https://doi.org/10.7735/ksmte.2024.33.1.58

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Special Issue : Digital Transformation – Smart Factory Operation Managements

Check for updates

제조현장 4M 데이터 다차원 분석을 위한 중소기업형 FOM-MES 연동 시스템 구축 및 사례 연구

손경섭[a], 장재훈[a], 김재하[a], 김수영[a,*]

A Case Study on the Establishment of SMEs FOM-MES Interworking System for Multidimensional Analysis of 4M Data in Manufacturing Sites

Kyung Sup Son[a], Jae Hoon Jang[a], Jae Ha Kim[a], Su Young Kim[a,*]

[a] *Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 22 January 2024
Revised 2 February 2024
Accepted 6 February 2024

Keywords:
FOM(smart-factory operation management)
MES(maufacturing execution system)
SME(small and medium enterprise)
4M(man, machime, material, method)

ABSTRACT

Most small- and medium-sized manufacturing companies have poor utilization of MES systems and manufacturing data owing to financial conditions and labor shortages. For corporate growth by improving the productivity and securing competitiveness of small- and medium-sized manufacturing companies, improving the use of 4M-based manufacturing data, analyzing data, managing the change, establishing decision-making, and applying FOM solutions to companies are essential. However, applying the FOM solution is difficult owing to the difficulty of securing MES system data and FOM solution analysis data file set. Through this study, the effect applied to actual companies was verified by establishing an FOM-MES linkage system and simplifying the process of producing FOM analysis data.

1. 서 론

스마트팩토리 보급확산을 통해 많은 중소 제조기업들은 ERP (enterprise resource planning), MES (manufacturing execution system), POP (point of production)와 같은 IT시스템을 구축하게 되었고, 자동화 설비와 로봇 도입 등을 통해 제조현장 자동화를 구축하였다.

지속적인 국·내외 경기침체와 중국, 동남아 국가의 저가 제품 공급 등 영향으로 제조 경쟁력을 확보가 어려운 실정에서 국·내외 경쟁력 확보와 기업의 성장을 위한 하나의 해결책이 스마트팩토리 구축이었다. 그러나 실제 여러 조사를 통해 나타난 결과를 보았을 때, 2022년말 기준 약 3만 여개의 기업이 스마트팩토리 구축을 완료하였으나, 수준평가 결과 75% 이상의 기업들이 여전히 기초 수준에서 고도화로 추진을 하지 못하고 있다. 이는 열악한 환경의 중소기업 대부분 자금문제와 인력 확보 문제로 인한 것으로, 고도화로의 수준향상은 현실적으로 불가능한 상황이다[1].

스마트팩토리를 구축, 운영함에 있어 IT 기술 들을 통해 많은 양의 제조데이터가 수집되고 있다. 하지만 축적된 제조데이터 기반 활용과 데이터 분석을 통한 문제 해결을 하는 기업은 드물다. 단순히 스마트팩토리를 통해 생산설비의 도입과 자동화를 통해서만 생산성 향상과 품질수준의 향상, 인건비 절감 등의 달성이 매우 중요하게 여겨지고 있다. 제조현장은 4M (man, machine, material, method)이라는 제조활동 투입요소로 구성이 되며, 4M은 대기업을 중심으로 변화관리를 매우 중요하게 관리하고 있다. 스마트팩

* Corresponding author. Tel.: +82-41-540-9960
E-mail address: df2030@hoseo.edu (Su Young Kim).

토리는 기존에 기업의 인력만으로 확보하기 어려운 4M 중심의 제조데이터 수집을 수작업에서 디지털로 수집을 가능하게 하였으며, 특히 설비로부터 다양한 데이터를 수집할 수 있게 해 주었다.

4M 중심 변화관리를 위해서 제조데이터 기반의 분석과 활용은 매우 중요하지만 실제 중소 제조기업은 자체 역량만으로 수집된 제조데이터를 분석하고, 활용하기에 전문인력 확보, 업무부하 문제 등으로 인해 매우 어려운 여건이다[2].

본 연구는 기업의 4M 변화관리와 기업의 생산성 향상 및 데이터 기반 의사결정을 위한 제조데이터 다차원 분석을 제공하는 FOM (smart-factor operation management) 솔루션과 실제 중소기업에 구축된 다양한 IT 시스템 중 MES 시스템과의 연동 시스템을 구축함으로써 전문 인력의 필요 없이 손쉽게 제조데이터를 수집, 가공하여 4M 기반 제조데이터 다차원 분석을 수행할 수 있도록 하며, MES 시스템 데이터베이스와 연동을 통해 FOM 솔루션 적용에 필요한 제조데이터의 수집과 가공 역시 손쉽게 제작할 수 있는 방법에 대해 연구하였고, 기업 사례를 통해 그 효과를 검증하였으며, 연구 단계는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 FOM 솔루션에 대한 선행연구를 통해 MES 시스템과의 연동을 위한 FOM 솔루션 분석 구조와 필요한 데이터에 대해 알아보고, 이를 바탕으로 FOM-MES 연동 시스템 구축 방법에 대해 설명하고, 실제 기업을 대상으로 FOM-MES 연동 시스템 구축 사례의 실증 결과 요약과 마지막으로 중소 제조기업의 생산성 향상과 경쟁력 우위 확보를 위한 FOM-MES 연동 시스템 구축 필요성을 기술하고 있다.

2. FOM 솔루션에 대한 선행연구

2.1 FOM 솔루션

FOM 솔루션은 기업의 4M 기반 제조데이터를 제공 받아 6개의 Data file-set을 적용하여 각각의 데이터의 유기적 연결·통합과 이를 통해 다차원 분석 기능을 제공해 주는 소프트웨어 기반 솔루션이다[3]. Table 1과 같이 FOM code는 생산성(product volume), 비가동(downtime), 부적합(nonconformity), 불량(defect)의 4가지로 분류되고, 분류별 각각 세부 코드 및 관리지표(management indicator)로 구성이 된다.

Table 1 FOM code management 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)

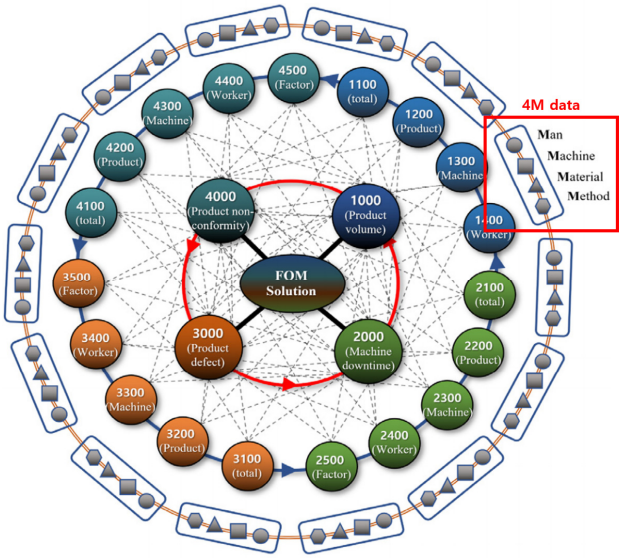


Fig. 1 FOM structure and analysis components

그리고 FOM 솔루션은 Fig. 1과 같이 FOM code 관리지표별로 각각의 관리지표와 4M 데이터와 유기적으로 연결하고, 분석하는 기능을 제공해 준다.

