

FOMs 패키지 내 FOM 시스템을 활용한
제조현장 빅데이터 기반의 생산성 분석 방법에 관한 연구김재혁^a, 김수영^{b*}Productivity Analysis Method based on Manufacturing Big-data using
the FOM System in the FOMs PackageJae Hyuk Kim^a, Su Young Kim^{b*}^a Research Institute affiliated with Digital Factory Co., Ltd.^b Department of Smart Factory for Materials-Parts-Equipment, Graduate School, Hoseo University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	12	July	2021
Revised	30	July	2021
Accepted	2	August	2021

Keywords:

FOMs package
FOM system
Productivity analysis
Manufacturing big data
Convergence technology
Smart manufacturing

ABSTRACT

The key to transforming the manufacturing industry is the appropriate application of information technology and the utilization of data. Therefore, a method for efficient factory operation management, as well as IT system introduction, is important. From this, it is possible to create data-driven value and strengthen the competitiveness of enterprises. In this paper, we propose a FOMs (smart-Factory Operation Managements) Package method based on 4M data of manufacturing sites to improve productivity and competitiveness. In addition, we performed a case study by applying part of the FOMs Package to the manufacturer. We performed a detailed and multi-dimensional analysis of the MES/POP data that the manufacturer managed, and were able to derive not only the products that needed improvement but also related facilities, workers, downtimes, and defects. As a result, we found that the proposed method was effective in analyzing 4M manufacturing data and making decisions for factory operation management.

1. 서론

4차 산업혁명으로 인해 제조업의 산업트렌드가 빠르게 변화하고 있으며, 정보기술(information technology, IT), 사물인터넷(internet of things, IoT), 인공지능(artificial intelligence, AI), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 빅데이터 등의 기술 발달은 제조업에도 많은 영향을 미치고 있다. 이런 기술들의 발달은 제조 과정에서 수집되는 데이터의 양을 기하급수적으로 증가시켜 제조업의 스마트화를 촉진시키고 있다. 이러한 과정에서 데이터의 활

용성이 매우 중요해지고 있으며, 제조업 변혁의 핵심은 데이터 기반의 가치를 창출하여 기업의 경쟁력을 높이는 것이다^[1,2].

또한, 고객 니즈의 다양화와 글로벌 시장의 급격한 변화에 따라 생산제품이 다양해지고, 제조 프로세스의 복잡성이 증가하며, 제품 수명 주기가 짧아지고 있다. 이에 대응하고 기업의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 높은 유연성과 생산성을 확보할 수 있는 스마트한 생산시스템 도입이 필요하며 이와 관련된 연구가 지속적으로 진행되고 있다^[3,4].

이에 세계 주요국들은 자국의 경쟁력 강화를 위해서 정부 주도

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

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

하에 스마트제조 및 데이터 생태계 조성을 위한 정책들을 강력히 추진하고 있다. 특히, 중소기업은 국가 경제를 뒷받침하는 중추 역할을 담당하고 있으며 이들의 역할이 중요하다. 따라서 국내에서도 제조기업의 경쟁력 제고를 위해 중소기업을 대상으로 스마트공장 보급사업을 추진하고 있으며, 제조기업들은 스마트화를 위해 제품, 공정, 제조시스템 등에 IT기술을 도입하며 제조업의 디지털 전환(digital transformation, DT)을 위한 많은 노력을 기울이고 있다⁵⁾.

하지만 중소기업의 경우 인적·물적 자원의 부족, 데이터 활용의 미흡 등으로 인해 제조기업의 스마트화에 어려움을 겪고 있다. 또한 국내 제조기업들이 IT기술을 도입하는 과정에서 여러 가지 문제점이 발생하고 있고, 이 때문에 ERP (enterprise resource planning) 와 MES (manufacturing execution system) 그리고 POP (point of production) 등 IT솔루션을 적용한 중소 제조기업의 경우 대다수가 기초수준에 머무르며 스마트화 기능을 제대로 활용하지 못하고 있다^{6,7)}.

이러한 문제점이 발생하는 이유로는 대부분 기존 프로세스에 대한 제대로 된 분석과 성과관리지표에 대한 표준화 작업 없이 IT솔루션만 도입하여 이에 대한 활용도가 매우 낮기 때문이며, 현재까지도 스마트공장 시스템 도입 확산을 위해 노력하고 있으나 도입이 되더라도 그 핵심 자원인 데이터는 제대로 활용되지 못하고 있다. 또한, 대부분의 중소기업에서는 데이터의 수집 및 관리방법이 체계적이지 않고, 수집이 되더라도 IT 활용 기술이 미흡하여 제대로 된 분석이 이루어지기 힘들다. 이로써 제품생산 과정에서 발생하는 각종 낭비요소를 추적분석하고 관리하는데 많은 어려움이 있으며 기업의 생산성과 품질을 향상시키는데 한계가 있다^{8,9)}.

제대로 된 스마트공장의 구축을 위해서는 단순히 시스템 도입 측면을 넘어서 효율적인 공장운영관리를 위한 방법이 매우 중요하다. 뿐만 아니라, IT솔루션의 활용도를 높이기 위해서 제조현장의 4M (man, machine, material, method) 변화에 유연하게 대응할 수 있는 시스템과 방법론에 대한 연구가 필요하고, 시시각각 변하는 제조기업의 특성을 고려하여 4M 관련 생산실적, 비가동, 불량 등 데이터를 집계하고 분석할 수 있어야 한다¹⁰⁾.

제조분야의 데이터 활용을 위한 기존에 진행된 대다수 연구로는 IT솔루션의 도입 및 빅데이터를 효과적으로 활용하기 위한 데이터 가시화(data visualization)에 관련된 연구가 진행되었으며, 빅데이터를 활용하여 수요 변화, 설비 결함 등 예측에 대한 연구가 진행되어왔다^{11,12)}. 하지만 제조업체의 효율적인 운영 및 생산성 향상과 IT솔루션의 적절한 활용을 위해서는 제조현장, 관리 프로세스, IT솔루션 등을 하나로 묶어 통합적으로 관리할 수 있는 시스템적 사고방식을 가진 방법론에 대한 연구가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 데이터 기반의 가치를 창출하고 효율

적인 공장운영관리를 수행하기 위해서 4M 제조 데이터 기반의 FOMs (smart-Factory Operation Managements) 패키지 방법론을 제안한다. FOMs 패키지 방법론은 크게 제조현장의 4M 데이터를 게더링하는 부분, 데이터를 분석하고 시뮬레이션 및 최적화를 진행하는 부분, 그리고 분석된 결과를 토대로 교육을 수행하는 부분으로 이루어져 있다. 이 중 데이터를 분석하는 부분은 제조현장의 정보화 분석을 수행하는 FOM 시스템 분석모듈과 자동화 분석을 수행하는 3D 시뮬레이션 기반의 가상물리시스템(cyber physical system, CPS) 분석모듈로 나누어져 있으며, 이를 필요에 따라 독립적으로 혹은 동시에 활용하여 분석을 수행한다. 또한 교육 모듈에서는 분석 및 최적화 결과를 기반으로 소프트웨어 중심의 디지털 융합교육인 문제중심학습 혹은 프로젝트중심학습(project/problem based learning, PBL)을 수행한다. 이로써 FOMs 패키지 분석방법론은 데이터 기반의 생산성 저해요인에 대한 관리지표 코드별 분석, 변화관리, 비교분석을 수행하고 여러 가지 가상 생산 시나리오에 대한 시뮬레이션 및 최적화를 수행하며 문제해결을 위한 의사결정에 도움을 주는 방법론이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 스마트제조혁신을 위한 FOMs 패키지 분석방법론에 대해서 기술하고, 제3, 4장에서는 FOMs 패키지의 일부인 FOM 로직과 FOM 솔루션을 실제 기업에 적용한 사례 적용 및 분석결과에 대해서 기술한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대하여 기술한다.

