



공정 로스 구조에 의한 가동률지표 모형 연구와 FOM솔루션 데이터 분석 방법

노규환^a, 김수영^{a*}

Study on an Operating Rate Metrics Model Based on Process Loss Structures and a FOM-solution-based Data Analysis Method

Kyu Hwan Roh^a, Su Young Kim^{a*}^a Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	25	January	2023
Revised	8	February	2023
Accepted	9	February	2023

Keywords:

Loss
Operating rate
OEE(overall equipment effectiveness)
Man-hour
FOM(factory operation management)

ABSTRACT

The aim of this study is to present a new and improved metrics model for measuring the operating rate data based on the loss structure during the manufacturing process and a study on the data analysis methodology. First, the loss structure is classified, analyzed, and presented. Subsequently, the overall equipment effectiveness (OEE) metrics based on the total productive maintenance (TPM) losses are presented and the applicability problem is analyzed. The total production effectiveness (TPE) metrics, which includes both the equipment efficiency and 4M efficiency factors in the calculation of its operating rate new model, is then presented to minimize the problems of OEE. And the man-hour effectiveness (MHE) metrics is presented for measuring the man-hour during manual work with structured man-hour losses. Finally, factory operation management (FOM), which is a solution based on 4M multi-dimension analysis methodology, is applied for the analysis of the operating rate data.

1. 서론

최근 3년간 충북지역 소재의 104개 중소제조기업을 대상으로 실시한 스마트공장 현장평가 및 실태조사 결과에 따르면 대부분의 제조기업들은 가동률 데이터가 핵심성과지표(key performance indicator, KPI)로서 그 중요성을 인식하고 있으나 실제로 유의미한 데이터로 관리하고 활용하는 기업은 20%미만이였다. 이러한 원인은 가동률 데이터 수집오류 또는 측정방법이나 데이터 관리상에 문제가 있었다. 그 중에서도 제조현장의 환경이나 특성을 고려하지 않은 일반적인 설비종합효율(overall equipment effectiveness : OEE)지표 적용에 의한 가동률 데이터 측정으로 데이터의 수집과 활용범위가 제한적인 것이 가장 큰 원인의 하나로 확인되었다.

이에 대해 최성운은 가동률에 대한 선행연구 이론에서 가동률에 의해 측정하는 생산성(productivity, P)은 Q, C, D(quality, cost, delivery)향상을 나타내는 기업의 경쟁력을 평가하는 지표로서 Lean가동률지표와 다양한 가동률 측정방법을 제시하였다^[1]. 본 연구에서는 실태 조사 결과를 참고하여 중소제조기업에서 가동률 데이터의 활용성을 높이기 위해 측정방법을 개선한 새로운 지표 모형을 제시하고 이론적으로 보완하였다.

이를 위하여 먼저 가동률 데이터에서 수집되는 비가동률의ロス(loss)를 구분하여 구조화하였다. 설비 효율성과 관련된ロス인 TPM (total productive maintenance) 로스와 management 로스에 대한 구조를 Table 1에 제시하였으며 loss 분석 방법론에 의한 이론으로 4M로스(man, machine, material, method) 및 만성로스

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

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

(chronic losses)와 돌발로스(sporadic losses)를 제시하였다.

로스구조에 의한 가동률 측정 지표로 설비종합효율(OEE)의 지표의 이론과 제조기업에서 적용과 활용에 대한 문제점을 분석하였다. 이를 개선하기 위해 제조기업에서 산업과 제조환경의 특성을 고려한 가동률지표 모형을 연구하여 제시하였다. 특히 지금까지 이론적으로 연구가 거의 이루어지지 않은 중소제조기업에서 작업자(operator)가 직접 작업을 하는 수작업에 대한 가동률을 산출하기 위해 작업 공수 효율(man-hours effectiveness)을 분석하는 지표를 산출하였다. 현재 수작업에 의한 작업공수효율의 관리는 실무적으로 제조현장에서는 단순히 작업자의 생산성만을 집계하는 수준에 머물러 있다. 이를 개선하기 위한 작업공수효율 지표 산출은 설비가동률 지표 측정 방법을 기반으로 연구하였다.

가동률 데이터의 이론적 내용, 수집과 측정 그리고 데이터의 분석 방법으로 FOMs package의 FOM솔루션의 활용 방법을 제안하였다. FOM 솔루션은 4M에 의한 가동률산출과 4M 다차원 분석의 변화관리에 특화되어 있다²⁾.

본 연구의 의미는 빠르게 변화하는 제조환경에 대응하기 위해 제조현장관리에서 중요한 가동률 데이터관리와 관련해서 지속적인 연구를 위한 디딤돌의 역할에 있으며, 목적은 제조공정의 loss를 구조화하고 분석하여 이를 기반으로 가동률(operating rate) 데이터를 효과적으로 측정하여 활용하기 위한 가동률지표(metrics) 모형을 산출하는 데 있다.

2. 제조현장의 로스 구조

2.1 TPM 로스 구조

전사적생산성보전활동(TPM)의 주요 목적은 사람과 설비의 체질개선으로 기업을 혁신하는 것이다³⁾. 설비의 체질개선으로 설비 효율을 최대화하는 것으로 로스를 철저히 배제하는 것이다. TPM에서 정의된 설비종합효율(OEE)은 설비의 효율을 측정하는 하나의 지표로 비가동 요소인 로스를 구분하여 제거 하거나 개선을 한다.