또한 FOM 솔루션은 특허 기반의 알고리즘을 통해 FOM code 별 19개의 설정된 관리지표별 데이터로 가공하고, 일반 관리, 비교 분석, 상급 관리 분석의 세 가지 형태로 분석 결과를 데이터와 시각화로 제공한다[4].

2.2 FOM Data-file set

FOM code 관리지표별 분석을 수행하기 위해서는 분석 대상 데이터가 필요하고, Table 2와 같이 총 6개의 Data-file set이 필요하

Table 2 FOM Data-file set list

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

Fig. 2 Manual qpr file information

Fig. 3 Manual downtime / reject / abnormal information

Fig. 4 Manual cost information

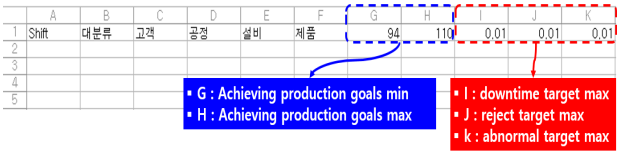


Fig. 5 Manual limit information

며 CSV(comma-separated values) 형태로 제공한다[5].

1) Manual qpr

Fig. 2와 같이 총 19개의 컬럼으로 구성 되어 있으며, 생산일자, 생산제품, 목표수량, 생산수량 외 4M 정보를 포함하고 있으며, 필수 입력 항목과 선택 입력 항목으로 구분이 된다.

2) Manual downtime / reject / abnormal

Fig. 3과 같이 각각 비가동, 불량, 부적합을 유발하는 요인 정보들을 포함하고 있다.

3) Manual cost

Fig. 4와 같이 제품별 생산 또는 판매단가 정보를 포함하고 있으며, 대분류, 중분류, 소분류에 따라 단가를 반영하여 생산금액, 손실비용 분석 결과를 확인할 수 있다.

4) Manual limit

Fig. 5와 같이 목표 대비 달성율, 비가동율, 불량률, 부적합율 등에 대한 목표 값 정보를 포함하고 있으며, 목표 값의 Min-Max 범위를 이탈하는 경우 경고 알람 팝업 창을 통해서 이상 데이터를 제공해 준다.

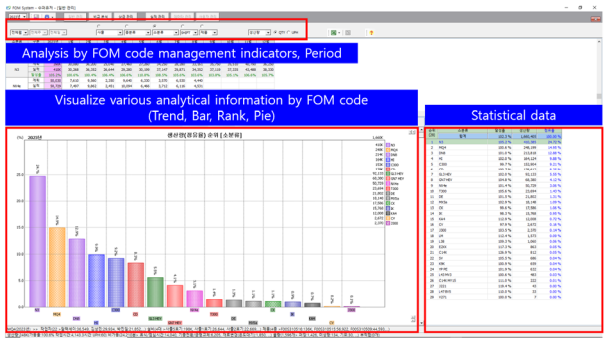


Fig. 6 FOM general analysis

Fig. 7 FOM As-Is, To-Be comparative analysis

2.3 FOM 솔루션 분석

FOM 솔루션은 위에서 언급한 바와 같이 세 가지의 분석 메뉴를 제공하며, 각각의 기능은 아래와 같다.

1) 일반 관리 분석

일반 관리 분석은 Fig. 6과 같이 FOM code별, 요인별 분석을 수행한다. Code #1000의 생산량 점유율과 달성율 분석과 4M 다차원분석, Code #2000의 비가동 점유율 분석과 4M 다차원분석, Code #3000, #4000의 각각 불량과 부적합 점유율과 4M 다차원 분석을 수행하며, 트렌드, 파이 등의 분석정보를 통계 및 시각화로 제공해 준다.

2) 비교 분석

비교 분석은 As-Is 기간과 To-Be 기간의 설정을 통해 Fig. 7과 같이 비교기간 내에서 FOM code별로 생산목표 달성율, 비가동, 불량, 부적합 증감 비교와 함께 As-Is, To-Be 기간 차이 내용을 요약 리포트로 제공해 준다.

3) 상급 관리 분석

상급 관리 분석 메뉴는 기업의 KPI 목표 달성율을 시각화 제공한다. FOM 솔루션은 기업의 성장률 분석을 위해 Table 3과 같이 G factor(growth factor of manufacturing company)를 사용하며, 세 가지 factor별 점유율 정보 및 다차원 분석을 제공한다. G_factor 1은 제품 생산량 데이터(product volume data), G_factor 2는 생산성 저해요인 데이터(dowtime, defect, nonconformity data),

Table 3 FOM Solution G factor analysis

G factor description	
G_factor 1	Production volume data
G_factor 2	Downtime, Defect, Nonconformity data
G_factor 3	Unidentified data

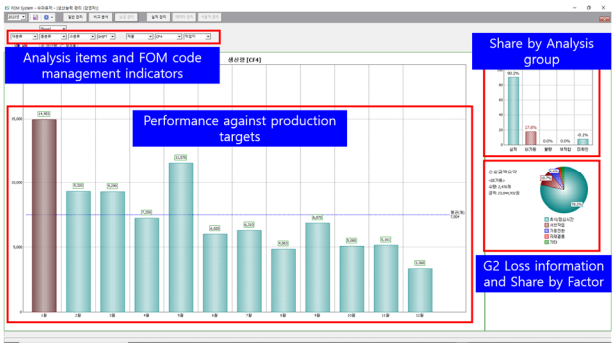


Fig. 8 FOM production capacity analysis

G_factor 3은 미확인(unidentified) 데이터를 의미한다.

G factor는 제조업의 성장을 의미하며 Total growth 라고 한다. G factor 고려할 사항은 ① G_factor 1과 G_factor 2의 값은 0보다 커야 하며(G_factor1 > 0, G_factor 2 > 0), ② Total growth = max(G_factor 1 - G_factor 2 - G_factor 3) 이다[6].

상급 관리 분석은 Fig. 8과 같이 FOM code별 생산실적과 목표 달성율을 제공해 주며, G factor별 점유율과 G factor 2에 대한 손실요약 정보를 제공해준다.

