

생산제품의 재질과 공법을 감안한 설비 및 종합효율 측정 방법

배재호[†]

혜천대학교 물류유통정보과

Measurement of Overall Equipment Effectiveness Considering Processing Materials and Methods

Jae-Ho Bae[†]

Dept. of Logistics and Distribution Information, Hyecheon University

Abstract

This paper presents a method for calculating the overall equipment effectiveness (OEE), which is one of the most effective key performance indicator (KPI) to measure the productivity and quality levels of an equipment-centric manufacturing company. OEE is the most representative time-related KPI. For ease of measurement, OEE is calculated on the basis of the quantity of the processing materials and theoretical cycle time instead of using time-related sub-indicators. Hence, setting up theoretical cycle times is the most important aspect of the OEE measurement. Although processing materials and methods are very important in setting up a cycle time, they have not been extensively considered for setting up theoretical cycle times in previous research. Through an analysis of actual cycle times from real data, this paper shows that the relationship between the processing materials and methods and the theoretical cycle times is significant. Accordingly, this paper proposes that the theoretical cycle times can be determined on the basis of manufacturing item groups, which are classified as processing materials and methods. This paper also shows that there is a marked difference between the results of the OEE measured by the existing method and the proposed one. The proposed method will be helpful in measuring the performance of real manufacturing fields clearly and will be widely applicable to various industries.

Keywords : Overall Equipment Effectiveness (OEE), Key Performance Indicator (KPI), Theoretical Cycle Times, Difference based on processing materials and methods

1. 서 론

점차 극심해지고 있는 글로벌 경쟁 환경 속에서 현대

제조업의 생산성과 품질의 향상은 더 이상 선택사항이 아니라 필수사항이 되고 있다. 더구나 제조업이 국가경제의 중요한 한 축을 담당하고 있는 우리나라의 경우

[†] 연락저자 : 배재호, 302-715 대전시 서구 복수동 333 혜천대학 물류유통정보과

Tel : 042-580-6403, E-mail : jhbae@hu.ac.kr

2011년 7월 접수, 2011년 8월 게재 확정

생산성과 품질의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 특히 품질 특성치의 측정은 그 대상이나 방법이 비교적 명확하며 단순한데 반해 생산성의 측정은 제조업의 중요한 과제 중의 하나로 인식되어왔으나 대상과 방법이 상대적으로 모호하여, 이에 대한 다양한 생산성 제고 및 최적화 방안이 모색되어 왔다[3]. 한편 제조업의 생산 환경은 노동력 의존 구도에서 생산설비의 현대화 및 자동화, 생력화(省力化) 등의 결과로 설비의 의존 구도로 급격히 변화되어 왔다. 이에 따라 제조기업의 생산성은 생산설비가 얼마나 효율적으로 활용되는가에 더욱 직결되고 있다[1]. 1980년대 Nakajima에 의해 TPM(Total Productive Maintenance)이 주창된 이후[9], 설비의 최대 활용을 목표로 하는 생산성 제고 노력이 성공적으로 정착되고 있는 듯하다. 해당 설비가 마땅히 해야 할 것으로 기대되는 일을 수행한 정도를 측정하는 일종의 종합 설비성과(Total Equipment Performance)로 정의되는 설비종합효율(OEE: Overall Equipment Effectiveness)[18]은 특히 반도체 산업이나 장치사업 등의 거의 모든 업종에서 가장 중요한 지표 중 하나로 관리되고 있다[3]. 설비종합효율은 TPM의 기본사상이라 할 수 있는 설비의 최대 능력 발휘 정도를 측정하는 지표로, 설비 가동시간과 속도 및 양품생산량을 기반으로 계산된다. 또한 설비종합효율은 제조업에서의 생산성과 품질수준을 가장 유용하게 측정하는 지표 중 하나로 평가되고 있는데 설비종합효율이 설비가동시간과 속도, 양품생산량 등의 다양한 생산 특성을 하나로 통합한 지표로서[8], 기업운영의 성과를 종합적으로 시각화하여 전달하는 장점이 있기 때문이다.

