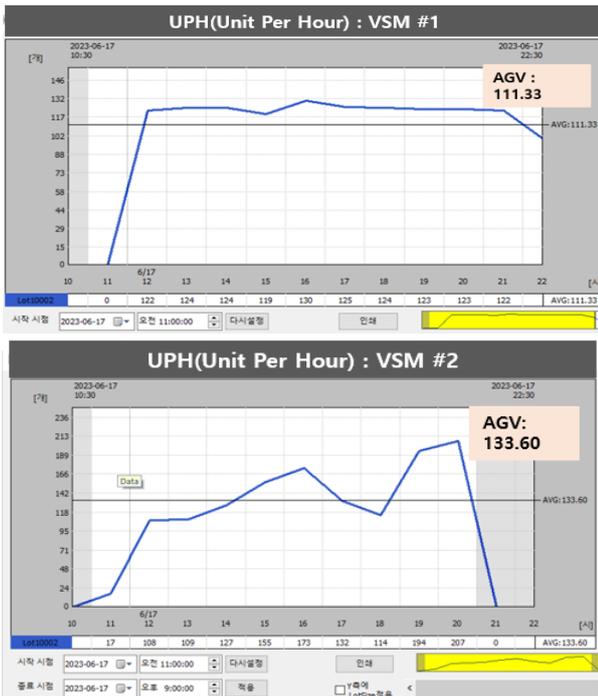


Fig. 16 VSM #1 and VSM #2



Fig. 18 KPI dashboard

도, 전월 대비 현재 매출액이나 목표 대비 진행 현황을 나타내며 회사가 관리하는 핵심 지표로 나타낼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 FOM 과 비즈니스 인텔리전스(BI)를 통합한 FOM-BI 모델을 사용하여 시스템을 구축하고 중소 식품 제조기업인 H사에 적용하였다. 본 연구에서는 FOM-BI 모델을 기반으로 FOM, VSM 분석에 따른 주요 개선항목에 대하여 CPS 시뮬레이션을 통해 최종 검증하여 최적 생산성 향상 방안을 도출하고 KPI 대시보드로 데이터를 시각화하여 신속한 의사결정을 지원하는 방법론으로 진행하였다.

FOM과 VSM을 이용하여 프로세스에 관련된 여러 가지 개선요인을 추출하고 이를 바탕으로 To-Be 조건의 개선 시나리오를 통해 현재 공장 layout 모델링과 제조 공정을 모듈화하여 CPS

시뮬레이션한 결과 생산 목표 수량인 UPH는 선택하는 방안 따라 CPS As-Is 대비 27%에서 77%까지 달성할 수 있음을 보여주었다.

FOM-BI 적용 결과 시뮬레이션을 통해 확인된 여러 가지 방안 중 최적의 대안 선택으로 기업의 생산성 향상 방안 예측이 가능하였으며 H사와 같이 신규 공장 구축이나 제조 공정 변경 계획 시 사전 시뮬레이션으로 변화에 대한 사전 예측과 위험 요소를 최소화할 수 있음을 확인하였다. 또한 운영 대시보드와 KIP 대시보드 활용으로 이해관계자 간의 정보 공유와 의사소통으로 데이터 기반 의사결정이 기대되어 진다.

본 연구를 통해 만들어진 FOM-BI 시스템은 중소기업에 대한 저비용·맞춤형·고효율의 플랫폼으로 데이터 기반 운영을 기본으로 정보화 자동화 스마트화로 이루어지는 스마트 제조 현장 및 스마트 오피스를 구현하는 방안이 될 수 있다. FOM-BI 방법론을 통해 성장의 한계에 부딪힌 중소 식품 제조 회사에서 디지털 전환(DX)으로 확보한 디지털 역량으로 급격한 경영 환경 변화에 따른 도전에 대응하고, 스마트한 제조 운영을 할 수 있는 토대를 구축함으로써 그렇지 못한 회사와의 차별화로 강한 경쟁력을 가진 중소기업으로의 성장과 재도약을 할 수 있으리라 기대된다.

앞으로의 연구에서는 대시보드의 시각화 기능이 기업 생산성에 얼마나 영향을 미치는 데 대한 정량적인 연구와 FOM 과 CPS 시뮬레이션 활용 시 FOM에서 나온 개선 요소들이 CPS에

유기적으로 연결되는 방법론에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 중소벤처기업부 ‘중소기업연구인력지원사업’의 재원으로 한국 산학협회사(URI)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2023년 기업 연계형 연구개발인력양성사업, 과제번호: RS-2023-0025 9258).

이 연구는 산업통상자원부 ‘스마트 제조 고급인력양성사업’의 재원으로 한국산업단지공단 지원 받아 수행된 연구임(2023년 2차 연도 사업, 과제번호: 2023-90-007)

References

- [1] Kim, Y. R., Park, G. W., 2014, A Study On BI Module Implementation Based Hybrid App For Smart Mobile Office, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 19:5 103-115, <https://doi.org/10.9723/jksis.2014.19.5.103>.
- [2] Korea Technology and Information Promotion Agency for SMEs, 2022, viewed February 1 2023, Survey on the level of informatization for Small and Medium Business, <https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=398&tblId=DT_398001_089&conn_path=I2>.
- [3] Kim, S. Y., Song, M. K., 2014, Application of MI-NPS Digital Factory Methodology for Production Ability Improvement and Optimal Layout Design : Application Case to Vehicle Shaft Manufacturing Line, Productivity Research: An International Interdisciplinary Journal, 28:1 47-73, <https://doi.org/10.15843/kpapr.28.1.201403.47>.
- [4] Kim, J. H., Kim, S. Y., 2021, Productivity Analysis Method Based on Big Data at the Manufacturing Site using the FOM System within the FOMs Package, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:4 259-268, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.4.259>.
- [5] Kim, S. Y., 2015, Study of Digital Factory FOM Solution on Software-based: Applied Case to Heat-Treatment Company, Korean Institute of Industrial Engineers Spring Joint Conf., 2855-2863.
- [6] Cho, D. H., Lee, J. S., Lee, K. W., 2015, Applying Value Streaming Mapping for Implementing Lean Manufacturing Process : A Case Study, Journal of the Korean Society of Supply Chain Management, 15:1 93-104.

- [7] Park, J. C., 2018, Process Efficiency Improvement of Epoxy Molding Line through Simulation, Doctoral Dissertation, Graduate School of Engineering, Ajou University, Republic of Korea.
- [8] Lee, K. Y., 2014, An Effective Development Strategy For Customized Business Intelligence System Using Visual Data and Analysis Tools, Master's thesis, Chungbuk National University Graduate School Business Data Convergence, Republic of Korea.
- [9] ISU System, 2017, viewed 10 July 2023, What is BI(Business Intelligence), <<https://blog.isusystem.com/blog/what-is-business-intelligence>>.
- [10] ESE Technology CO., Ltd., 2022, viewed 10 July 2023, S-Prodis, <<http://www.es-tech.com/product01.html#works01>>.

	<p>Hae Sung Yang Graduate Student in Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University. His research interest is FOM (smart-Factory Operation Management) with AI. E-mail: stonyang@naver.com</p>
	<p>Jeong Tae Kwon Professor in Division of Mechanical and Automotive Engineering, Hoseo University. His research interest is Application of Renewable Hydrogen Energy. E-mail: jtkwon@hoseo.edu</p>
	<p>Su Young Kim Professor in Department of Smart Factory for Materials-Parts-Equipment, Hoseo University. His research interest is applications of FOMs (smart-Factory Operation Managements). E-mail: df2030@hoseo.edu</p>