3. FOM-MES 연동 시스템 구축

본 연구는 FOM 솔루션 선행연구를 바탕으로 MES 시스템의 데이터베이스를 연동하고, MES 시스템의 제조데이터를 수집, 가공하여 FOM Data-file set을 제작하고 FOM 솔루션 적용을 제공해 주는 FOM-MES 연동 시스템을 구축하여 기존의 수작업 방식과의 FOM 솔루션 적용의 효과를 검증하고, 실제 기업에 적용하여 FOM 솔루션 분석을 수행하였다.

3.1 FOM-MES 연동 시스템 구성

MES 시스템은 데이터의 수집, 저장을 위한 데이터베이스를 운영한다. MES 데이터베이스 연동을 통해 FOM 솔루션 분석까지 가능한 FOM-MES 연동 시스템을 Fig. 9와 같이 구성하였고, 이를 통해 기존 수작업 방식 대비 아주 쉬운 방법으로 FOM Data-file set을 제작하여 FOM 솔루션을 통해 4M 기반의 생산성, 비가동, 불량, 부적합 등 다차원분석을 다양하고 쉽게 수행이 가능하다[6].

FOM 솔루션의 특성 상 기업에 구축된 MES 시스템과 직접적 연동이 불가하다. FOM 솔루션은 아직 외부 인터페이스를 제공

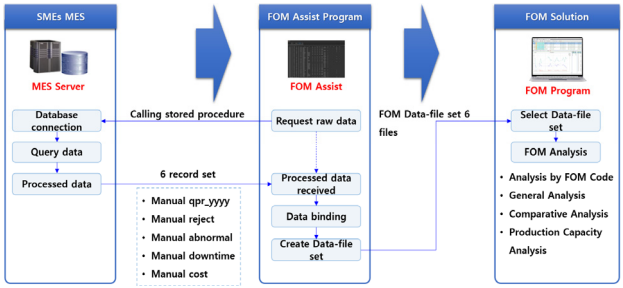


Fig. 9 FOM-MES interlocking system

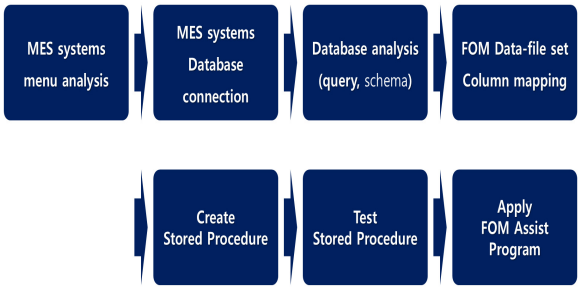


Fig. 10 FOM-MES interlocking system

하지 않기 때문이다. 따라서 기업 MES 시스템 데이터베이스 연동과 데이터 처리, Data-file set 생성 등의 기능을 제공할 수 있는 FOM-Assist라는 중계 프로그램을 사용하게 된다. FOM-Assist 프로그램은 ①기업 MES 시스템 접속과 데이터 요청 ②Raw data 수집과 데이터 가공 ③가공 결과 값 수신, ④FOM 분석 Data-file set 생성의 기능을 제공하며, FOM 솔루션 데이터 분석을 수행할 수 있게 해준다.

3.2 MES 시스템 데이터 게더링 방법

MES 시스템의 데이터 게더링은 Fig. 10과 같은 절차대로 진행을 하였다. ①MES 시스템 메뉴를 분석하고, ②데이터베이스 정보 확인 및 접속 테스트 진행, ③데이터베이스 메뉴별 쿼리, 테이블 등의 스키마 분석 수행, ④FOM Data-file set 컬럼과 MES 시스템 컬럼과 매핑, ⑤Raw data를 가공할 저장 프로시저(stored procedure, SP)를 생성과 ⑥저장 프로시저 테스트로 안정화 후 ⑦FOM-Assist 프로그램에 데이터베이스 접속, 저장 프로시저 호출을 통한 Raw data 가공 결과 값 수신 등의 기능을 적용한다.

3.3 FOM Data-file set 구축 방법

데이터 게더링 방법 구현에 있어 핵심은 빠른 시간에 정확한 Data-file set을 제작이다. MES 시스템의 데이터베이스에서 Data-file set에서 필요로 하는 정보를 추출하고, Raw data 수집과 가공을 통해 결과 값을 Data-file set에 연결할 수 있어야 한다. Table 4는 Data-file set 중 Manual qpr 파일에 필요한 컬럼과

Table 4 FOM manual qpr column list

Column name	Data type	Description
Work date	Short date	yyyy-MM-dd
Shift	Text	Day / Night
Major classification	Text	
Medium classification	Text	
Minor classification	Text	
Facility	Text	
Product	Text	
Worker	Text	
Performance quantity	Number	Number
Plan quantity	Number	Number
Work time	Number	Hour, Minute
Efficiency	Number	0 ~ 1
Cycle time	Number	Second
Downtime factor name	Text	
Downtime	Number	Hour, Minute
Defect factor name	Text	
Defect quantity	Number	
Nonconformity factor name	Text	
Nonconformity quantity	Number	

데이터 타입을 작성한 것이다. 이 표준 컬럼정보에 맞게 MES 시스템의 Raw data는 수집, 가공되어 각각의 파일이 생성될 수 있어야 한다. Manual downtime, Manual reject, Manual abnormal 파일은 Manual qpr 파일의 비가동, 불량, 부적합 컬럼에 제공되어야 하는 데이터로 생성이 가능하며, Manual limit 파일은 가동율, 비가동, 불량, 부적합에 대한 목표 값을 관리하는 파일이므로 일반적으로 별도로 생성 하지는 않는다.

3.4 FOM-MES 연동 시스템 구축

앞에서 언급한 바와 같이 FOM 솔루션과 MES 시스템은 직접 연동은 불가하여 FOM-Assist라는 중계 프로그램을 사용하여

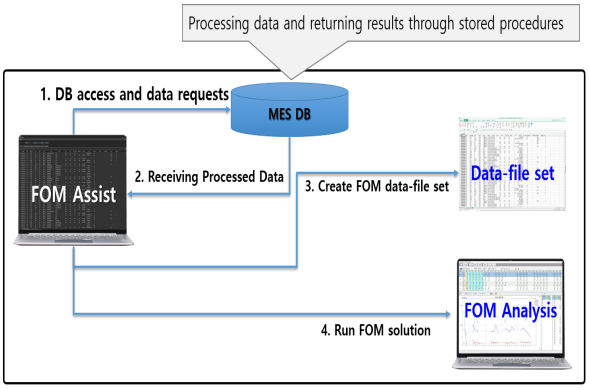


Fig. 11 FOM-MES interlocking through the assist program

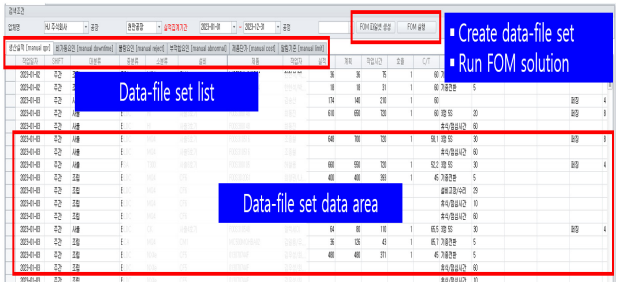


Fig. 12 FOM assist program and features

FOM-MES 연계 시스템 구축이 가능하다.