TPM의 OEE 로스는 Table 1에 나타난 바와 같이 4개의 big 로스와 8개의 major 로스로 분류하며 4개의 big 로스에는 계획로스(shutdown loss), 설비 고장로스(breakdown loss), 성능로스(performance loss) 및 불량로스(defects loss)가 있다. 또한 8개의 major 로스는 계획로스의 shutdown loss와 material down loss, 설비 고장로스의 고장로스(equipment breakdown loss)와 준비교체 조정로스(setup & adjustment loss)가 있으며, 성능로스의 순간정지 및 공회전 로스(idling & minor stoppage loss)와 속도저하로스(reduced speed loss), 불량로스의 불량 및 재가공로스(defects & rework loss)와 초기 수율저하로스(reduced yield

Table 1 Classification of TPM losses

TPM OEE		8 major losses	Management losses
Operation time	Loss		
Loading time	Shutdown	① Shutdown	Management
		② Material down	
Operating time	Breakdown time	③ Equipment breakdown	Line organization
		④ Setup & adjustment	
Net operating time	Performance	⑤ Idling & minor stoppage	Unskilled
		⑥ Reduced speed	
Valuable operating time	Defects	⑦ Defects & rework	Energy
		⑧ Reduced yield	

loss)로 분류된다⁴⁻⁶⁾.

Table 2에 나타낸바와 같이 설비효율향상을 위하여 8개의 major 로스를 개선하기 위하여 설비 고장로스는 철저한 예방정비(PM), 작업 기본규정 준수, 표준화 작업, 정비능력 향상의 방법을 적용하고, 준비교체 조정로스는 표준화작업, 공구와 교체부품의 정밀도를 유지하며, 순간정지 및 공회전로스는 최적 작업조건, 미세한 결합시정, 현상분석의 방법을 적용한다. 또한 속도저하로스는 작업 표준화 및 작업 기본을 준수하며, 불량 및 재가공 로스는 만성

Table 2 Improvement point of TPM losses

8 major losses	Improvement point
① Shutdown	A thorough overhaul PM(prevention maintenance)
② Material down	Accurate production plan Accurate inventory management
③ Equipment Breakdown	BM(breakdown maintenance) PM(prevention maintenance) Improvement of maintenance quality Standardization work
④ Setup & adjustment	Standardized setup method Basic compliance Standardization work Optimal equipment conditions Precision of tools and parts
⑤ Idling & minor stoppage	Optimal working conditions Correction of minor defects Root cause analysis Standardization work Basic compliance
⑥ Reduced speed	Standardization work Basic compliance
⑦ Defects & rework	Improvement of maintenance quality Root cause analysis for quality Optimal working conditions Skilled operator
⑧ Reduced yield	Standardization work Optimal working conditions Improvement of maintenance quality

적인 불량현상 파악, 결함요인 분석의 방법을 적용하고, 수율저하 로스는 작업조건 준수, 정비능력 향상, 작업의 숙련도 향상 등의 방법을 적용한다.

로스의 구체적 문제해결을 위한 개별개선의 step으로는 테마선정=>현상파악=>원인분석=>목표설정=>조치(action)=>효과파악=>표준화 및 사후관리의 순으로 진행한다.

2.2 관리로스(management losses) 구조

관리로스는 주로 관리자의 관리방법에 의해 원인이 제공되는 로스로 파악하였다. 본 연구에서는 로스 구분을 관리로스, 조직편성로스(line organization loss), 비숙련로스(unskilled loss), 에너지로스(energy loss)로 하였다. 관리로스는 관리의 미숙함으로 인해 유발되는 로스로 자재품질, 작업지시 로스, 생산계획 및 통제로스, 인력관리로스 등으로 나누었다. 특히 관리로스는 작업현장의 모든 로스에 직간접적인 영향을 준다. 자재관리 상의 문제로 자재품질이나 생산계획로스가 발생할 수 있고 인력관리의 로스에 의해 인력부족의 문제가 제조현장의 다른 로스를 유발한다고 보았다. 그리고 작업현장의 관리에서 중요한 관리 시간대가 존재한다는 것을 본 연구자의 경험으로 알 수 있었다. 출퇴근 시간 전후(교대시간 전후), 야간 취약근무 시간대, 식사나 휴식후 근무, 셋업후의 시간대가 로스가 집중적으로 많이 발생하므로 취약시간대의 철저한 관리가 중요하다는 것을 파악하였다. 조직편성로스는 라인 밸런스로스, 비숙련로스는 신입사원로스, 교육미흡, 비표준화 등이 있고 에너지로스는 과도한 에너지 낭비로스로 구분하였다.

2.3 분석방법에 의한 loss 구조

본 연구에서는 로스의 발생유형에 따른 분석방법으로 4M로스 및 돌발로스와 만성로스로 구분하였다.

먼저 4M로스는 Table 3에 표시한 바와 같이 제조현장관리의 기본 요소인 작업자(man), 설비(machine), 자재(material) 및 작업방법(method)에 의한 로스를 의미한다. 생산의 모든 로스는 기본적으로 4M에 의해 발생된다고 본다.

4M 로스는 로스의 발생 유형이 단순한 경우에는 4M 중에서의 하나의 요소에 의해 로스가 발생하지만 대부분의 로스는 4M의 복

Table 3 Classification of 4M lossess

4M	Operator	Machine	Material	Method
Loss	Unskilled loss	Breakdown loss	Material down loss	Shutdown loss
	Human error loss	Reduced speed loss	Energy loss	Operation loss
	Defects	Defects	Defects	Set up loss
				Defects

Table 4 Chronic & sporadic losses

	Chronic losses	Sporadic losses
Occurrence type	Occurs frequently within a certain dispersion	A new problem suddenly occurs
Problem type	Technical problem	Management problem
Cause relationship	Various problems, complex, unclear	Simple, clear, single problem
Occurrence prediction	Possible	Impossible
Solutions	Difficult	Easy
Cause type	Chronic loss	Chance cause loss
4M analysis	Multi-dimensional analysis	4M analysis

합적인 작용에 의해 발생하는 경우가 많다. 복합적 요소에 의한 4M로스는 시스템적 분석(system analysis)에 의한 하위 시스템으로 4M 다중 다차원 분석이 로스 개선에 효과적이다. 제조현장에서 발생하는 로스를 개선하기 위하여 FOM 솔루션은 4M요인들의 유기적이고 다차원적 분석을 수행하여 원인 도출과 개선을 통한 4M 변화관리를 제공한다.