기업의 성과지표는 전략과 연계되어야 하며, 적절한 시점에 활용할 수 있어야 하고 쉽게 측정하고 수치화될 수 있어야 한다[17]. 또한 성과지표가 그 역할을 명확히하기 위해서는 정확한 측정이 선행되어야 할 것이다. 하지만 설비종합효율은 많은 장점에도 불구하고, 설

구분하였다[5]. 만성적 로스의 경우 동시에 다양한 원인에 의해 발생되며, 비교적 정상상태에서 벗어나는 수준이 작거나 숨겨져 있다. 반면 돌발적 로스는 급작스럽

비가동속도 측정 등의 일부 구성 항목에 관련된 데이터 측정이 용이하지 않다는 단점이 존재하고 있다. 이를 해결하기 위하여 현장에서는 측정이 어려운 항목을 단순화하거나, 측정이 용이한 항목으로 대체하여 적용하고 있는 것이 일반적이다. 그러나 현장에서 널리 활용되고 있는 지표의 구성항목에 대한 단순화나 대체의 결과가 경우에 따라 의도하지 않은 현상을 보이는 경우도 발생하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 설비종합효율 측정에서 유의하여야 할 점을 확인하고, 이로 인해 발생하는 문제를 실제 사례를 통해 확인하고자 한다. 본 논문의 2장에서는 설비종합효율에 대한 선행 연구와 구성 및 현장에서 일반적으로 수행되는 단순화나 대체의 사례를 확인하고, 3장에서는 실제 현장에서 발생하는 문제를 실제 사례를 통해 확인한다. 또한 4장에서는 결론으로서 설비종합효율 적용 업종에 따른 유의사항을 확인하도록 한다.

2. 설비종합효율 및 구성항목 대체

2.1 설비종합효율의 구성

투입과 산출에 관한 정의인 생산성에 대한 개념이 경제학 분야에서 처음 언급된 이래[12], 다양한 환경에서 경제적 성과를 나타내는 유용한 방법으로 활용되어 왔다. 이후 생산성의 개념은 다양한 관점에서 해석되고 연구되어 왔으며, 경제적 생산 활동을 통제하는 기본 요소 중 가장 중요한 것으로 평가되고 있다[15]. 제조업에서 설비의 생산성을 가장 효과적으로 측정하는 방법으로 알려져 있는 설비종합효율은 설비운영효율을 감소시키는 로스 요인을 규명하기 위해 고안되었다[8]. 로스 요인은 설비가 활용되지만 가치를 생성하지 못하는 행위들로, Jonsson과 Lesshammar는 만성적 로스(chronic disturbances)와 돌발적 로스(sporadic disturbances)로

게 발생되어 그 상황이 보다 명확하고, 정상상태에서 벗어나는 수준이 크다. Nakajima는 설비 전반의 효율을 향상시키기 위하여 6대 로스를 제거하는 Bottom-up 방

식의 접근 방식은 제안하였으며[9], Pintelon 등은 6대 로스를 사례를 통해 보다 체계적으로 정리한 바 있다 [11]. Pintelon 등은 작업에 설비가 동원된 부하시간 (Loading time, L)을 대상으로 발생할 수 있는 로스를 정지로스(Down time losses, T_L)와 성능로스(Speed losses, S_L), 품질로스(Quality/Defect losses, D_L) 등으로 구분하였다. 또한 정지로스는 설비고장(Equipment Failure)과 작업 간 발생하는 설비조정(Setup & Adjustment) 등으로 구분하였으며, 성능로스는 설비가 본래 설계된 성능을 최대로 발휘하지 못한 로스로 순간 정지(Idleing & minor stoppage)와 속도저하(Reduced speed) 등으로 구분하였다. 품질로스는 불량처리(Defects in process)와 수율저하(Reduced yield) 등으로 구분하였다. 설비가 작업에 동원된 부하시간에서 정지로스를 제외하여 실제 생산에 활용된 시간을 가동시간(Operating time, O)이라고 정의하고, 가동시간 중 실제 설비가 설계된 최대 속도로 생산에 활용되지 못한 로스를 배제한 시간을 정미가동시간(Net operating time, N), 품질상의 이상으로 발생한 시간을 배제한 실제 생산한 양품생산에 투입된 시간을 가치가동시간(Valuable operating time, V)으로 정의한다. 다음의 [그림 1]은 이러한ロス 구조를 도식화 한 것이다.

설비종합효율(OEE : Overall equipment effectiveness)

은 설비가 얼마나 가동되었는지를 나타내는 시간가동율(Availability Rate, A)과 가동 중 보유 성능이 얼마나 발휘되었는지를 보여주는 성능가동율(Performance Efficiency, P), 생산시간 중 양품생산에 소요된 시간을 나타내는 양품생산율(Quality Rate, Q)의 곱으로 정의된다.