2. 스마트제조혁신을 위한 FOMs 패키지 분석방법론

제2장에서는 제조기업의 생산성 및 경쟁력 향상을 위한 제조현장 4M 데이터 기반의 FOMs 패키지 분석방법론에 대해서 기술한다. 제2.1절에서는 FOMs 패키지의 전체적인 모델에 대해서 설명하고, 제2.2절에서는 데이터 게더링을 위한 FOM 로직에 대해서 설명한다. 제2.3절에서는 FOM 프로세스와 FOM 솔루션으로 구성된 FOM 시스템에 대해서 설명한다.

2.1 FOMs 패키지

국내 구축된 스마트공장의 80%는 기초수준으로 대부분 기존 프로세스에 대한 제대로 된 분석이 되지 않은 채로 IT솔루션을 도입하여 활용도가 매우 미흡하고, 수집된 데이터에 대한 미흡한 분석으로 스마트화 기능을 제대로 발휘하지 못하고 있다. 또한, 현재 제조현장에서 활용되고 있는 대부분의 솔루션은 데이터 전산화를 통한 기업에서 나오는 데이터 관리에 초점이 맞추어져 있다. 이에 생산성 향상을 위한 제조 데이터 기반의 4M 분석과 공장운영관리 방법은 전무한 상태이다.

FOMs 패키지는 정보기술(IT)과 자동화기술(automation

technology, AT) 그리고 운영기술(operation technology, OT)이 융합된 융합기술(convergence technology, CT)이다. FOMs 패키지의 구조는 Fig. 1과 같으며 제조현장의 4M 데이터를 분석하기 위해 FOM 데이터셋으로 전처리하는 FOM 로직, 수집된 데이터 기반의 정보화 분석 및 컨설팅을 수행하며 FOM 솔루션과 FOM 프로세스로 구성된 FOM 시스템, 물류흐름 측면의 자동화 분석을 수행하는 CPS, 그리고 SW를 기반으로 하는 디지털 융합 교육인 PBL로 구성되어있다.

FOM 로직과 FOM 시스템에 대한 자세한 설명은 제 2.2, 2.3절에서 진행하며, 본 절에서는 CPS와 PBL에 대한 간단한 설명을 진행하고자 한다. 먼저 CPS 분석모듈 부분에서는 3D 시뮬레이터를 이용한 가상공장 구축 및 이에 대한 시뮬레이션을 진행함으로써 물류흐름 관점의 설비 레이아웃과 공정 프로세스를 분석하고 실현가능한 여러 생산 시나리오에 대하여 조건을 도출한다. 이로써 FOM 시스템 분석모듈 부분에서는 독립적으로 진행한 4M 데이터에 대한 관리/분석뿐만 아니라 CPS 분석모듈에서 분석된 결과 및 도출된 조건 등에 대하여 FOM 시스템과의 상호분석을 진행하고 생산 시나리오의 개선을 위한 최적 조건을 도출한다.

또한, FOM 시스템 분석모듈과 CPS 분석모듈을 통해 도출된 결과를 기반으로 디지털 융합 교육인 PBL을 진행한다. PBL을 진행하는 이유로는 단순히 분석을 수행한다고 해서 기업의 생산성이 올라가는 것이 아니며, 분석된 결과(digital)와 기업의 제조 프로세스에 대한 도메인 지식(analog)을 융합하여 기업이 지닌 문제해결을 위한 인사이트를 도출하고 이를 기반으로 기업맞춤형 교육을 수행하기 위함이다. 이로써 개선 및 고도화된 공장운영

관리 방법에 대한 고착화를 수행하고, FOMs 패키지의 폐루프(closed-loop) 피드백을 통해 지속적으로 기업의 생산성을 향상시킨다.

2.2 FOM 로직을 활용한 데이터 게더링

본 연구에서 제안한 FOMs 패키지 모델을 활용하기 위해서는 제조현장에서 수집되는 4M 관련 데이터가 필요하다. 특히 제안한 모델에서 정보화 분석을 수행하는 FOM 시스템의 경우, 생산프로세스의 변화관리와 생산성 분석을 수행하기 위해서 4M 관련 생산량, 비가동, 불량, 부적합 등의 데이터가 필요하다. 이로써 FOMs 패키지에서는 FOM 로직을 활용하여 이에 대한 데이터 게더링을 수행한다.

FOM 로직은 기존에 도입된 IT 솔루션이나 엑셀로 관리 중인 생산제조현장의 4M 데이터를 FOM 시스템에서 활용하기 위해 고안된 데이터 전처리 로직이다. 또한, FOM 시스템 관리코드에 따라 핵심성과지표(key performance indicator, KPI)가 표준화되어 관리될 수 있도록 하며, 제조업체에서 기존에 데이터를 축적하고 관리하는 방식에 따라 기업맞춤형으로 설계된다.

데이터 수집 및 전처리 후에는 FOM 시스템 사용을 위한 6가지 데이터셋으로 나누어지는데, 데이터셋 각각의 이름을 manual qpr, manual reject, manual abnormal, manual downtime, manual limit, manual cost로 명명한다. 데이터셋 각각의 항목에 포함되는 정보로는, manual qpr에는 생산량, 비가동, 불량, 부적합 관련 모든 4M 정보들이 포함되며, manual reject/abnormal/downtime에는 불량/부적합/비가동을 유발하는 요인 정보들이 포함된다. 또한