Table 4는 제조현장에서 loss의 발생 형태에 따라 구분되는 만성로스(chronic losses)와 돌발로스(sporadic losses)로 구분하여 나타내었다. 만성적 로스는 어떤 문제가 만성적으로 일정한 산포 범위 안에서 발생하는 것으로 그 원인관계가 복잡하고 다양하며 4M 인과관계의 분석이 어렵다. 관리적으로는 개선이 어려운 극한 값과 기술적 수준과의 비교에 의한 로스라고 할 수 있으며 발생에 측이 가능하고 조치를 취해도 쉽게 해결되지 않는 만성적 불량을 만드는 로스이다. 또한 돌발로스는 새로운 현상이 돌발적으로 불규칙하게 갑자기 발생하는 로스를 의미한다. 돌발 로스는 인과관계가 명확하고 단일 단순한 원인에 의해 발생되므로 제조현장에서 일시적 조치로 해결이 가능한 human error에 의한 로스가 해당되며, 현상수준과의 비교에 의해 로스로 인식되므로 관리적 문제에 의한 로스로 제시 하였다.

Fig. 1에서와 같이 만성로스는 안정된 작업상황에서도 복잡

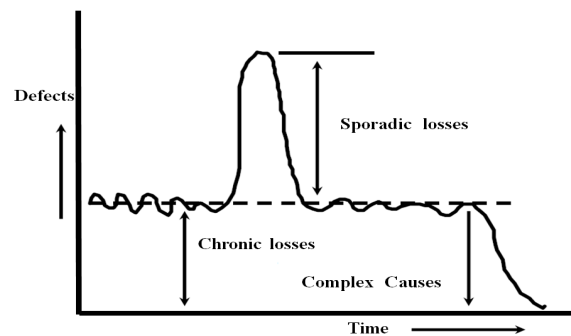


Fig. 1 Chronic losses & sporadic losses patterns

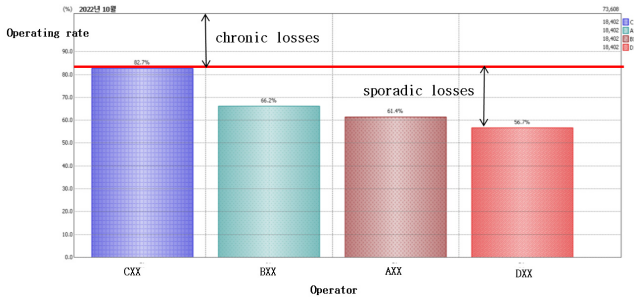


Fig. 2 Improvement method according to losses type

적 원인에 의해 만성적으로 발생하는 것으로 제조현장에서 개선이 어렵고 불가피하게 발생하는 로스로 인식을 하며 돌발 로스는 불안정한 작업에 의해 갑자기 발생하는 로스로 개선이 비교적 쉬운 로스를 의미한다^[7].

Fig. 2에 나타난 바와 같이 안정화된 작업 공정에서는 가동률 고성과(high level performance) 작업자의 비가동에 대한 로스에는 대체적으로 만성로스의 비율이 높고 저성과(low level performance) 작업자의 작업의 로스에는 돌발로스의 비율이 상대적으로 높다는 것을 확인하였다. 그러므로 고성과 작업자는 로스를 줄이기 위해서는 기술적인 문제가 많은 만성로스의 개선에 집중하고 저성과 작업자는 고성과자의 작업방법을 습득하여 돌발로스를 집중 제거하고 작업의 숙련화로 작업의 효율을 높이는 것을 가동률 향상 방안으로 제안하였다.

3. 가동률(operating rate)지표 분석

3.1 TPM 중심의 설비종합효율(OEE) 분석

대부분의 중소 제조기업에서는 설비 가동률관리를 위해서 Fig. 3의 설비종합효율(OEE)의 지표를 적용한다. 설비종합효율이란 시간가동률, 성능가동률, 양품률의 세가지를 관리하는 지표(metrics)로 공정의 설비에 대해서 시간과 성능적으로 가동시간을 측정하는

Operating Hours (OH)		Shutdown Loss	Availability Rate
Loading Time (LT)			
Operating Time (OT)		Down Time Loss	Performance Efficiency
Net Operating Time (NT)		Speed Loss	
Valuable Operating Time (VT)	Defect Loss		Quality Rate

Fig. 3 OEE(overall equipment effectiveness) metrics

것이며 양품률을 곱하여 종합적인 부가가치 척도를 나타내는 지표이다^[8]. 가동률관리에 의한 OEE는 설비가동에서 제거해야 할 로스를 분석하고 개선하여 생산성과 품질을 향상하고 납기를 단축하며 원가절감을 하는 것이 목적이다. 가동률의 측정은 설비의 가동시간과 비가동시간으로 나누어 산출하며 비가동시간은 TPM 로스로 구분한다.

OEE의 설비 가동시간의 구분은 일정기간동안 작업을 해야하는 시간을 조업시간(operating hours), 조업시간에서 생산계획상의 비가동시간을 제외한 부하시간(loading time), 부하시간에서 설비 비가동시간을 제외한 가동시간(operating time), 가동시간에서 속도저하(reduced speed)시간을 제외한 실질가동시간(net operating time), 실질가동시간에서 불량발생을 제외한 가치가동시간(valuable operating time)으로 산출한다^[9].