이 과정에서 FOM-Assist 프로그램은 Fig. 11과 같이 MES 데이터베이스와 FOM 솔루션 사이에서 1~4단계의 과정을 통해 연계 시스템을 운영을 가능하게 한다.

FOM-Assist 프로그램은 Fig. 12와 같은 하나의 단위 프로그램이다. 데이터 입력 조건에 따라서 단 5초 내에 요청한 기간의 MES 시스템의 데이터를 FOM Data-file set 형태로 가공한 결과 값을 화면에 보여주며, 화면에 조회 된 데이터를 Data-file set CSV파일 형태로 생성해주며, FOM 솔루션을 실행까지 할 수 있다.

FOM-Assist 프로그램은 MES 시스템에 접속하거나 별도의 자료 추출 없이 대량의 제조데이터를 FOM 분석용 Data-file set으로 제작해주고, FOM 솔루션 실행까지 불과 5분 이내로 손쉽고 빠르게 수행이 가능하다. 또한 다양한 데이터 생성 조건의 변경 후에도 짧은 시간에 처리가 가능하다.

이는 기존 수작업 방식에 대비하여 FOM-MES 연동 시스템은 기존의 MES 시스템의 업그레이드, 전문인력의 투입 등이 없이 손쉽게 FOM 분석용 Data-file set을 제작하여 FOM 솔루션의 FOM code 기반 다차원 분석과 의사결정이 가능해졌다.

4. FOM-MES 연동 시스템 구축 사례

기존 수작업과 비교하여 FOM-MES 연동 시스템을 통해 Data-file set 제작과 FOM 솔루션 적용 과정이 실제 개선되었는지 효과를 검증하기 위해 현재 MES 시스템을 운영 중인 기업을 대상으로 FOM-MES 연동 시스템을 구축하였다.

실증에 참여한 기업은 자동차 사출부품 제조기업 H사이며 현재 천안공장과 평택공장 2개 공장에서 동일한 MES 시스템을 운영 중이며, 본 연구에서는 천안공장을 대상으로 하였다.

기존 수작업 방식과 FOM-Assist 프로그램을 통해 H사에서 운영 중인 MES 시스템 연동의 FOM-MES 연동 시스템 두 가지 형태로 각각 진행을 하였다.

개선 효과의 정량적 검증을 위해 Table 5와 같이 6가지 평가항목에 대해 분 단위로 시간 측정 후 비교검증 하였다. FOM-MES

Table 5 FOM-MES interworking system verification item

No	Item	Before	After
1	Database analysis		V
2	Create a stored procedure		V
3	Test a stored procedure		V
4	Apply to FOM-Assist		V
5	Collection of manufacturing data	V	V
6	Create FOM data-file set (1 month)	V	V

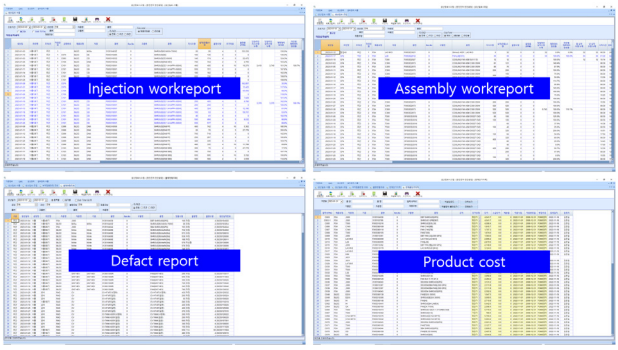


Fig. 13 Collect MES system manufacturing data

연동 시스템 구축 전(before)과 후(after)로 구분하여 진행 과정에 해당이 있을 경우에만 체크를 하였다.

4.1 수작업 MES 시스템 데이터 FOM Data-file set 제작

먼저 기존 수작업 방식은 MES 시스템 메뉴로부터 엑셀파을을 다운로드 하여 편집과 가공과정을 거쳐 Data-file set을 제작하였다.

1) 엑셀파일 다운로드

Fig. 13과 같이 MES 시스템에서 2023년도 1월 사출공정 작업일보, 조립공정 작업일보, 불량현황, 제품(반제품)단가데이터를 조회하고, 엑셀파일로 다운로드 하였다.

2) FOM Data-file set 제작을 위한 엑셀파일 편집

다운로드 한 엑셀파일은 FOM Data-file set 제작을 위해 아래와 같은 편집 작업을 수행하였다.

① Fig. 14와 같이 각 엑셀파일의 미사용 컬럼을 제거하였다.

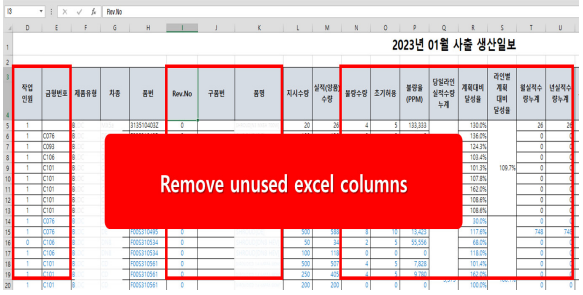


Fig. 14 Edit excel file - remove unused columns

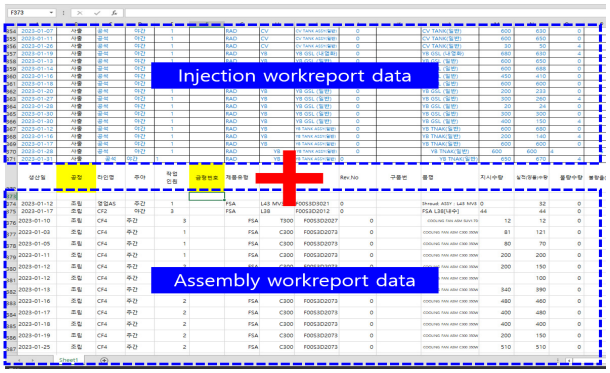


Fig. 15 Edit excel file – combining data

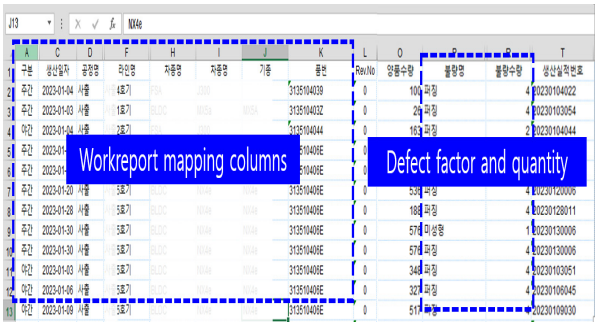


Fig. 16 Edit excel file – defect data mapping

② Fig. 15와 같이 사출 작업일보와 조립 작업일보의 데이터를 하나의 엑셀파일에 취합하였고, 컬럼별로 각 항목이 일치하도록 조립 작업일보에 빈 컬럼을 추가하였다.