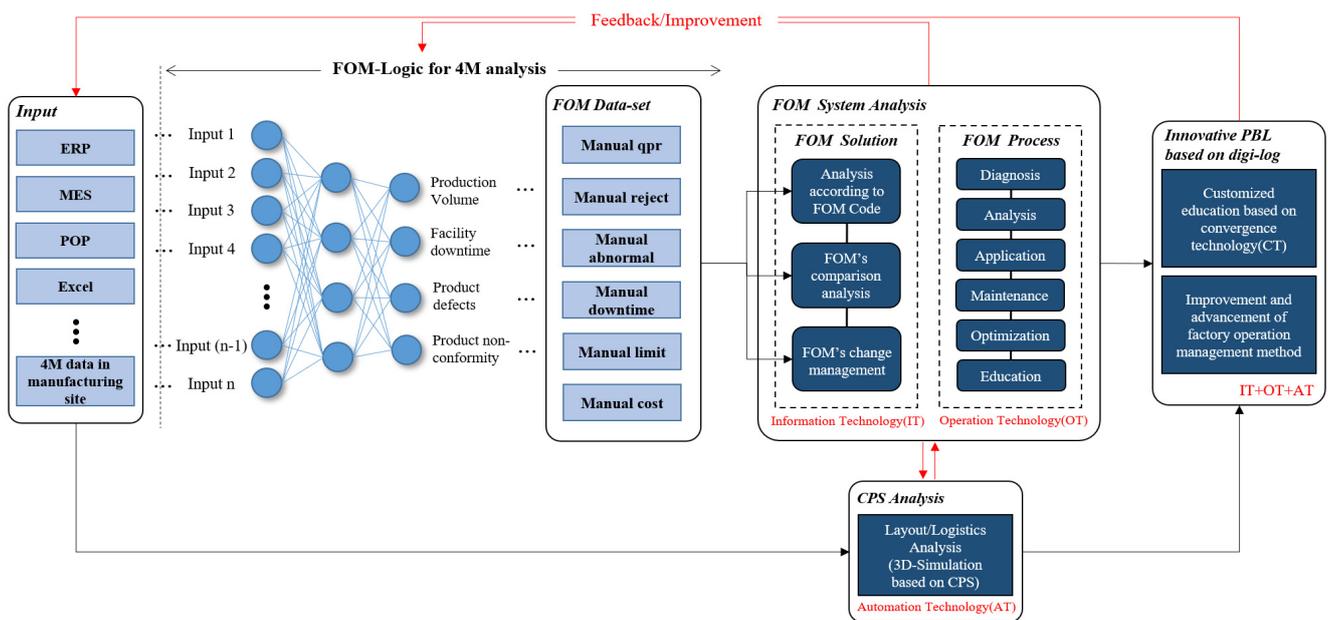


Fig. 1 FOMs package structure

Table 1 Data-set for using FOM system

Data-set	Components
Manual qpr	Every 4M information relating production, nonconformity and defect of product, facility downtime
Manual reject	Factors causing defect of product
Manual abnormal	Factors causing nonconforming product
Manual downtime	Factors causing facility downtime
Manual limit	Target values according to the management standard level
Manual cost	Unit price of product

manual limit에는 각 기업의 관리기준 레벨에 따라 달성율/비가동율/불량율/부적합율에 대한 설정 목표값 정보가 포함되며, 이는 생산현장에서 도출되는 다량의 데이터 중에서 중심적으로 관리가 필요한 항목을 FOM 솔루션 기능을 통해 도출하기 위해서 필요한 정보이다. 마지막으로 manual cost에는 제품의 생산 혹은 판매단가 정보가 포함된다. 데이터셋 각각의 명칭 및 해당 항목에 포함되는 정보를 정리하면 Table 1과 같다.

2.3 FOM 시스템

FOM 시스템은 아래 Fig. 2와 같이 4M 빅데이터 분석을 위한 FOM 솔루션과 컨설팅 및 교육을 위한 FOM 프로세스로 구성되어 있다. FOM 프로세스를 통해 기업의 KPI 관리와 FOM 솔루션 분석을 위한 지표 및 데이터셋 항목들을 세팅하고, FOM 솔루션을 통해 기업맞춤형 교육 및 컨설팅 진행을 위한 4M 데이터 분석을 수행한다. FOM 시스템은 이 두 가지 서브시스템들이 서로 상호교류하며 지속적으로 생산성 향상 관리를 수행할 수 있는 시스템이다. FOM 프로세스와 FOM 솔루션 각각에 대해서는 2.3.1절과 2.3.2절에서 설명한다.

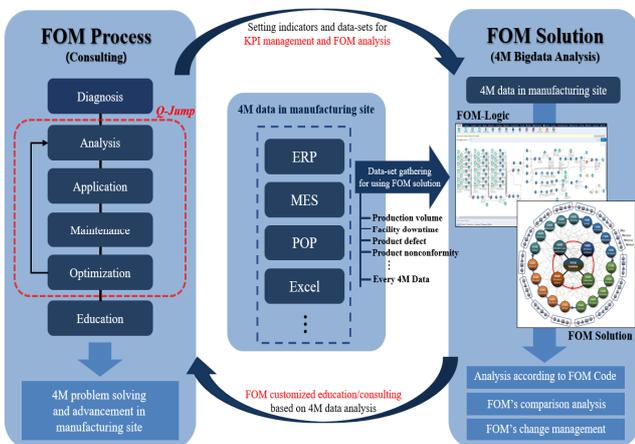


Fig. 2 FOM system structure

2.3.1 FOM 프로세스

FOM 프로세스는 제조회장의 4M 문제해결과 생산성 고도화를 위한 컨설팅 방법론으로써, 기업의 현황을 파악하고 문제점을 분석하여 해결방안의 도출 및 최적 관리를 수행할 수 있는 프로세스이다. FOM 프로세스는 진단-분석-적용-유지-최적화-교육 6단계로 구성되어 있으며, 단계별 수행을 통해 KPI 관리 및 FOM 솔루션 분석을 위한 지표와 데이터셋의 항목들을 설정한다. 또한, 분석-적용-유지-최적 단계를 지속적으로 수행하며 관리지표들을 개선해 나가며 기업의 생산성을 향상시킨다.

2.3.2 FOM 솔루션

FOM 솔루션은 제조회장에서 올라오는 4M 관련 빅데이터 분석에 활용되며 정보화 관점의 분석을 수행한다. FOM 솔루션의 활용 방법으로 FOM 코드별 분석, 변화관리, 비교분석 방법이 있다.

먼저 FOM 코드별 분석으로, 제조회장의 4M 데이터를 FOM 코드 관리번호에 따라 분석을 수행하기 위해서 생산량, 비가동, 불량, 부적합 총 4개의 관리지표에 대하여 관리번호를 부여하였다. FOM 코드 관리번호로는 #1000부터 #4500까지 있으며, 각각의 관리지표명, 관리번호, 세부 분석 항목은 Table 2와 같다.

이때 분석에 활용되는 FOM 솔루션의 가장 큰 특징은 아래의 Fig. 3와 같이 관리번호에 따른 모든 분석 컴포넌트들이 유기적으로 연결되어 제조업체의 불필요한 낭비요인과 생산성 저해요인에 대한 분석과 변화관리 및 추적관리가 용이하다는 것이다. 예를 들어, #1200에 따른 A제품의 생산량을 분석함에 있어서 단순히 제품의 생산실적만 분석하는 것이 아니라, #3000과 #4000에 따라 A제품 생산 시에 발생한 불량과 부적합에 대해서 분석을 수행하고 #2000에 따라 A제품 생산 시에 발생한 설비의 비가동에 대한 분석도 함께 수행한다. 이 외에도 필요에 따라 FOM 코드별 세부 추적분석과 저해요인 분석 등을 수행한다.