가동률의 산출은 설비 가동 데이터를 활용하여 부하시간을 관리하는 부하율(loading rate), 가동시간을 관리하는 시간가동률(availability rate), 생산 속도를 관리하는 성능가동률(performance efficiency), 수율(yield)을 관리하는 양품률(quality rate)의 지수를 관리하며 이를 통해 설비가 제조에 얼마나 활용되었는지, 생산능력은 얼마나 되는지, 설계능력(design capacity)에 얼마나 근접하게 설비를 가동했는지 종합적으로 분석할 수 있다.

가동률의 산출방법은 다음과 같다. 시간가동률(availability rate)은 설비의 가동시간을 지표로 나타낸 것으로 가동시간을 분석할 수 있다.

$$\text{Availability Rate} = \frac{OT}{LT} \quad (1)$$

성능가동률(performance efficiency)은 제품제조 속도를 나타낸 가동률로 가공 제조수량(QTY)에서 기준 사이클 타임(theoretical cycle time, CT_R)을 곱하여 가동시간(OT)으로 나누어 나타낸 시간이다. 성능가동률은 설비에서 제품제조 속도를 분석할 수 있다.사이클 타임은 제품 1개당 제조시간을 의미하며 기준 사이클타임(CT_R)은 달성 가능한 개당 최단 소요시간을 의미하며 실질사이클타임(actual cycle time, CT_A)은 실제 제품 1개당 제조에 필요한 시간으로 기준사이클타임(CT_R)에 제조작업에 필요한 여유시간을 더한 시간을 의미한다. 통상적으로 기업에서 여유시간은 10~20%의 여유시간을 부여한다.

$$\text{Performance efficiency} = \frac{QTY \times CT_R}{OT} \quad (2)$$

양품률(quality rate)은 실제 양품 제조수량으로 수율을 의미하며 제품 제조수량에 불량수량(defect quantity, f)을 제외한 양품수량이다.

$$\text{Quality rate} = \frac{QTY-f}{QTY} \quad (3)$$

설비종합효율(OEE)은 아래와 같이 산출할 수 있다.

$$\text{OEE} = (1) \times (2) \times (3)$$

설비의 가동률을 저해하는 로스는 6 major 로스로 2.1절에서 기술한 major loss에서 계획로스의 계획정지로스와 설비 고장 로스를 제외한 6개의 주요 로스를 의미한다.

설비종합효율(OEE)은 로스를 구분하여 가동률을 체계적으로 나타내는 지표로 제조기업에서 적용하기에 몇 가지 어려움이 있다. 첫째, 측정 단위가 가동시간, 생산량, cycle time의 3가지 측정단위로 되어 있어 일관성 있는 측정이 어렵다. 이러한 이유로 중소 제조기업들은 성능가동률은 측정을 하지 않고 시간가동률만 측정하여 관리하는 반쪽 가동률을 관리하는 경우가 많다. 둘째, 시간가동률의 로스측정에서 매일 거의 일정한 비가동시간을 보이는 만성 로스가 많은 설비 고장시간과 준비교체 조정로스만 측정함으로써 가동률의 변동률이 거의 없으며 일정한 경향(trend)을 보이는 경우가 많아 가동률에 대한 관심이 줄어든다. 셋째, 단순히 설비의 가동/비가동 시간만 측정하고 자재수주/연결 부족에 의한 가동/비가동 시간은 측정하지 않아 생산량 실적과 가동률 추이가 서로 연계가 되지 않는 문제가 발생된다. 가동률 향상이 곧 생산량 향상이라는 비례관계에 의문을 가질 수 있다^[9]. 넷째, 성능가동률을 측정하기 위해 이론 cycle time을 산출할 때 제조 실무자의 측정방법에 대한 이론 부족으로 수치를 잘 못 측정하여 실제보다 가동률이 훨씬 높게 나타나는 오류가 발생하는 경우도 있다. 다섯째, 가동/비가동 시간입력시 누락, 허위입력, 오류 등의 data 수집 error가 많아 가동률이 데이터가 왜곡되어 나타나 활용 가치가 떨어지는 사례도 있다.

마지막으로 제조시스템의 구축을 위해 IT 공급기업에서 MES, ERP, SCM 등 software를 구축 시에 대부분 데이터 수집의 기능에만 집중하고 데이터의 분석기능은 미흡하고 소홀히 하는 일이 많다. 가동률관리도 데이터의 수집과 데이터의 실시간 시각화 구

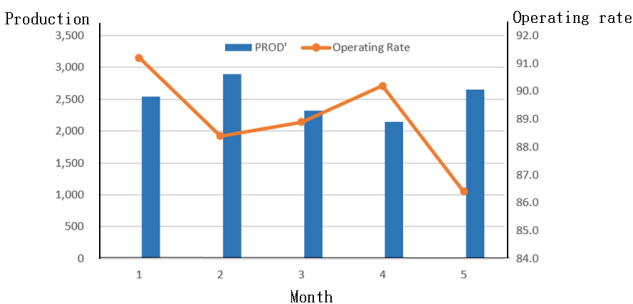


Fig. 4 Operating rate vs production performance trend

현 기술은 좋으나 데이터를 분석하여 생산성 향상 등에 활용하는 기능은 부족하여 이를 사용하는 기업에서는 데이터의 수집과 가치화 정도로만 활용하고 가동률관리의 주목적인 P(productivity), Q(quality), C(cost), D(delivery)의 향상에는 활용을 제대로 못하고 있다.