③ Fig. 16과 같이 작업일보 실적데이터와 불량 데이터를 작업일자, SHIFT, 생산제품 기준으로 연결 작업을 하였다.

④ 제품, 반제품 단가정보는 불필요 항목 제거와 함께 대분류, 중분류, 소분류, 제품, 단가 순으로 작성하였다.

3) FOM Data-file set 제작

각 취합된 생산일보 데이터와 불량 데이터, 단가 데이터를 기준으로 다음과 같이 4가지 Data-file set을 제작하였다. 부적합 데이터는 관리하지 않아 본 연구에서는 제외하였고, 이상 알림(manual limit)도 기본 제공되는 파일로 적용하기 위해서 제외하였다.

① manual qpr_2023.csv

manual qpr_2023.csv 파일은 하나의 생산실적 데이터와 비가동, 불량, 부적합 데이터를 각 요인 데이터를 세로형태 작성하였다. 하나의 생산실적 데이터에 Fig. 17과 같이 하나 이상의 비가동, 불량, 부적합 데이터가 있을 경우 행 삽입을 하고 반복 작성 부분은 동일하게 입력하고, 첫 행에만 작성하는 부분은 추가한 행을 비워두었다. 그리고 비가동요인과 시간, 불량요인과 수량, 부적합요인과 수량을 입력해 주었다.

Data-file set 제작 시 가장 시간 소요가 많이 되는 파일이 바로 manual qpr 파일이다. 2개 이상의 비가동, 불량, 부적합요인 발생

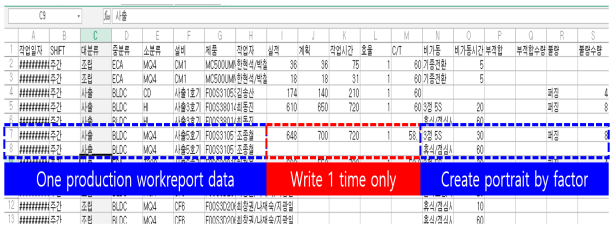


Fig. 17 How to create a manual qpr_yyyy.csv file

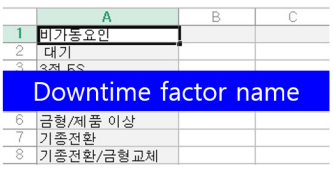


Fig. 18 Manual downtime.csv file

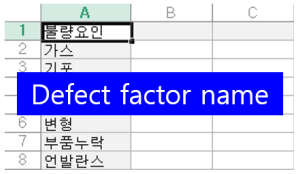


Fig. 19 Manual reject.csv file

시 발생 수만큼 행을 추가해 주고, 필요한 부분에만 데이터를 입력, 작성하는 규칙이 있어서 수작업 시 오류가 많이 발생하며, 심각한 경우 파일을 처음부터 다시 작성해야 하는 경우도 종종 발생한다. 이로 인하여 바쁜 업무에 수작업으로 Data-file set을 제작하기란 매우 부담스러운 작업이 아닐 수 없다.

② manual downtime.csv

manual downtime.csv 파일은 Fig. 18과 같이 비가동요인의 명칭을 리스트로 작성한다.

③ manual reject.csv

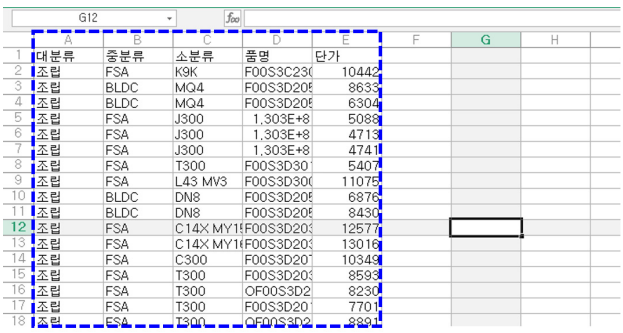
manual reject.csv 파일은 Fig. 19와 같이 불량요인의 명칭을 리스트로 작성한다.

④ manual cost.csv

manual cost.csv 파일은 Fig. 20과 같이 대분류, 중분류, 소분류, 품명(제품)별 단가를 리스트로 제작한다.

4.2 MES-FOM 연동 시스템 구축 FOM Data-file set 제작

두 번째 방법으로는 Fig. 21과 같은 단계로 FOM-Assist 프로그램을 적용하여 MES-FOM 연동 시스템을 구축하여 Data-file set



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	대분류	중분류	소분류	품명	단가			
2	조립	FSA	K9K	F00S3C23(	10442			
3	조립	BLDC	MQ4	F00S3D205	8633			
4	조립	BLDC	MQ4	F00S3D205	6304			
5	조립	FSA	J300	1.303E+8	5088			
6	조립	FSA	J300	1.303E+8	4713			
7	조립	FSA	J300	1.303E+8	4741			
8	조립	FSA	T300	F00S3D30	5407			
9	조립	FSA	L43 MV3	F00S3D30(	11075			
10	조립	BLDC	DN8	F00S3D205	6876			
11	조립	BLDC	DN8	F00S3D205	8430			
12	조립	FSA	C14X MY1	F00S3D203	12577			
13	조립	FSA	C14X MY1	F00S3D203	13016			
14	조립	FSA	C300	F00S3D207	10349			
15	조립	FSA	T300	F00S3D203	8593			
16	조립	FSA	T300	OF00S3D2	8230			
17	조립	FSA	T300	F00S3D20	7701			
18	조립	FSA	T300	OF00S3D2	8891			

Fig. 20 manual cost.csv file

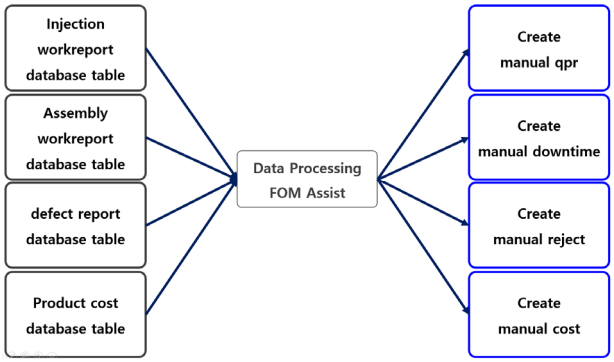


Fig. 21 Data-file set creation through FOM-MES interworking system

Table 6 Database connection information

No	Item	Information
1	IP address	61.32.xxx.xxx
2	DB name	MES_******1
3	User ID	h******
4	Password	H********
5	SQL port	6****

을 제작하여 FOM 솔루션을 적용하였다.