Table 2 FOM code management indicators list

FOM management indicators (code number)	
Product volume (1000)	Total (1100), Product (1200), Machine (1300), Worker (1400)
Downtime (2000)	Total (2100), Product (2200), Machine (2300), Worker (2400), Factor (2500)
Defect (3000)	Total (3100), Product (3200), Machine (3300), Worker (3400), Factor (3500)
Nonconformity (4000)	Total (4100), Product (4200), Machine (4300), Worker (4400), Factor (4500)

Detailed analysis contents

Yearly, Monthly, Weekly, Daily, Work (day/night, 8-hour, etc.) shift, 3-step setting scope (factory, production line, production detail line)

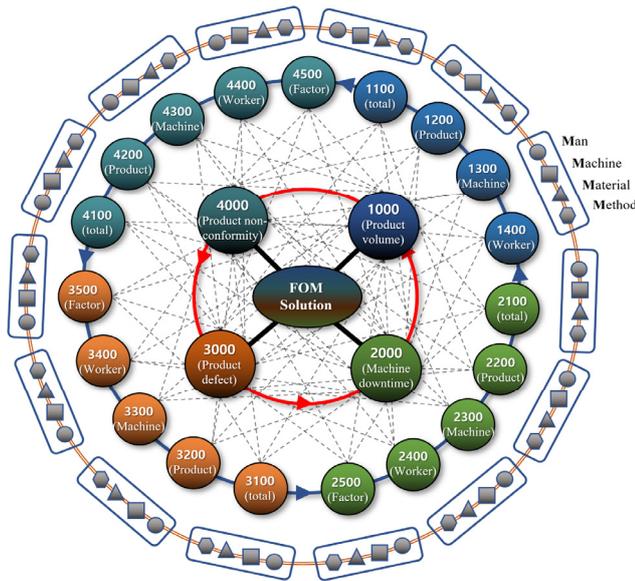


Fig. 3 FOM structure and analysis components

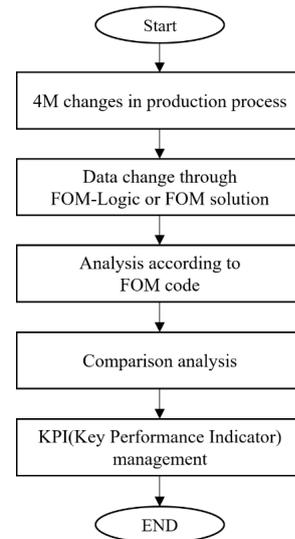


Fig. 5 Flow chart of FOM's change management

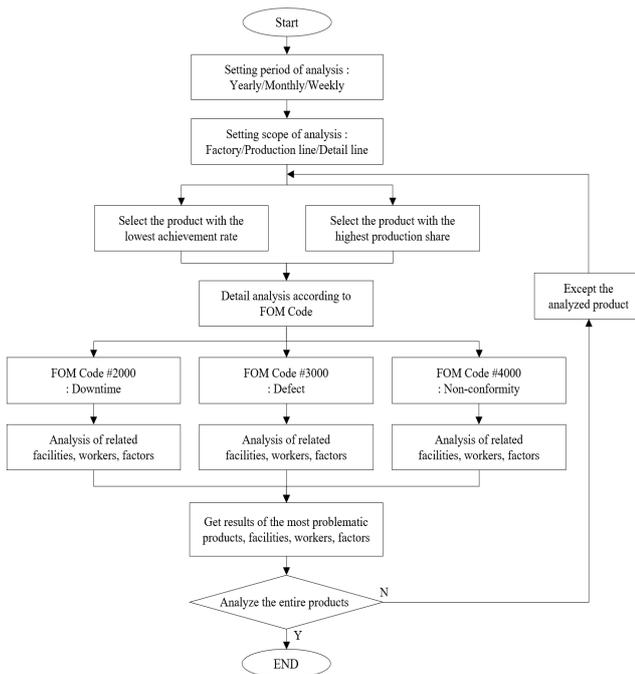


Fig. 4 Flow chart of general analysis procedure according to FOM code

FOM 솔루션을 활용한 FOM 코드별 분석의 일반적인 절차는 Fig. 4와 같다. 먼저, 분석을 위한 기간(연간/월간/주간)을 설정하고 분석범위(공장 단위/생산라인 단위/세부작업(공정) 단위)를 설정한다. 그 다음으로, 생산 달성율이 가장 낮은 제품과 생산제품 점유율이 가장 높은 제품을 선택하여 FOM 코드별 세부 분석을 수행한다. 생산달성률 및 생산제품점유율을 기준으로 제품을 선택하여 세부분석을 수행하는 이유로는 생산달성률이 낮은 제품의 경

우에는 해당 제품의 생산성 저해요인에 대한 4M 분석이 필요하며, 생산제품점유율이 높은 제품의 경우에는 점유율이 높을수록 해당 제품이 기업의 주력 생산 품목이므로 그것에 대한 우선적인 분석이 필요하기 때문이다. 그리고 선택된 두 제품에 대하여 FOM 코드 관리번호 #2000, #3000, #4000 기준에 따라 관련된 설비, 작업자, 요인들을 함께 분석한다. 마지막으로, 분석된 결과들을 종합하여 생산달성률 및 생산제품 점유율 각각을 기준으로 가장 문제가 되는 제품을 도출하며, 그 제품생산과 관련된 설비, 작업자, 비가동/불량/부적합 요인들에 대한 분석결과를 도출한다. 그 후 분석이 완료된 제품을 제외하고 모든 제품의 분석이 위와 동일하게 완료될 때까지 지속적으로 분석을 수행한다.

두 번째로 제조업체 특성상 영업과 수주환경에 따라 4M 관련 생산 프로세스의 변경이 수시로 발생하며, FOM 솔루션의 변화관리는 이에 대응하기 위한 관리 방법이다. 제조업체는 이러한 잦은 생산 프로세스 변경에 대응함으로써 생산성 저해요인과 낭비요인들을 최소화하는 것이 생산성 향상을 위해 무엇보다 중요하다. 따라서 변화관리에서는 4M 프로세스 변경 시 FOM 로직에 반영하거나 FOM 솔루션의 실적관리 기능을 통한 데이터 변경을 수행한다. 그리고 FOM 코드별 재분석과 생산프로세스 변경 전·후에 대한 비교분석을 진행함으로써 KPI 관리를 수행한다. FOM 솔루션의 변화관리에 대한 플로우 차트는 Fig. 5와 같다.