이와 같은 OEE적용상의 문제점을 개선하기 위해서는 기업에서 산업 특성이나 제조회장에 적합한 다양한 가동률관리방법과 지표를 개발하여 활용하면 많은 효과가 예상된다. 본 연구에서도 이러한 문제에 초점을 두어 활용성이 높은 가동률 지표 모형에 대해 연구하였으며 분석방법론으로 FOMs package를 활용하고자 하였다.

3.2 전체생산효율(TPE)지표 산출

본 연구에서는 설비종합효율(OEE)의 문제점을 분석하여 기업에서 효과적으로 활용할 수 있는 가동률지표를 연구하였으며 그 성과로 전체생산효율(total production effectiveness, TPE)지표 모형을 Fig. 5에 나타내었다.

TPE지표는 설비종합효율(OEE)지표와 플랜트종합효율(overall plant effectiveness, OPE)지표를 중심으로 연구하여 산출하였다.

총 근무시간의 total time(T), non scheduled time loss를 제외한 작업시간(operation time, O), 설비 down time을 제외한 가동시간(up time, U), 불량률을 포함한 performance loss를 제외한 performance time(P)을 관리하는 지표이다. 작업시간(O)과 설비 가동시간을 집계하는 up time(U)의 가동률(availability rate) 산출식은 다음과 같다.

$$\text{Availability rate} = \frac{U}{T} \quad (4)$$

설비의 performance와 quality를 측정하는 performance efficiency의 산출식은 가공 제조수량(QTY), 기준 사이클 타임(CT_R)으로 산출한다.

$$\text{Performance efficiency} = \frac{P}{U} = \frac{QTY \times CT_R}{U} \quad (5)$$

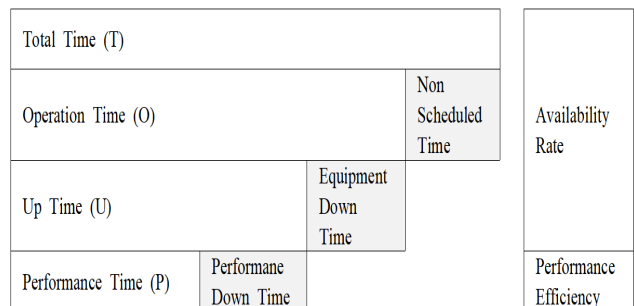


Fig. 5 TPE(total production effectiveness) metrics

TPE total 가동률은 다음과 같이 산출한다.

$$\begin{aligned} \text{Total 가동률} &= (1) \times (2) = \frac{O}{T} \times \frac{U}{O} \times \frac{QTY \times CT_R}{U} \\ &= \frac{QTY \times CT_R}{T} = \frac{QTR}{T \div CT_R (= \times \text{기준 UPH})} \end{aligned} \quad (6)$$

기준UPH(theoretical unit per hour)는 시간당 기준 생산량으로 1시간을 기준 cycle time으로 나누어 계산할 수 있다.

TPE의 loss 구조는 Table 5와 같이 구분한다.

작업시간(O)의 로스는 의도적(계획적)으로 설비를 가동하지 않는 시간의 non scheduled time loss는 계획된 작업중단, shutdown, 교육시간, 재고부족, 과잉재고 조절, material down 등이며, 가동시간의 로스는 설비의 down time으로 설비고장, set up loss, tool change loss로 분류하고 성능시간(performance time)은 속도저하, 순간정지, rework, defects loss로 분류하였다.

TPE지표에 의한 가동률관리의 잇점을 OEE지표와 비교하였다. 첫째, OEE지표에 의한 가동률관리는 설비의 down time만을 관리하지만 TPE지표에 의한 가동률관리는 제조공정에서 발생하는 모든 loss를 수집하여 관리함으로써 4M 로스로 원인을 파악하여 제거할 수 있다. 둘째, OEE는 단일공정의 단일설비 위주의 생산성향상에 집중하지만 TPE는 자재수주부터 가동률을 관리함으로써 설비효율 향상 뿐만 아니라 수주부족, 원자재 부족, 작업자 부족 등으로 인한 비가동을 파악할 수 있다. OEE는 생산성과 가동률 추이가 연계되지 않는 부분이 있으나 TPE는 생산성과 가동률 추이가 연계된다. 셋째, OEE에서는 가동률 측정시 가동시간, performance로 나누어 측정하여 일관성있는 측정이 어렵고 기업에서 성능가동률 측정을 포기하는 일도 있지만 TPE에서는 performance의 생산량에 의한 측정으로 통일된 측정과 시간가동률과 성능가동률 모두 측정이 가능하며 특히 생산량으로 가동률을 측정함으로써 정확한 가동률 데이터를 얻을 수 있다. 넷째, OEE에서 설비가동률만을 측정함으로써 거의 만성적인 로스와 작업자에 의한 로스만 집계됨으로써 가동률 변화 추이가 거의 일정하며, 가동률 저하 원인에 대해 주로 작업자에게 책임을 전가하고, 기업에서도 가동률에 대

Table 5 Improvement point of TPM lossess

Loss state	Loss detailed classification
Non-scheduled time	Shutdown, closed days, education, planned down time
	WIP control, support tool down
Equipment down time	Equipment break down time, set up time, tool change time
Performance down time	Idling time, Reduced speed, minor stoppage
	Rework, defects, reduced yield

한 관심이 줄어들 수 있지만 TPE에 의한 가동률관리는 자재부족 등 4M에 의한 가동률관리로 가동률 변화 추이의 폭이 크고 관리자의 로스까지 집계함으로써 관리자와 작업자가 함께 가동률향상을 추구할 수 있으며 경영진에서도 가동률에 대한 관심이 높아질 수 있다.