1) MES 데이터베이스 연동

데이터베이스 연동은 먼저 Table 6과 같이 H사 데이터베이스인 MSSQL(Microsoft SQL) 서버의 접속 정보를 관계자로부터 받아 접속 테스트를 하였으며, 이상 없음을 확인하였다.

2) MES 데이터베이스 분석

MES 시스템 메뉴에서 사용 된 테이블 정보와 각 테이블별 사용할 컬럼을 Table 7과 같이 추출하였다.

3) 저장 프로시저 작성 및 테스트

FOM-MES 연동 시스템에서 가장 중요한 부분은 바로 추출된 테이블과 컬럼 정보로 Raw data를 수집, 가공하여 6개의 Data-file set 형태로 제작해 내는 것이다. 앞에서 수작업에 의해 manual qpr_2023.csv 파일 제작 시 비가동, 불량, 부적합 내용 편집 과정의 오류와 재작업 등의 어려움이 컸으며, 작성 내용의 정확성, 유효성 등의 검증도 거의 불가능하다.

FOM-MES 연동 시스템에서는 한 번 제작으로 재사용이 가능한 MSSQL 저장 프로시저 제작하여 적용함으로써 MES 시스템 Raw data의 수집과 가공을 통해 Data-file set을 손쉽게 만들어 낼 수 있다.

저장 프로시저는 Fig. 22와 같은 구조로 실행이 되며, 데이터베이스에 연결 후 변수에 할당 된 값을 이용하여 Raw data를 수집하여 가공한 뒤 사용자에게 결과 값을 반환한다.

여기서는 FOM Data-file set 제작에 필요한 각 결과 값을 제공하며, 제작 과정에서 코드작성 문법 상의 문제와 결과 값의 이상

Table 7 Database table column list

Table name	List of colums to use
P_SANGSAN_MASTER	OP_SEQ, OP_SEQ_SUB, QTY, BAD_QTY, JISIQTY, PRODUCT_UPH, EMPLOYEE_NO, PRODUCT_CODE, SDATE, STIME, EDATE, ETIME, PRODUCT_TYPE_CODE, CAR_CODE, EQUIPMENT_CODE, EMPLOYEE_NO
B_JAKUPJISI_MASTER	JISI_DATE, JUYA_GUBUN
B_PRODUCT_MASTER	PUMBUN, PRODUCT_NAME, TYPE
B_PRODUCT_TYPE	PRODUCT_TYPE_NAME
B_CAR	CAR_NAME
B_EQUIPMENT	SACUL_YN, EQUIPMENT_NAME
B_EMPLOYEE	EMPLOYEE_NAME
B_PROCESSBAD	PROCESSBAD_NAME
P_BADQTY	PROCESSBAD_CODE, BAD_QTY
P_BIGADONG	BIGADONG_CODE, MIN
B_BIGADONG	BIGADONG_NAME
B_PRODUCT_SALES_HISTORY	PRODUCT_PRICE
B_PRODUCT_BAN_HISTORY	PRODUCT_PRICE

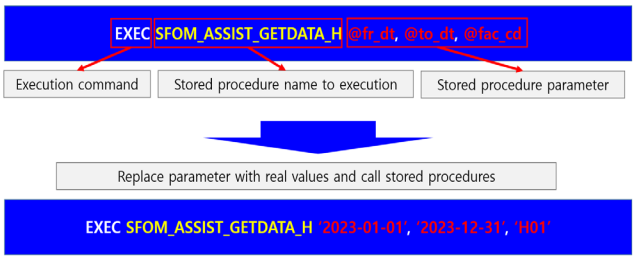


Fig. 22 Syntax for executing stored procedures

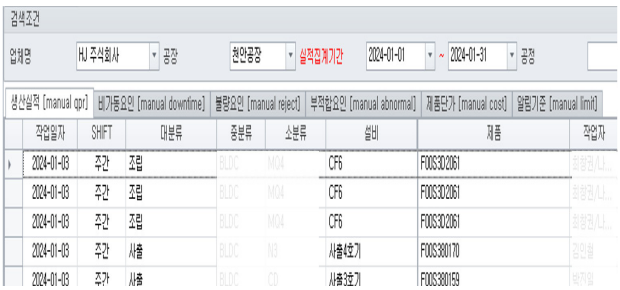


Fig. 23 FOM-Assist program

유무 등을 확인하였으며, 정상적인 작동과 결과 값을 반환할 때까지 수정, 보완 작업을 반복 수행하였다.

4) FOM-Assist 프로그램 적용

FOM-Assist 프로그램은 Fig 23과 같이 분석 대상 기간 입력에 따라 Data-file set별 결과 값을 사용자에게 화면으로 보여주고, Data-file set별 csv 파일 제작해준다.

FOM-Assist 프로그램에는 먼저 파라미터 값을 받아 연결할 항

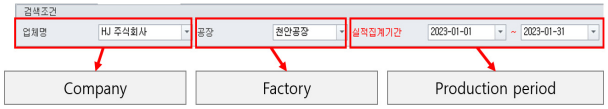


Fig. 24 FOM-Assist parameter

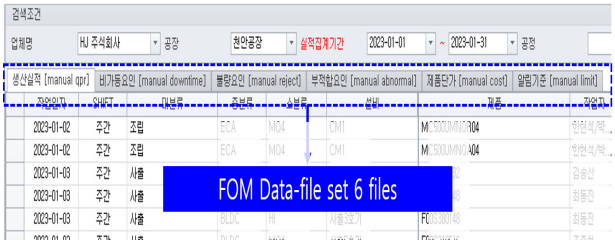


Fig. 25 FOM-Assist tab control and 6 grids

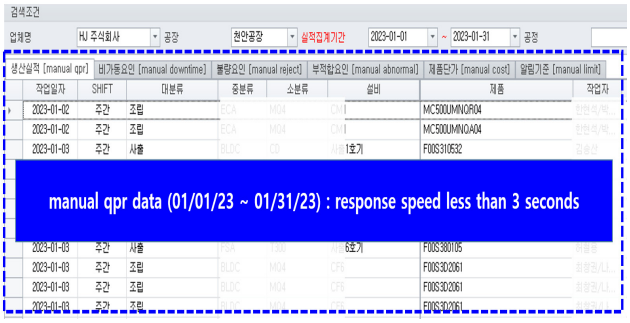


Fig. 26 FOM Data-file set binding result

목을 Fig. 24와 같이 추가하였다.