마지막으로 FOM 솔루션의 비교분석은 특정 기간에 대하여 생산 프로세스 변경 시 이에 따른 기업의 전반적인 지표 비교분석과 4M 관련 타겟을 지정하여 이에 대한 세부 비교분석을 수행할 수 있는 방법이다. 이를 위해서 FOM 코드에 따른 코드별 분석을 수행하고, 비교분석을 위한 카테고리를 설정하여 기간별 비교분석과 설정된 타겟별 비교분석을 수행한다. 또한, 시뮬레이션을 통한 개

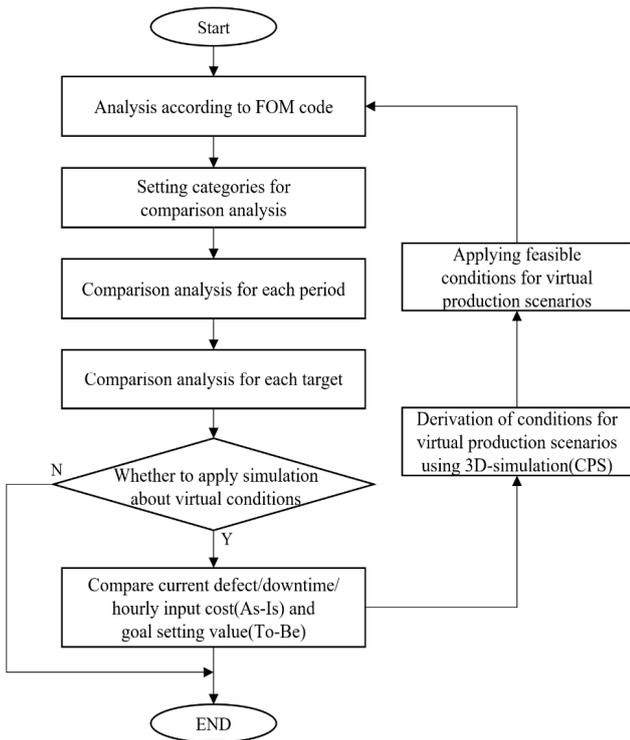


Fig. 6 Flow chart of FOM's comparison analysis

선 조건 도출 및 생산 프로세스의 개선을 위해서 CPS 분석모듈의 3D 시뮬레이션을 활용한다. 이에 대한 절차는 다음과 같다. 먼저 FOM 솔루션을 통해서 현재의 불량, 비가동, 시간당 투입금액에 대한 분석을 수행하고 기업의 목표설정값과 분석결과값을 비교한다. 다음으로, 3D 시뮬레이션으로 가상공장을 구축하고 여러 조건을 반영하여 가상 생산 시나리오를 도출한다. 마지막으로, 여러 조건 중 실현가능한 조건들을 FOM 솔루션에 적용하여 FOM 코드별 재분석을 수행하고, 조건 반영 전과 후에 대한 비교분석을 수행한 뒤 최적의 조건 및 최적 생산 시나리오를 도출한다. FOM 솔루션의 비교분석에 대한 플로우 차트는 Fig. 6와 같다.

3. 사례 적용

제3장에서는 FOMs 패키지의 일부인 FOM 로직과 FOM 솔루션을 실제 기업에 적용하고, 제조현장의 4M 데이터에 대하여 FOM 코드별로 분석한 내용을 다루고자 한다. 사례 적용을 위한 대상기업은 경기도 안산공단에 위치한 자동차부품 가공업체(D사)이다. 이 기업은 현재 제조현장의 MES/POP 데이터를 엑셀을 기반으로 관리하고 있으며, 기존의 데이터 관리 방식에 대한 예시로는 Fig. 7과 같다. 이와 같이 현장에서 발생하는 데이터를 추출 및 가공하여 엑셀 기반으로 관리를 수행하고 있지만, 이러한 방식으로는 제조업체 특성상 수시로 발생하는 4M 변화를 관리하기에

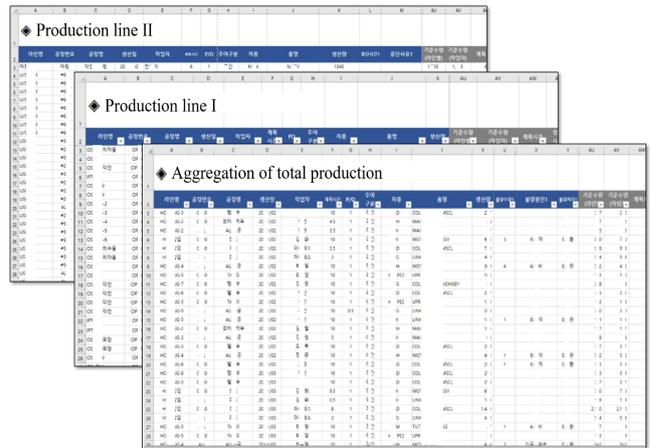


Fig. 7 Example of excel-based manufacturing data management

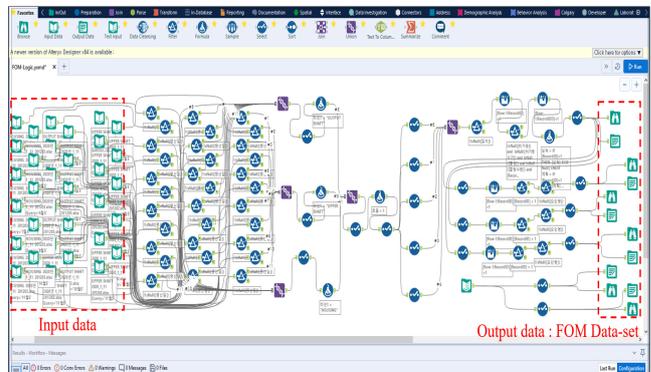


Fig. 8 FOM-logic for 4M analysis

Table 3 Data management status according to FOM code

FOM management code number	Status of data management
#1000, #1100, #1200, #1300, #1400	○
#2000, #2100, #2200, #2300, #2400, #2500	○
#3000, #3100, #3200, #3300, #3400, #3500	○
#4000, #4100, #4200, #4300, #4400, #4500	×

한계가 있으며, 생산성 향상을 위한 데이터 기반의 지표분석을 수행하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구를 통해 FOM 로직과 FOM 솔루션을 적용하여 지표분석을 수행하였다.

FOM 로직으로 4M 관련 제조 데이터를 게더링 하기 위해서 기업에서 관리 중인 데이터 관리현황을 분석하였으며, D사는 Table 3과 같이 부적합을 제외한 나머지 생산량, 비가동, 불량 관련 데이터를 관리하고 있었다. 이에 FOM 솔루션으로 코드별 유기적 분석을 수행하기 위해서 Fig. 8과 같이 Alteryx 툴을 활용하여 FOM

로직을 설계 및 구현하였고, 이를 통해 기업 데이터 전처리 후 FOM 데이터셋을 구성하였다.

4. 분석 결과

제4장에서는 사례 적용 기업에 대하여 FOM 솔루션을 활용하여 분석한 결과에 대해서 다루며, 다음은 2.3.2절에서 언급한 FOM 코드별 일반적인 분석 절차에 따라 분석을 수행한 결과이다.

첫 번째로, 본 논문에서는 분석 기간을 수집된 데이터 전체 기간으로 설정하였으며, 분석 범위를 특정 생산라인이 아닌 공장의 전체 생산라인에 대해서 분석하는 것으로 설정하였다. Fig. 9는 FOM 솔루션을 활용하여 2020년 1월부터 11월까지의 기간 동안 공장의 5개 라인에서 수집된 데이터에 대한 생산실적 그래프이다. 5개 라인 각각은 막대의 서로 다른 색깔로 표시되고 있으며, 막대 위 꺾은선 그래프의 경우 전체 라인에 대한 생산달성율을 의미한다. 수집된 데이터 전체 기간 동안의 생산실적 분석 결과 평균 생산달성율은 89.6%이며, 1월부터 7월까지의 평균보다 낮은 달성율을 보이고 있다. 본 연구에서는 전체기간 및 전체공장에 대하여 세부 분석을 수행했지만, 실제 기업에 FOM 솔루션을 적용한 생산성 분석 시 평균보다 낮은 달성율을 보이는 기간 및 특정 생산라인에 대하여 분석 순서를 설정하여 세부 분석을 수행할 수 있다.