3.3 작업자 공수효율(MHE)지표 산출

중소 제조기업의 제조현장에는 작업자에 의해 직접 생산을 하는 수작업(manual working)으로 작업을 하는 기업이 많이 있다. 작업자에 의한 수작업도 가동률관리가 필요하며 이것을 공수효율(man-hour effectiveness, MHE)로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 공수효율을 효과적으로 측정하기 위한 공수효율(MHE) 지표를 Fig. 6과 같이 산출하였다.

Table 6에 나타낸 바와 같이 산출한 MHE의 지표의 구조는 작업에 투입된 이론상의 총공수(total man-hour), 총공수는 정해진 작업시간인 정규공수와 잔업/특근이나 지원작업의 추가공수의 총합으로 나타낸다. 실공수(actual man-hour)는 총공수에서 계획적인 비작업의 계획공수로스(planned man-hour loss)와 비계획의 유실공수(down time)를 의미하는 비계획로스(unplanned man-hour loss)를 제외한 시간중심의 공수로스이며, 표준공수(standard man-hour)는 실공수에서 작업자의 유실공수를 의미하는 성과공수(performance man-hour loss)로스를 제외한 성과중심의 공수로 나타내었다.

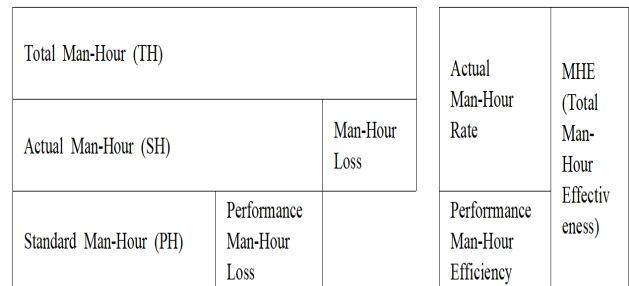


Fig. 6 MHE(man-hour effectiveness) metrics

Table 6 Classification of man-hour

Man-hour	Contents	Detail contents
Total man-hour	Total planned man-hour	(total working hours + overtime work + support work) - (holidays)
Actual man-hour	Total actual man-hour (working time)	(total man-hours) - (planned working man-hour loss + unplanned working man-hour loss)
Standard man-hour	Total standard man-hour (working efficiency)	\sum (standard time by model \times quantity of goods by model)

공수효율(man-hour effectiveness)은 종합공수효율(total man-hour effectiveness)과 시간적 공수율을 나타내는 실공수율(actual man-hour rate), 성과적 공수효율을 나타내는 성과공수효율(performance man-hour efficiency)로 나타내었다. 계산식은 공정별 공수효율과 개별공수효율로 각 각 계산할 수 있으며 계산식은 다음과 같다.

- 공정별 공수효율

$$\text{실공수율(actual man-hour rate)} = \frac{SH}{TH} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{성과공수효율(performance man-hour efficiency)} &= \frac{PH}{SH} \\ &= \frac{\text{Standard Time} \times \text{Good Quantity}}{SH} \end{aligned} \quad (8)$$

Performance 측정 기준의 성과공수효율

$$= \frac{\text{Good Quantity}}{SH \div \text{Standard Time}}$$

종합공수효율(total man-hour effectiveness) = (7) X (8)

$$= \frac{SH}{TH} \times \frac{PH}{SH} = \frac{PH}{TH}$$

$$= \frac{\text{Standard Time} \times \text{Good Quantity}}{TH}$$

$$= \frac{\sum(\text{Standard Time} \times \text{Good Quantity})}{TH}$$

Performance 측정 기준의 종합공수효율

$$\sum \text{Good Quantity}$$

$$= \frac{\sum \text{Good Quantity}}{TH \div \sum \text{Standard Time}}$$

performance 기준의 종합공수효율 데이터 측정의 잇점은 수량에 의한 공수효율과 로스를 집계할 수 있어 원가손실을 명확히 할 수 있으며 시간측정에 의한 누락이나 오류 등을 방지할 수 있다.

표준시간(standard time)은 작업자가 양품 1개를 만드는 데 필요한 표준시간으로 표준 작업환경 하에서 평균이상의 숙련도를 가진 작업자가 평균작업속도로 표준작업방법으로 작업을 수행하여 측정된 시간이다. 표준시간의 측정방법은 여러 방법이 있으나 보통 stop watch에 의한 측정방법으로 쉽게 측정할 수 있다.

작업자 공수효율의 로스는 Table 7에 표시하였다.

실공수효율은 관리에 의한 로스로 계획로스와 비계획로스로 나눈다. 계획로스는 계획에 의한 비작업, 휴가, 정기교육이나 회의 등 정기적인 행사로 인한 계획적인 작업중단 로스를 의미하며 비계획 로스는 작업대기, 결근/조퇴/지각, 비정기적 교육이나 회의와 행사, 설비고장, 작업준비, 품종교체로 인한 로스를 의미한다. 성과

Table 7 Classification of man-hour losses

Losses	Contents		Detail contents
Man-hour loss (management loss)	Non-production working hours	Planned working man-hour loss	Non-work by plan Planned training, Meetings, events, etc.
		Unplanned working man-hour loss	No material Waiting for work Material change(setup) Equipment break down
Performance man-hour loss (operator loss)	Operator performance loss		Unskilled loss LOB(line of balance) Loss Defects loss

공수로스(performance man-hour loss)는 작업자로 인한 성과에 대한 로스로 미숙련, 신입작업자, 작업 태만, 비표준작업, 재작업, 작업 편성 손실, 잠깐대기, 자재불량, 자재분실 등의 로스를 말한다. 공수로스는 측정이 가능하여 제조현장에서 작업일보에 입력(기록)이 가능하나 성과공수로는 시간의 측정의 어려움으로 인해 작업일보에 입력(기록)이 어려운 부문이 있다.