그 다음 저장 프로시저 실행 결과 값을 보여 줄 6개의 그리드를 Fig. 25와 같이 탭 형태로 추가 하였다. 6개의 그리드는 각각 FOM Data-file set을 구성하는 manual_qpr_yyyy.csv, manual downtime.csv, manual reject.csv, manual abnormal.csv, manual cost.csv, manual limit.csv 파일별로 각각 탭 메뉴로 하나씩 구성하였다.

H사의 경우는 부적합, 이상 알림을 제외한 FOM-Assist 프로그램에서 조회 기능을 통해 얻어진 결과 값을 4개의 각 그리드에 바인딩 처리 하였고, Fig. 26과 같이 대상 기간을 2023년 1월 1일 ~ 2023년 1월 31일로 지정하고, 데이터를 조회한 결과 manual qpr 기준 1,521건의 데이터를 약 3초 이내에 생성하였다.

5) FOM Data-file set 제작

각각의 그리드로 바인딩 된 데이터는 이미 그 형태가 FOM 분석 Data-file set 형태로 가공된 것이어서 그리드의 데이터를 그대로 파일명과 함께 csv 파일로 제작하면 된다. FOM-Assist 프로그램 내의 그리드에서 csv파일 형태로 내보내기(export) 하는 기능을 구현하여 Data-file set의 csv파일을 생성할 PC 내 저장할 경로를 지정하면 지정한 경로에 csv파일을 약 3초 내로 생성이 되었다.

Table 8 Comparison before and after FOM-MES interlocking system construction - 1st

(unit : minute)

No	Item	Before	After
1	Database analysis	-	120
2	Create a stored procedure	-	240
3	Test a stored procedure	-	60
4	Apply to FOM-Assist	-	240
5	Collection of manufacturing data	30	0.05
6	Create FOM Data-file set (1 month)	300	0.08
Total		330	660.13

4.3 FOM-MES 연동 시스템 구축 전후 비교 검증

위와 같이 2023년 1월의 1개월 데이터 기준 FOM-MES 연동 시스템 구축 전(before)과 후(after)의 Data-file set 제작 과정의 소요시간을 정량적으로 비교한 결과는 Table 8과 같다.

FOM-MES 연동 시스템 최초 구축 시에는 Table 8과 같이 약 수작업의 경우 330분, FOM-MES 연동 시스템은 660.13분이 소요되었다. FOM-MES 연동 시스템이 약 2배 정도 더 소요 되었다. 하지만 이미 구축된 FOM-MES 시스템을 사용하는 경우 Table 8의 5, 6의 과정만 수행하게 되므로, 동일한 조건(2023년 1월)으로 다시 제작할 경우는 Table 9와 같이 FOM-MES 연동 시스템의 소요시간이 비교가 안 될 정도로 우수한 결과가 나타났다.

수작업의 결과가 기존 제작 경험을 통해 265분으로 약 65분 단축된 반면 FOM-MES 연동 시스템은 0.15분으로 대략 1,767배 정도 빠른 것으로 나타났다.

위의 결과는 FOM-MES 연동 시스템의 제조데이터 분석과정과 소요시간이 기존의 수작업 방식에 비해 매우 우수하다는 것을 소요시간 측정 결과로 확인이 되었다.

만약 1개월 이상의 더 많은 양의 데이터를 대상으로 FOM 분석 Data-file set 제작을 한다고 가정할 경우에 제작에 필요한 소요시간은 현격한 차이를 보일 것으로 예상된다.

Table 9 Comparison before and after FOM-MES interlocking system construction - 2nd

(unit : minute)

No	Item	Before	After
1	Database analysis	-	-
2	Create a stored procedure	-	-
3	Test a stored procedure	-	-
4	Apply to FOM-Assist	-	-
5	Collection of manufacturing data	-	0.07
6	Create FOM Data-file set (1 month)	265	0.08
Total		265	0.15

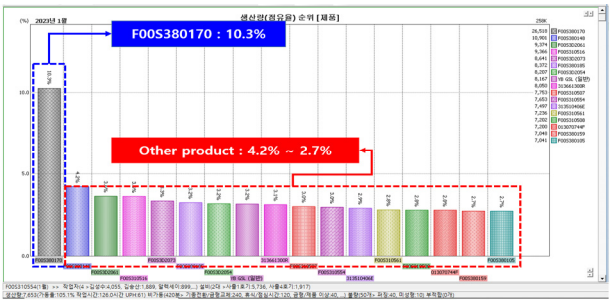


Fig. 27 FOM code #1000 product volume share analysis

4.4 FOM code별 분석

FOM-MES 연동 시스템을 통해 제작 된 FOM Data-file set을 실제 FOM 솔루션에 적용하여 파일의 이상 유무 확인과 함께 FOM code 생산량(#1000) ~ 불량(#3000) 별 분석을 수행하였다.

첫 번째 생산량(#1000) 분석에서 제품별 생산량 점유율 순위는 그림 Fig. 27과 같이 제품 F00S380170의 점유율이 가장 높게 나타났다. 이는 제품 F00S380170이 다른 제품의 생산량의 2.5배 이상을 생산했음을 의미한다. 회사는 주력 생산 제품 F00S380170에 대해 우선적으로 비가동, 불량, 부적합 등의 생산성을 저해하는 요인을 분석 수행해 보아야 한다.

두 번째 FOM code 비가동(#2000) 분석에서는 생산량 점유율이 제일 높은 제품 F00S380170의 비가동 유형별 점유율을 분석하였다. 그림 Fig. 28과 같이 비가동 유형 중 '휴식/점심시간'이 점유율 71.93%로 가장 높게 나타났으며, 다른 유형보다 5배 이상의 높은 점유율을 보이고 있다. 회사는 작업자 교대 등 휴식/점심시간을 단축 방안을 마련하여 비가동을 줄이고, 생산성을 향상시켜야 함을 알 수 있다.

세 번째 FOM code 불량(#3000) 분석에서는 동일 제품에 대해 불량 유형별 점유율을 분석하였다. 불량 점유율 순위는 Fig. 29와 같이 퍼징(purging)이 점유율 100%로 나타났으며, 퍼징 불량 최소화로 생산성을 향상시켜야 함을 알 수 있다.