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$

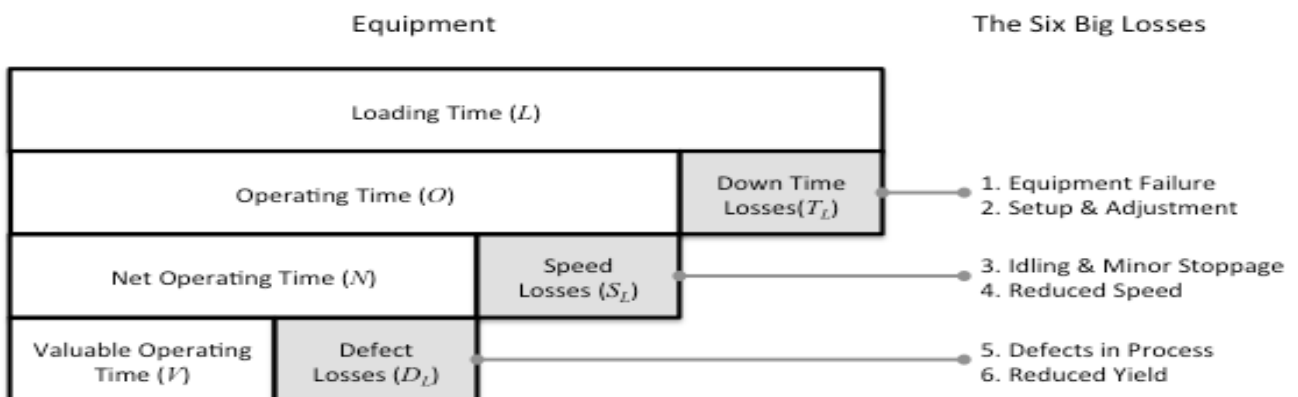
$$A = \frac{O}{L} = \frac{L - T_L}{L} \quad (2)$$

$$P = \frac{N}{O} = \frac{O - S_L}{O} \quad (3)$$

$$Q = \frac{V}{N} = \frac{N - D_L}{N} \quad (4)$$

즉 설비종합효율은 설비에 작업이 부여된 부하시간과 양품생산에 설비가 발휘할 수 있는 최대속도로 진행한 시간의 비율로 정의될 수 있는데, 이에 따라 식 (1)을 다시 정리해 보면 다음의 식 (5)와 같다.

$$OEE = A \times P \times Q = \frac{O}{L} \times \frac{N}{O} \times \frac{V}{N} = \frac{V}{L} = \frac{L - T_L - S_L - D_L}{L} \quad (5)$$



[그림 1] 설비시간과 6대 로스.

2.2 설비종합효율 구성항목의 대체

[그림 1]에서 보는 바와 같이 설비종합효율은 설비시간에 대한 정의이다. 하지만 현실적으로 설비종합효율의

중요한 계산 요소는 측정에서의해 산출되기 어렵다는 문제가 있는데, 성능가동율(O)을 계산하기 위해 계산하게 되는 속도로스(S_L)는 순간정지나 속도저하 등으로 구성되어있다. 현장의 계측장비의 발전으로 순간정지는 해당 시간을 철저히 계산할 수 있으나, 속도저하는 실시간 측정이 여의치 않다. 또한 양품생산율(Q)을 계산하기 위해 사용되는 품질로스(D_L)는 양품생산에 설비가 최대 속도로 가동되었을 때의 소요시간을 활용해야 하므로 실시간 측정이 여의치 않다. 따라서 현장에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 시간보다 측정이 용이한 생산량과 설비가 최대로 발휘할 수 있는 성능 하에서의 이론적 단위 생산시간(Theoretical cycle time, CT)을 활용하여 단순화하여 적용하게 된다. 다음의 식 (6)과 (7)은 이론적 단위생산시간(CT)과 총 생산량(Total Production Quantity, P_T), 양품생산량(Total Good Production Quantity, P_G)을 통해 식 (3)과 (4)를 실시간 측정이 용이한 형태로 전환한 것이다.

$$P = \frac{N}{O} = \frac{CT \times P_T}{O} \quad (6)$$

$$Q = \frac{V}{N} = \frac{CT \times P_G}{CT \times P_T} = \frac{P_G}{P_T} \quad (7)$$