두 번째로, 수집된 데이터 전체 기간 동안 생산된 제품에 대하여 가장 낮은 생산 달성율을 보이는 제품과 가장 높은 생산점유율을 보이는 제품을 선택하였다. 전체 34개 제품 중 가장 낮은 생산 달성율을 보인 제품으로는 달성율 80.4%인 MAIN H 제품이며, 생산 점유율이 가장 높은 제품은 점유율 19.1%인 OUTPUT S 제품이다. 이에 MAIN H 제품과 OUTPUT S 제품에 대하여 FOM 코드에 따른 세부분석을 수행하였다. Fig. 10은 생산달성율과 생산제품점유율에 따른 제품순위 그래프이다.

세 번째로, 생산달성율이 가장 낮은 MAIN H 제품에 대하여

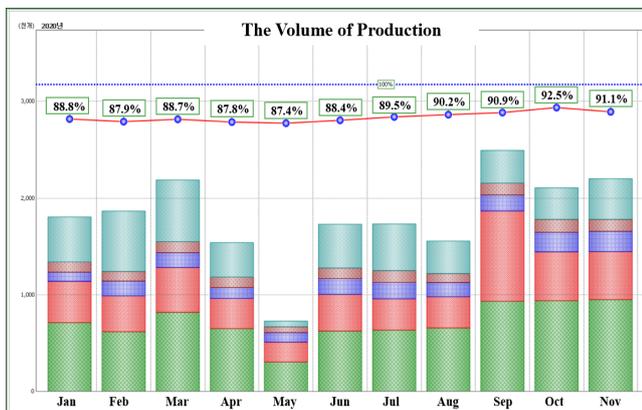


Fig. 9 Production performance graph of FOM solution

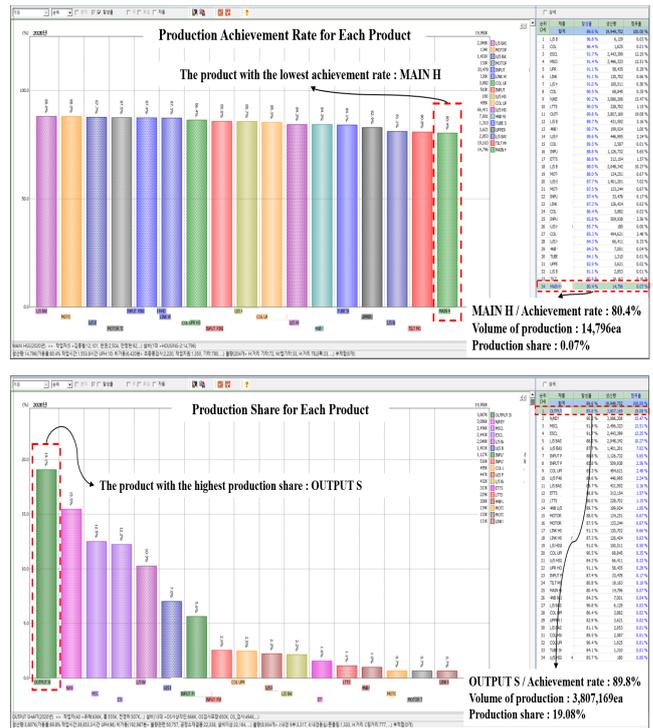


Fig. 10 Product graph according to achievement rate and production share

FOM 코드에 따라 비가동과 불량에 관련된 요인, 설비, 작업자들을 분석하였다. Fig. 11은 MAIN H 제품의 비가동 및 불량에 대한 요인 그래프로, 비가동의 경우 초중종검사 요인으로 인한 비가동이 2.38%로 가장 많이 발생하였고, 불량은 H:거리기타 요인으로 인한 불량률이 0.48%로 가장 많이 발생하였다.

MAIN H 제품의 생산과 관련된 설비, 작업자에 대한 분석 결과는 아래의 Fig. 12와 같다. MAIN H 제품의 경우 HOU 설비에서만 생산이 되고 있으며, 김종○ 작업자가 전체 MAIN H 제품생산의 가장 많은 비중인 81.8%를 차지하고 있다. 또한, 김종○ 작업자의 경우 MAIN H 제품 생산과정에서 총 9가지 요인에 대한 비가동과 총 12가지 요인에 대한 불량률이 발생하였다. 이 중 비가동의 경우 초중종검사 요인으로 인한 비가동이 37%로 가장 많은 비율을 차지하며, 불량률의 경우 H:거리기타 요인으로 인한 불량률이 40%로 가장 많은 비율을 차지하고 있다.

네 번째로, 생산제품점유율이 가장 높은 OUTPUT S 제품에 대하여 FOM 코드에 따라 비가동과 불량에 관련된 요인, 설비, 작업자들을 분석하였다. Fig. 13은 OUTPUT S 제품의 비가동 및 불량에 대한 요인 그래프로, 비가동의 경우 불량관련 비가동 발생이 2.12%로 가장 많이 발생하였고, 불량률의 경우 J:내경9부 요인으로 인한 불량 발생이 0.09%로 가장 많이 발생하였다.