공수로스의 발생원인도 복합적 원인에 의해 발생하는 경우가 많다. 분석 방법으로 작업자, 원자재, 설비, 작업방법에서 단일 원인이 아닌 몇가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생하는 경우가 많으므로 4M에 의한 다차원적 분석을 하여 근본적인 문제해결을 하여야 한다.

4. FOM솔루션 활용 데이터 분석 방법

4.1 FOMs package

제조현장에서 가동률 데이터의 수집도 중요하지만 데이터를 활용하여 PQCD의 향상이나 공정 최적화를 이루는것이 더욱 중요할 수도 있다. 이를 위해서는 수집된 데이터를 분석 솔루션에 의해 체계적으로 분석할 수 있어야 한다.

FOMs솔루션은 데이터의 수집부터, 분석, 가시화, 활용까지 다양한 방법론의 제조공정 문제해결형의 분석솔루션이라고 할 수 있다. FOMs 패키지의 방법론은 정보화기술(IT), 운영의 기술(operation technology, OT), 자동화기술(automation technology, AT)이 융합된 융합기술(convergence technology, CT)이라고 하였다^[10].

FOMs package 구조는 제조현장의 4M data를 분석하기 위한 FOM data sets으로 전처리를 하는 FOM logic, 수집된 data 기반의 정보화 분석과 활용에 대한 FOM 솔루션과 process로 구성되어 있는 FOM system, 물류의 흐름에 대한 자동화 분석을 수행할 수 있는 CPS, 그리고 SW를 중심으로 디지로그 융합 교육을 수행하는 PBL로 구성되어 있다. FOMs는 4MIE(4M+energy)관점으

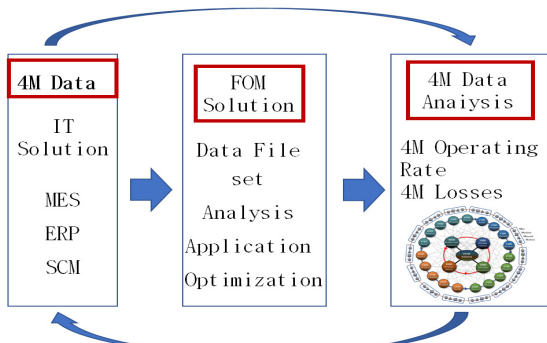


Fig. 7 FOM analysis method

로 제조현장을 진단하고 분석을 하여 정보화, 최적화, 자동화, 지능화로 제조 스마트화를 추진하는 지능형 신생산시스템(MI-NPS, meta intelligence new production system) 구축을 위한 방법론이다^[11].

4.2 FOM솔루션 데이터분석 방법

FOMs package에서 분석솔루션인 FOM은 제조현장에서 4M에 의한 문제해결과 생산성 최대화를 위한 분석 방법론이며, 제조현장을 진단하여 문제점을 도출하고 분석해서 문제 해결방법을 수행할 수 있는 솔루션이라고 하였다.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이 FOM 수행 프로세스를 보면 진단 => 분석 => 적용 => 유지관리 => 최적화의 단계로 구성되어 있다고 하였다. FOM의 이론적 사상은 TPM의 로스와 제조현장의 모든 비효율적인 낭비를 포함한 4M 분석 방법론이다. FOM은 공정의 흐름(flow)을 개선한다는 점에서 TPS(toyota production system)의 Lean사상과 일치한다. TPM 로스 개선으로 생산성을 향상하고 TPS의 낭비개선으로 공정의 최적화를 이루는 것이다.

FOM에서는 S/W 솔루션 ERP, MES, excel data 등에서 수집한 데이터를 연동하여 다양한 형태의 가동률을 나타내고 분석할 수 있다.

FOM 솔루션은 FOM 코드에 의한 분석, 다차원분석, 비교분석의 방법이 있다. FOM과 일반 IT 솔루션의 차이점은 FOM은 제조현장에서 수집되는 4M요인의 생산성, 비가동, 불량 등이 관련성으로 연결되어 디테일한 추적과 분석이 용이하다. Code management 분석기능과 세부추적분석 기능을 통해서 제조현장의 서로 관련적인 분석을 진행을 할 수 있으며 FOM의 비가동 요인 기능을 선택하여 작업자 실적률과 정확한 가동률을 나타내어 분석할 수 있으며 실제 생산에 영향을 주는 주요 요인들을 선택하여 비가동요인에 대한 원인분석을 할 수 있다.

FOM 솔루션의 기능은 일반관리기능, 상급관리기능, 비교분석기능, 알림기능의 4개의 생산능력(capacity)관리 기능과 data관리,

Table 8 Data-set for using FOM system

FOM management indicators(code number)						
	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Product volume	Total	Product	Machine	Worker	-	
	2000	2100	2200	2300	2400	2500
Downtime	Total	Product	Machine	Worker	Factor	
	3000	3100	3200	3300	3400	3500
Defect	Total	Product	Machine	Worker	Factor	
	4000	4100	4200	4300	4400	4500
Nonconformity	Total	Product	Machine	Worker	Factor	
Detail analysis contents						
Yearly	Monthly	Weekly	Daily			
Work : day/night, 8-hour, etc shift						
3-step setting scope : factory, production, line, production detail line						

실적정보관리의 2개의 데이터 관리 기능으로 구성되어 있다. 각각의 기능에 대해서는 FOM 코드관리에 따라 생산성, 비가동, 불량 3가지 항목에 대해 11가지 생산관리 지표와 60가지 세부생산관리 지표로 나누어서 분석을 진행할 수 있다^[10].