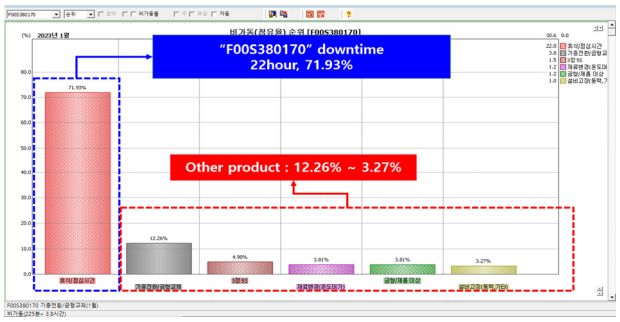


Fig. 28 FOM code #2000 product downtime share analysis

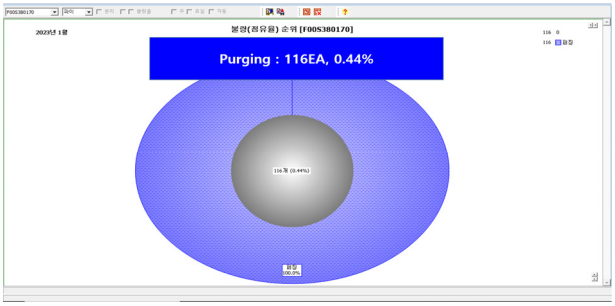


Fig. 29 FOM code #3000 product defect share analysis

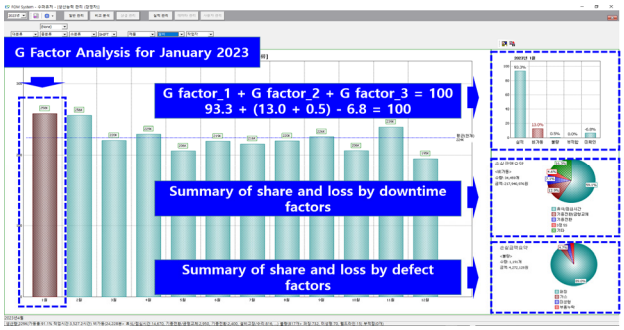


Fig. 30 FOM production capacity and G factor analysis

마지막으로 상급 관리 분석에서는 Fig. 30과 같이 2023년 1월 전체 제품의 생산실적을 기준으로 G factor별 점유율 분석 및 G facotr_2의 요인별 상세 분석과 손실금액 요약정보를 확인하였다. G factor_1(실적)은 93.3%, G factor_2(비가동, 불량)는 13.5%, G factor 3(미확인)는 -6.8%이며, 세 factor의 합은 100%로 G factor 정의에 적합하며, G factor_2 중 비가동은 휴식/점심시간이 59.1%로 가장 높게 나타났으며, 손실은 수량 34,459개, 금액은 217,940,976원으로 나타났다. 불량은 퍼징이 89%로 가장 높게 나타났으며, 손실은 수량 1,191개, 금액 4,272,128원으로 나타났다.

본 연구를 통해 FOM-MES 연동 시스템의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 데이터의 양에 상관없이 짧은 시간에 Data file-set을 제작할 수 있다.

2) FOM 솔루션을 사용하여 4M 기반 생산성 및 요인별 분석을 수행하고 주요 문제점을 신속하게 찾아낼 수 있었다.

3) 전문 인력이 필요하지 않고, 기존 MES 시스템에 기능을 추가하는 것보다 단기간에 저렴한 비용으로 구축할 수 있다.

5. 결 론

기존 중소 제조기업에 사용하는 MES 시스템 역시 분석 기능을 제공하는 경우가 많다. 하지만 MES 시스템의 분석 기능들은 주로 경영진의 관점이 아닌 부서, 담당자 관점의 분석 기능 위주이다. 영업, 생산, 자재, 품질, 물류 등 각각의 부서 업무와 연관이 있는 일차원적인 분석이다. 결국 경영진을 위한 보고용 자료는 MES 시스템의 자료를 다운받아 엑셀로 편집하여 작성하는 기업이 대부분이다.

본 연구에서 소개된 FOM 솔루션을 업무에 적용한다면 표준화된 6개의 Data-file set만 제공하면 즉시 데이터 분석이 가능하며, 일반적인 분석 솔루션과 달리 4M 데이터와 FOM code 요인별 데이터를 유기적으로 연결하여 4M 데이터와 FOM code 요인 간 다차원 분석을 수행할 수 있는 장점을 제공하며, G factor별 비용화를 통해 경영진이 보다 쉽게 의사결정을 할 수 있도록 돕는다.

결국 중소 제조기업은 대기업, 중견기업에 비해 열악한 경영환경, 제조환경에서 기 구축된 MES 시스템의 활용도를 높이고, 축적된 제조데이터 활용도를 최대화가 필수적이다. 생산성 향상과 경쟁력 강화를 위해 전 임직원이 데이터 기반의 4M 변화관리와 의사결정을 바탕으로 제조현장과 시스템을 지속적으로 개선해 나가는 공장운영관리가 필수적이다[7].

따라서 연구 결과를 바탕으로 많은 중소 제조기업에 FOM-MES 연동 시스템 확산이 필요하다고 하겠으며, 이를 위해서 현재 FOM 솔루션의 분석용 Data-file set을 제작하는 대신 FOM-MES 직접연동에 대한 연구와 현재 CS(client-server) 형태가 아닌 웹 기반의 FOM 솔루션 개발에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012453, 2023년 산업혁신 인재성장 지원사업)

References

[1] Lee, C. S., Yoo, W. S., 2023, A Study on the Effect of SMEs Performance According to the Smart Factory Introduction Environment: Focusing on SMEs in Incheon, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 49:2 176-186, https://doi.org/10.7232/JKIIE.2023.49.2.176.

[2] Kim, S, Y., 2015, Development of Digital Factory FOM to Improve Productivity, Doctoral Dissertation, Daejeon University, Republic of Korea.

[3] Kim, S. Y., 2018, A Case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the Fourth Industrial Revolution Era, Korean Computers and Accounting Review, 16:1 43-62.

[4] Kim, J. H., Kim, S. Y., 2021, Productivity Analysis Method based on Manufacturing Big-data using the FOM System in the FOMs Package, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:4 259-268, https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.4.259.

[5] Lee, N. E., Oh, S. S., Bae, B. S., Kim, S. Y., 2022, Lead-Time Reduction of Machining Process Using FOM Analysis Based on 4M Data of Large Vacuum Chamber, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 31:3 211-215, https://doi.org/10.7735/ksmte.2022.31.3.211.

[6] Oh., S. S., Yang, H. S., Bae, B. S., Kim., S. Y., 2021, Application of FOM Methodology for 4M Optimization Based on the Data of Manufacturing Process of Mechanical Parts, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:6 456-464, https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.6.456.

[7] Yang, H, S., Kwon, J. T., Kim, S. Y., 2023, A Study on the Process Establishment Using FOM-BI and CPS for a Small and Medium-sized Food Manufacturing Company, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 32:5 297-307, https://doi.org/10.7735/ksmte.2023.32.5.297.

Kyung Sup Son
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: ksson@net-plus.kr

Jae Hoon Jang
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: fomsre@naver.com

Jae Ha Kim
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: dfs717@naver.com

Su Young Kim
Professor in Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University.
His research interest is Applications of FOMs (smart-Factory Operation Managements).
E-mail: df2030@hoseo.edu