OUTPUT S 제품의 생산과 관련된 설비, 작업자에 대한 분석 결과는 Figs. 14, 15와 같다. OUTPUT S 제품의 경우 13개의

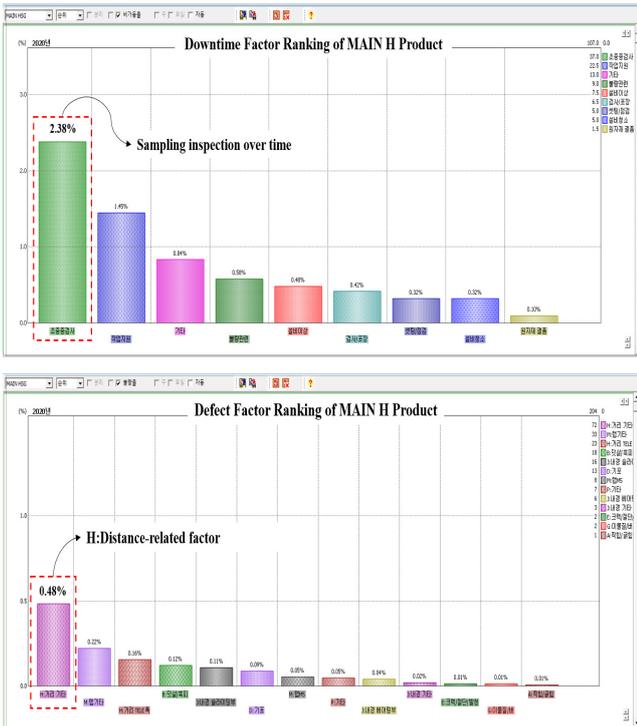


Fig. 11 Downtime and defect graph of product MAIN H

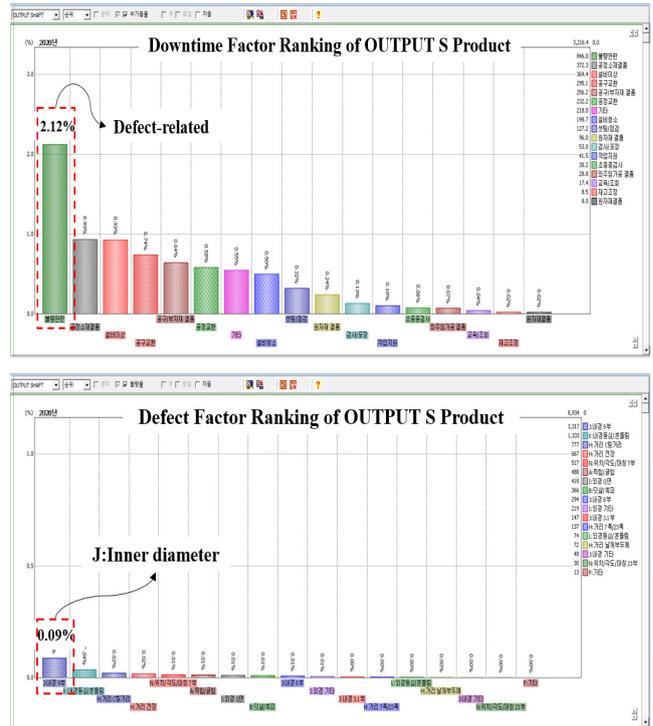


Fig. 13 Downtime and defect graph of product OUTPUT S

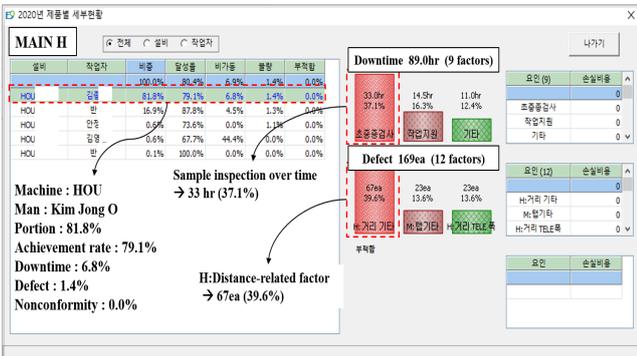


Fig. 12 Facility and worker analysis of product MAIN H

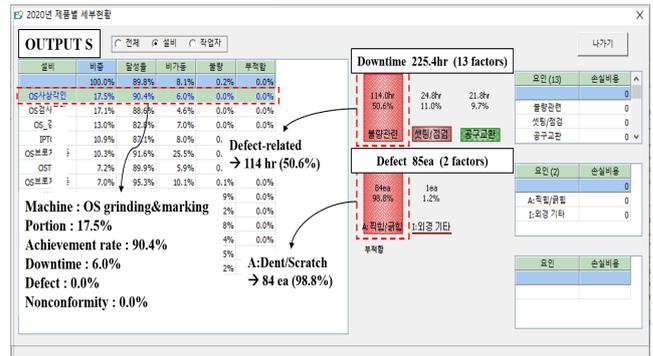


Fig. 14 Facility analysis of product OUTPUT S

설비와 40명의 작업자가 생산에 가담하고 있으며, OUTPUT S 제품 생산 시 설비의 경우에는 OS사상각인이 17.5%로 가장 높은 비중을 차지하며 작업자의 경우에는 유○ 작업자가 16.7%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 또한, 각각에 대하여 비가동 및 불량 발생요인에 대한 분석 결과 OS사상각인 설비에서는 총 13개 비가동 요인 중 불량관련 비가동이 50%로 가장 많이 발생하였고, 총 2개 불량 요인 중 A:찍힘/긁힘 요인으로 인한 불량이 98.8%로 가장 많이 발생하였다. 유○ 작업자는 OUTPUT S 제품 생산 시 총 8개 요인으로 인한 비가동을 발생시켰으며 공정소재결품으로 인한 비가동이 58.4%로 가장 많이 발생하였고, 총 5개 불량 요인 중 A:찍힘/긁힘 요인으로 인한 불량이 78.8%로 가장 많이 발생하였다.

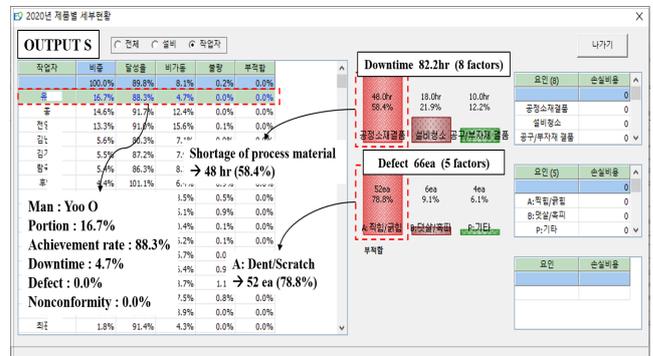


Fig. 15 Worker analysis of product OUTPUT S

지금까지 D사의 제조현장에서 관리 중인 엑셀 기반의 MES/POP 데이터를 FOMs 패키지의 일부인 FOM 로직 및 FOM 솔루션

선에 적용하여 4M 기반의 유기적인 분석을 수행하였다. 기업의 KPI 및 분석이 필요한 타겟에 대하여 더 세부적인 분석이 가능하지만, 본 연구에서는 2.3.2절에서 언급한 FOM 솔루션 관리코드의 일반적인 분석절차에 따른 분석만을 수행하여 결과를 도출하였다.

생산달성율 및 생산제품점유율 기준으로 가장 분석이 필요한 제품을 하나씩 선정하여 제품과 관련된 설비, 작업자, 비가동요인, 불량요인을 분석하였으며, 가장 개선이 필요한 제품/설비/작업자/요인에 대한 결과는 다음과 같다. 생산달성율 기준의 가장 개선이 필요한 제품은 생산달성율이 가장 낮은 MAIN H 제품으로 이와 관련하여 세부분석을 수행한 결과 ‘설비-작업자-비가동요인-불량요인’ 순서로 ‘HOU-김중○-초중중검사-H:거리기타’로 분석되었다. 또한 생산제품점유율 기준의 가장 개선이 필요한 제품은 점유율이 가장 높은 OUTPUT S 제품으로 이와 관련하여 세부분석을 수행한 결과는 ‘OS사상각인-유○-불량관련/공정소재결품-A:적힘/굽힘’으로 분석되었다.