Table 8에 표시한 code number별 관리지표는 다음과 같다. 1000은 생산성 지표, 2000은 downtime에 대한 4M 분석지표, 3000은 defect지표로 종합적인 불량현황관리, 4000은 부적합관리 지표 등 11가지 FOM code number로 분류된 항목들은 년, 월, 주, 일, 교대, 분류되며 종합, 설비, 작업자별로 비가동현황과 불량현황이 분류되어 관리된다. 또한 11가지 생산관리지표와 60가지 세부생산관리지표에 대하여 트렌드, 막대그래프, 비교그래프 등 6가지의 다양한 그래프를 통하여 4M 다차원 복합분석이 가능하다.

가동률 데이터 활용 방법은 기업에서 MES, ERP, excel 등으로 수집한 데이터를 FOM으로 연동하여 생산계획과 생산량의 데이터를 활용하여 performance에 의한 가동률을 산출할 수 있으며 가동률과 비가동률을 4M에 의해 데이터를 구하고 분석할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 제조현장에서 발생하는 로스를 분석하여 구조화 하였으며 이를 기반으로 제조기업에서 가동률을 효과적으로 측정하기 위한 가동률지표 모형을 산출하였고 데이터의 분석방법으로 FOM솔루션을 제시하였다.

먼저 로스의 구조와 분석에서 설비효율성의 TPM로스를 가동률 산출 방식에 따라 구분하였으며 major로스에 대해 개선 point를 제시하였다. 관리부문에서 발생하는 management로스를 가동률과 연계하여 분석하였으며 로스의 분석방법에 따라 4M로스 및 만

성적 로스와 돌발적 로스로 구분하여 분석하였다.

다음으로 대부분의 제조기업에서 가동률 데이터의 지표로 적용하고 있는 설비종합효율(OEE)에 대한 이론과 실무적인 면에서 데이터의 수집과 분석 및 활용상의 문제점에 대해 파악하였다. 이를 기반으로 설비종합효율을 개선하여 기업에서 효과적으로 활용할 수 있는 맞춤형 가동률관리를 위한 지표 모형을 산출하였고, 작업자의 직접 작업에 의한 수작업에 대해서도 공수효율(man-hour)관리를 위한 공수효율 지표(HME) 모형을 산출하였다. 공수효율 측정방법은 시간에 의한 실공수율과 성과에 의한 성과공수효율의 측정을 제안하였으며, 특징은 관리에 의한 로스와 작업자에 의한 로스로 구분하여 작업자와 관리자가 함께 노력하여 공수효율을 올리는 방안을 제안하였다.

수집된 데이터의 분석방법론으로는 FOMs 패키지에서 4M변화 관리의 분석솔루션으로 특화된 FOM 솔루션을 제시하였다. FOMs 패키지의 CPS(cyber physical system)분석 방법론은 설비와 작업자의 최적화된 layout, 공정흐름의 분석으로 lead time단축, 병목공정 개선 등을 위한 솔루션도 함께 활용할 수 있지만 본 연구에서는 가동률로 한정하여 4M변화관리의 다중분석 방법론인 FOM솔루션의 활용을 제안하였다. FOM솔루션으로 4M에 의한 가동률 데이터와 다차원분석이 가능하다.

후 기

이 (성과물)은 중소벤처기업부 ‘중소기업연구인력지원사업’의 재원으로 한국산학협협회(AURI)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2022년 기업연계형연구개발인력양성사업, 과제번호: S3282285).

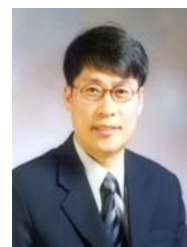
References

- [1] Choi, S. W., 2012, Development and Implementation of Chain Metrics for Obtaining Lean Overall Equipment Effectiveness Using Availability Measures, *Journal of Korea Safety Management & Science*, 14:2 147-158, <https://doi.org/10.12812/ksms.2012.14.2.147>.
- [2] 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, <https://doi.org/10.32956/kaoca.2018.16.1.43>.
- [3] Park, K. C., Chung, H. Y., 2021, A Study on the Demonstration of Quality Circle on TPM Performance, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 22:12 390-396, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.390>.
- [4] Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S., 2008, Total Productive Maintenance : Literature Review and Directions, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, 25:7 709-756, <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>.
- [5] Kwon, O. U., 2005, New Methodology for Measuring Equipment Performance and Managerial Effect in TPM., Doctoral Dissertation, Korea University, Republic of Korea.
- [6] Kwon, O. U., Lee, H. C., 2003, A Study on the Improvement Countermeasures for the Equipment Productivity and Efficiency Based on the Equipment Loss Structures, *Journal of The Korean Institute of Plant Engineering*, 8:3 1-24.
- [7] Bengtsson, M., Alm, P., Tjulin, B., 2022, Visualizing the Effects of Chronic Versus Sporadic Losses in Manufacturing Industries- A Case Study, *SPS2022: Proceedings of the 10th Swedish Production Symposium*, 21 3-14, <https://doi.org/10.3233/ATDE220121>.
- [8] Park, K. C., 2022, A Study on the Effect of TPM Activity Factors on the Comprehensive Facility Efficiency, Doctoral Dissertation, Jeonju University, Republic of Korea.
- [9] Lee, M. H., Lim, S. M., 2010, A Study on an Equipment Performance Measurement System for Effective Bottleneck Management, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 33:4 100-113.
- [10] 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>.
- [11] Jang, J. H., Kim, S. R., Kim, J. H., Bae, B. S., Kim, S. Y., 2022, Improved Reliability of Manufacturing Process Data Using FOMs(smart-Factory Operation Management) Solution, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 31:3 216-223, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2022.31.3.216>.



Kyu Hwan Roh

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: ghroh@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