즉 다음의 식 (8)과 (9)처럼 정미가동시간은 이론 단위생산시간과 총생산량의 곱으로, 가치가동시간은 이론 단위생산시간과 양품생산량의 곱으로 대체하게 된다.

$$N = CT \times P_T \quad (8)$$

$$V = CT \times P_G \quad (9)$$

실제 이러한 식의 대체는 매우 적절하다고 할 수 있는데, 연속형 데이터인 속도로스를 실시간으로 측정하는 것이 매우 어려운데 반해 생산량은 취합이 매우 용이하기 때문이다. 따라서 이와 같은 식의 대체는 현장에서 설비종합효율 측정에 널리 활용되고 있으며 실시간 측정의 용이성을 제고하는데 크게 기여하고 있다. 또한 이

론적 단위 생산시간을 활용한 단순화는 설비종합효율 산출에도 도움이 되는데, 식 (5)는 다음과 같이 식 (10)으로 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} OEE &= A \times P \times Q \\ &= \frac{O}{L} \times \frac{CT \times P_T}{O} \times \frac{CT \times P_G}{CT \times P_T} \\ &= \frac{CT \times P_G}{L} \end{aligned} \quad (10)$$

설비종합효율 산출에서 부하시간과 양품생산량은 비교적 쉽고 용이하게 측정할 수 있으므로, 결국 해당 지표의 측정은 이론적 단위 생산시간 설정문제로 귀결된다. 설비종합효율은 제조업체의 생산성과 품질수준을 종합적으로 평가할 수 있으며, 지표 계산이 비교적 손쉽기 때문에 가장 널리 활용되고 있는 지표 중 하나이다[16]. 이에 따라 설비종합효율을 모델로 다양한 보완 연구가 진행되어 왔다. 설비종합효율을 보완한 연구는 대체로 설비단위 지표로서의 측정 수준을 보완하고자 하는 연구와 공장 수준의 효율 측정 지표로 확대하고자 하는 연구로 구분할 수 있다. 전자의 경우는 대체로 정지로스, 성능로스, 품질로스 등을 보다 상세히 구분하는 방식으로 진행되어 왔다. 대표적인 예로는 종합계획시간 구간(Total planned time horizon)에 계획휴지시간(Planned downtime)을 포함시켜 공무활동의 주 목표인 비계획휴지시간(Unplanned shutdown or technical downtime)을 최소화하기 위하여 Ivancic 등이 제안한 TEEP(Total Equipment Effectiveness Performance)[4]와 설비종합효율을 구성하는 요소에 가중치를 적용하도록 하여 단속생산공정(Discrete-type production operation)과 연속생산공정(Continuous process operation)을 구분/적용할 수 있도록 설계한 Raouf 등이 제기한 PEE(Production equipment effectiveness) 등을 들 수 있다[13].

한편 설비종합효율은 매우 효율적이며 유효한 지표이기는 하지만 개별설비의 생산성 활동에만 제한된다는 문제가 있으며[3], 실제 현장에서는 고립된 설비를 찾기 어렵기 때문에 적용상의 한계가 존재한다[14]는 등의 지적에 따라 후자와 같이 적용 수준을 공장 전체로 확장하고자 하는 다양한 연구들이 진행되어 왔다. Scott와 Pisa는 생산공정에서 수반되는 다수의 행위나 정보를 통

합하기 위하여 OFE(Overall Factory Effectiveness)를 제안하였다[14]. OFE는 서로 다른 기계나 공정 간의 행위나 연관관계를 결합하거나, 서로 독립된 시스템이나 하위 시스템 간의 정보나 결정사항 및 조치들을 통합하는 행위에 대한 정의[10]로 라인 밸런싱이나 작업순서 최적화를 목적으로 주로 활용되어 왔다[18]. 또한 이와 유사한 개념으로는 OFE(Overall factory effectiveness) / OPE (Overall plant effectiveness)나 OTE(Overall throughput effectiveness) 등이 제기되었다[8].