D사의 경우 기존에 제조현장의 MES/POP 데이터를 엑셀 기반으로 관리하고 있으며, 제조업체 특성상 수시로 발생하는 4M 변화를 관리하기에 한계가 있고 생산성 향상을 위한 데이터 기반의 지표분석 수행 시 어려움이 있다. 이에 본 연구에서 제안한 FOMs 패키지 방법을 적용하였으며 이를 통해 제조현장 4M 데이터의 가시성 확보뿐만 아니라 FOM 코드별 유기적이고 다차원적인 분석을 수행하였고 그 결과를 도출하였다. 현재는 제품의 생산단가가 관리가 되어있지 않지만, 관리가 될 경우 모든 생산성 저해요인에 대하여 손실비용이 산출되므로 이를 기준으로 해결방안을 수립하고 스마트한 공장운영관리를 위한 의사결정을 수행할 수 있다.

5. 결론

4차 산업혁명으로 인한 제조업 변혁의 핵심은 데이터 기반의 가치를 창출하고 기업의 경쟁력을 높이는 것이다. 이를 위해 국내에서는 스마트공장 보급사업을 진행하며 제조업의 디지털 전환을 위해 많은 노력을 하고 있다. 하지만 IT기술을 도입하는 과정에서 여러 가지 문제점들이 발생하고 있으며, IT솔루션이나 엑셀을 활용하여 수집·관리하고 있는 데이터에 대하여 생산성 향상을 위한 다차원적인 분석보다 단편적인 분석과 데이터 관리에 초점이 맞추어져 있다. 이로써 제품 생산과정에서 발생하는 각종 낭비요소를 추적분석하고 관리하기에 많은 어려움이 있다. 뿐만 아니라, 제조기업 특성상 빈번하게 발생하는 영업과 수주환경 변화에 의한 4M 관련 생산 프로세스 변경에 대응하기 어렵다. 따라서 제대로 된 스마트공장의 구축 및 활용을 위해서는 시스템 도입 뿐만 아니라 효율적인 공장운영관리를 위한 방법이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 제조현장, 관리 프로세스, IT솔루션 등을

하나로 묶어 통합적으로 관리할 수 있는 시스템적 사고방식을 가진 방법론에 대한 연구를 진행하였다. 이로써 제조기업의 생산성 및 경쟁력 향상을 위한 제조현장 4M 데이터 기반의 FOMs 패키지 모델을 제안하였으며 본 연구는 이에 대한 가치를 보여주는 데 의미가 있다. FOMs 패키지 모델은 데이터 게더링을 위한 FOM 로직, 정보화 관점의 분석 및 컨설팅을 위한 FOM 시스템, 자동화 관점의 분석을 위한 CPS, 분석결과를 토대로 진행하는 SW기반의 디지털 융합교육인 PBL로 구성된다. 또한, 본 연구에서는 사례 분석을 위해 FOMs 패키지의 일부인 FOM 로직과 FOM 솔루션을 활용하였고, FOM 코드별 일반적인 분석 절차를 실제 기업에 적용하였다. 그 결과 기업에서 엑셀 기반으로 관리하던 데이터에 대해서 유기적이고 다차원적인 분석을 수행할 수 있었으며, 생산달성율 및 생산제품점유율 기준의 개선이 필요한 제품과 이와 관련된 설비, 작업자, 비가동 및 불량 요인을 도출할 수 있었다. 또한, 제품의 생산단가에 대한 관리가 제대로 이루어진다면 추가적으로 생산성 저해요인에 대한 손실비용 분석이 이루어지므로 문제해결을 위한 해결방안 마련 시 의사결정에 도움을 줄 것이다. 이로써, 본 연구에서 제안한 FOMs 패키지 방법론이 국내 제조기업체의 생산성 향상을 위해서 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

향후 연구로는 FOMs 패키지의 FOM 시스템과 CPS의 융합분석을 수행하기 위해 3D 시뮬레이션 기반의 CPS 분석모듈을 활용하여 여러 가지 실현가능한 가상 생산 시나리오와 이에 대한 조건을 도출하고, FOM 시스템에 이를 적용하여 생산 시나리오 최적화를 수행할 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

후 기

이 연구는 중소벤처기업부 ‘중소기업연구인력지원사업’의 재원으로 한국산학협력협회(AURI)의 지원을 받아 수행된 연구임(2021년 기업연계형연구개발인력양성사업, 과제번호 : S3039971).

References

- [1] Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A., 2018, Data-driven Smart Manufacturing, *J. Manuf. Syst.*, 48 157-169, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>.
- [2] Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N., 2016, Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing, *Procedia CIRP*, 55 290-295, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.038>.
- [3] Koren, Y., Gu, X., Guo, W., 2017, Reconfigurable Manufacturing Systems: Principles, Design, and Future Trends, *Front. Mech. Eng.*, 13:2 121-136, <https://doi.org/10.1007/s11465>

- 018-0483-0.
- [4] Liang, S., Rajora, M., Liu, X., Yue, C., Zou, P., Wang, L., 2018, Intelligent Manufacturing Systems: A Review, *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, 7:3 324-330, <https://doi.org/10.18178/ijmerr.7.3.324-330>.
- [5] Wang, B., Tao, F., Fang, X., Liu, C., Liu, Y., Freiheit, T., 2021, Smart Manufacturing and Intelligent Manufacturing: A Comparative Review, *Engineering*, 7:6 738-757, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.017>.
- [6] Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., Wuest, T., 2018, A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), *J. Manuf. Syst.*, 49 194-214, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>.
- [7] Lee, S. H., Roh, K. H., Kim, S. Y., Kim, J. H., 2020, Site Control of Smart Manufacturing, Mijeon Science Publishing Co., Republic of Korea.
- [8] Kim, S. Y., Kim, W. H., Jung, I. H., 2014, A Case Study on the Automobile Company's Productivity Improvements by Applying Digital Factory Technology, *Productive Review*, 28:3 35-52, <https://doi.org/10.15843/kpapr.28.3.201409.35>.
- [9] Kim, S. Y., 2015, Study of Digital Factory FOM Solution on Software-based : Applied Case to Heat-Treatment Company, *Proc. Korean Management Sci. Assoc. 2015 Spring Joint Conf.*, 2855.
- [10] Kim, S. Y., 2018, A Case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management (FOM) in the Fourth Industrial Revolution Era, *J. Korean Assoc. Comput. Acct.*, 16:1 43-62, <https://doi.org/10.32956/kaoca.2018.16.1.43>.
- [11] Groger, C., Niedermann, F., Mitschang, B., 2012, Data Mining-Driven Manufacturing Process Optimization, *Proc. World Cong. Eng. 2012 Vol III*, 4.
- [12] Noh, K. -S., Park, S., 2014, An Exploratory Study on Application Plan of Big Data to Manufacturing Execution System, *J. Digit. Converg.*, 12:1 305-311, <https://doi.org/10.14400/JDPM.2014.12.1.305>.



Jae Hyuk Kim

Senior researcher in research institute affiliated with Digital Factory Co., Ltd. His research interest is smart manufacturing and industrial AI.

E-mail: kiate93@naver.com



Su Young Kim

Professor in the Department of smart factory for materials-parts-equipment, Hoseo University. His research interest is smart factory and applications of FOMs (smart-Factory Operation Managements) system.

E-mail: df2030@hoseo.edu