3. 재질 및 공법의 차이를 반영한 설비종합효율 계산

3.1 재질 및 공법에 따른 차이 반영의 필요성

앞에서 살펴 본 바와 같이 설비종합효율에 대한 많은 연구들이 있어 왔는데, 대부분의 연구들은 단일품종을 생산하는 프로세스 산업을 대상으로 분석이 진행되어 설비종합효율 산정에 중요한 요소가 되는 이론적 단위 생산시간을 하나로 가정한 경우가 일반적이었다. 그러나 현실적으로 동일 생산라인에서 생산되는 품목은 재질이나 공법에 따라 하나의 이론적 단위생산시간을 적용하기 어려운 경우가 많다. 다음의 <표 1>의 경우와 같이 두 개의 품목을 생산하는 설비를 가정할 때, 일반적으로 현장에서 적용하는 식 (7)에 따라 양품생산율을 계산하면 93.1%가 된다. 이는 제품의 생산량만 감안한 결과이다. 만일 생산한 두 개의 품목이 재질이나 공법에 따라 단위생산시간에 차이가 있다면 결과는 조금 달라질 수 있다. 즉 설비종합효율에서의 양품생산율이 시간의 개념에서 정의되었다는 것을 감안한다면, 제품 한 단위를 생산하는데 소요되는 절대 시간이 달라진다면 품목별 양품생산율의 가중치가 달라지는 것이 적절할 것이다. 이에 따라 두 품목의 단위생산시간을 가중치로 전체 양품생산율을 계산하면 92.3%가 되어, 식 (7)을 적용한 결과와 지표의 값이 달라진다.

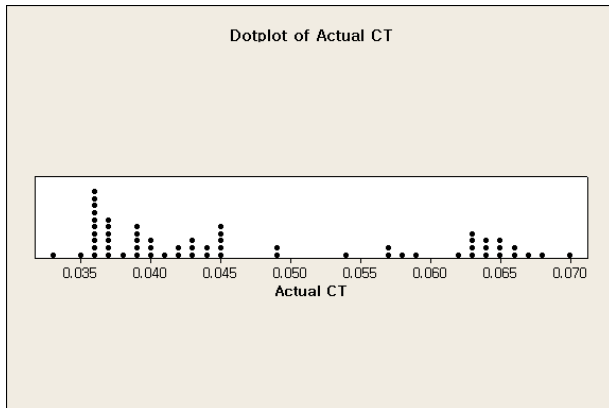
<표 1> 복수 품목의 양품생산율 계산자료 예시

품목	총생산량 P_T (KG)	양품량 P_G (KG)	이론 단위생산시간 CT (Min./KG)
품목 1	31,233	27,835	0.24
품목 2	37,912	36,516	0.16

생산설비의 설비종합효율의 계산을 위하여 복수의 이론 단위생산시간 적용이 필요하다면, 몇 개의 이론 단위 생산시간을 설정하느냐는 중요한 문제가 된다. 해당 설비에서 생산되는 제품의 재질이나 공법이 동일하다면, 설비 성능의 향상을 위하여 단일한 이론 단위생산시간을 설정하는 것이 합리적임을 명확하다. 그러나 실제로는 단일 설비에서 여러 재질이나 공법을 활용한 생산이 빈번한데, 이러한 경우 이론 단위생산시간을 하나로 설정하는 것은 정확한 지표 측정에 문제가 될 우려가 있다. 실제 현장에서는 특정 제품의 생산을 꺼리는 경우가 종종 발생하는데, 특정 제품 생산 시 지표값이 떨어지게 되어 좋지 않은 평가를 받기 때문이다. 생산 부문에 성과지표를 적용하는 궁극적 목적이 생산성과를 향상하기 위한 것이고, 설비종합효율이 생산성과 품질성과를 제고하기 위한 것임을 감안할 때 현실을 감안한 지표의 명확한 측정이 매우 중요하다. 이를 확인하기 위해서 본 연구에서는 실제 기업의 사례를 통해 문제를 확인해 보도록 한다.

3.2 제조기업의 실제 데이터 분석

다음의 [그림 2]는 다양한 재질과 공법을 통해 여러 제품을 생산하고 있는 포장용 필름 생산업체의 과거 1개월간 생산실적을 기반으로 실제 단위생산시간을 계산하고 이를 점도표(dotplot)로 도시화 한 것이다. 대상 기업은 화학업종으로 비교적 배치(Batch)의 크기가 크고 작업 변경이 적으며, 생산 제품의 품종 수는 매우 많지만 단위생산시간 산출에 중요한 영향을 미치는 재질이나 공법은 단순하다는 특징이 있다.



[그림 2] 실제 단위생산시간의 점도표(Dotplot).

[그림 2]의 실제 단위 생산시간은 과거 1개월간 수행된 63건의 수행 작업의 작업시간을 해당 작업기간 동안의 생산량을 나눈 실제 단위생산시간을 도시화한 것으로, 그 차이가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 대상기업의 작업 담당자들은 생산되는 제품의 재질과 공법을 감안하여 세 종류로 제품군을 구분하고 있었다. 다음의 <표 2>는 분석 기간 동안의 생산실적을 작업 담당자가 정의한 제품군에 따라 실제 단위생산시간의 통계적 특성을 정리한 것이다. 실제 현장 작업자들은 비교적 작업 속도가 빠른 Group C의 생산을 매우 선호하였으며, 생산이 까다롭고 속도가 낮은 Group A의 제품 생산을 기피하고 있는 현실이다.

<표 2> 제품군별 CT의 통계 특성

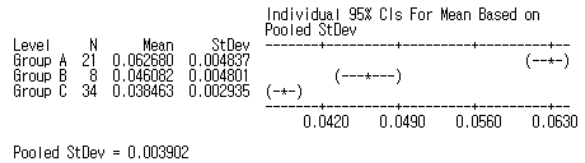
제품군	Group A	Group B	Group C
작업 건수	21	8	34
평균	0.06268	0.04608	0.03846
표준편차	0.00484	0.00480	0.00294
최소값	0.04913	0.04126	0.03300
최대값	0.06998	0.05671	0.04492

실제로 분석대상인 3개의 제품군은 ANOVA 분석결과 명확히 다른 특성을 가지고 있음이 유의함을 확인할 수 있었다([그림 3]). [그림 4]는 실제 단위생산시간의 상자그림을 도시화한 것으로, 시각적으로도 단위생산시간이 제품군별로 유의함을 확인할 수 있었다.

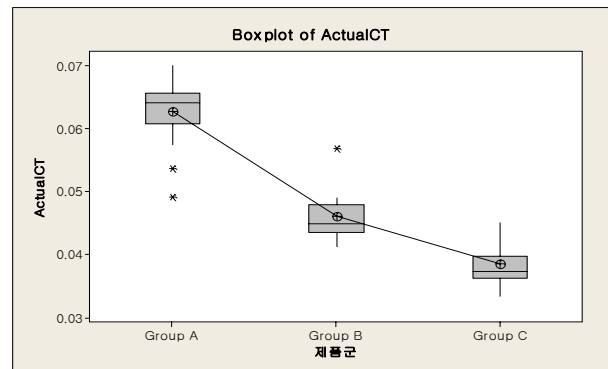
One-way ANOVA: ActualCT versus 제품군

Source	DF	SS	MS	F	P
제품군	2	0.0076319	0.0038159	250.61	0.000
Error	60	0.0009136	0.0000152		
Total	62	0.0085454			

S = 0.003902 R-Sq = 89.31% R-Sq(adj) = 88.95%



[그림 3] ANOVA 수행 결과.



[그림 4] 실제 단위생산시간의 상자그림 (Boxplot).

실제 분석대상 기업의 경우 설비종합효율 산정을 위한 이론 단위생산시간의 설정에 많은 어려움을 겪고 있었는데, 이는 생산하는 제품에 따라 현장에서 체감하는 생산시간의 차이가 매우 큼에도 불구하고 관리 부문에서는 단일한 이론 단위생산시간을 적용하고자 했기 때문이었다. 앞에서 간략히 살펴본 바와 같이, 실제 작업 실적을 기반으로 살펴 볼 때 생산하는 제품들의 단위생산시간은 실제로도 다르게 설정하는 것이 적절함을 알 수 있다. 물론 생산되는 품목의 최적화가 부족한 신규 품목 등은 실적으로만 판단하기에 무리가 될 수 있으나, 분석대상 품목은 대상기업에서 오랜 기간 지속적으로 생산하여 왔으므로 이론 단위생산시간 또한 구분하여 관리하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 과거 생산 실적을 근거로 재질과 공법에 따라 제품군을 분류하고 제품군에 따라 별도의 이론 단위생산시간을 적용하여 설비종합효율을 계산하였다.

3.3 실제 데이터 분석결과 및 개선 방법의 제안

앞에서 대상기업의 경우 생산되는 제품의 재질이나 공법에 따라 생산에 소요되는 시간이 실제로 유의함을 보였다. 따라서 제품의 재질이나 공법에 따른 단위생산 시간이 차이가 유의할 경우, 앞에서 언급한 바 있는 성능가동율과 양품생산율을 계산하는 식 (6)과 (7)은 재질이나 공법의 차이가 유의한 제품군별로 집계되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 식 (6)과 (7)을 다음의 식 (11)과 (12)로 수정해야 하며, 정미가동시간과 가치가동시간을 계산하는 식 (8)과 (9)도 다음의 식 (13)과 (14)로 수정하기로 한다.

$$P = \frac{N}{O} \quad (11)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (CT_i \times P_{iT})}{O}$$

$$Q = \frac{V}{N} \quad (12)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (CT_i \times P_{iG})}{\sum_{i=1}^n (CT_i \times P_{iT})}$$

$$N = \sum_{i=1}^n (CT_i \times P_{iT}) \quad (13)$$

$$V = \sum_{i=1}^n (CT_i \times P_{iG}) \quad (14)$$

단, $i = 1 \cdots n$ (제품군의 수).

분석 대상기업의 경우 과거 설비종합효율 계산을 위해 활용한 이론 단위생산시간은 생산속도가 가장 빠른 품목을 기준으로 0.030 (min/kg)으로 설정되어 있었으나, 본 연구에서는 제품의 재질이나 공법에 따라 각각 품목 Group A의 경우는 0.048 (min/kg), Group B의 경우는 0.040 (min/kg)로 정의하였으며, 생산속도가 가장 빠른 품목군인 Group C는 과거와 동일한 0.030 (min/kg)으로 설정하였다. 이에 따라 생산제품의 재질이나 공법에 관계없이 설비자체의 설계 기준만을 고려한 단일 이론단위생산시간을 적용한 기존 방법에 따라 설비종합효율을 계산한 경우 (Case 1)와 생산제품의 재질과 공법의 차

이를 반영하여 복수 이론단위생산시간을 적용한 경우 (Case 2)의 설비 종합효율 계산결과를 다음의 <표 3>과 같이 정리하였다. 부하시간(L)과 정지로스(T_L) 및 이를 활용해 계산이 용이한 가동시간(O)의 경우는 두 가지 모두 동일하게 활용되며, 총생산량(P_T)이나 양품생산량(P_G) 및 재질 및 공법과 관련이 있는 이론 단위생산시간(CT)은 Case 1의 경우는 하나의 값으로 정의하고 Case 2의 경우는 제품군에 따라 측정하였다. 이에 따라 현실적으로 측정이 어려운 정미가동시간(N)과 가치가동시간(V)은 각각 식(8)과 (9), 식 (13)과 (14)를 활용하여 계산하였다.

<표 3> 재질 및 공법 반영에 따른 이론단위 생산시간 비교

구분	Case 1	Case 2	
L (min.)	86,481.000	86,481.000	
T_L (min.)	4,987.000	4,987.000	
O (min.)	81,494.000	81,494.000	
P_T (kg)	1,578,452.441	Group A	791,457.407
		Group B	473,464.110
		Group C	313,530.924
P_G (kg)	1,524,682.086	Group A	762,844.570
		Group B	455,816.635
		Group C	306,020.881
CT (min./kg)	0.030	Group A	0.048
		Group B	0.040
		Group C	0.030
N (min.)	47,353.573	Group A	37,989.956
		Group B	18,938.564
		Group C	9,405.928
V (min.)	45,740.463	Group A	36,616.540
		Group B	18,232.666
		Group C	9,180.626
A	0.9423	0.9423	
P	0.5811	0.8140	
Q	0.9659	0.9653	
OEE	0.5289	0.7404	

<표 3>에서 보는 바와 같이 두 경우의 설비종합효율은 매우 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 분석대상의 경우 단위생산시간이 가장 컸던 Group A의 생산량이 가장 많았기 때문에, 특히 성능가동율의 차이가 매우

커졌음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 제품별 수율의 차이가 클 경우라면 양품가동율의 차이가 커질 것으로 예측할 수 있다. 이상의 분석을 통하여 대상기업의 작업자들이 설비종합효율을 높이기 위하여 Group A 제품군의 작업을 회피했던 것에 근거가 있었음을 확인할 수 있었다. 앞에서 언급한 바와 같이 성과관리지표가 본래 목적을 달성하기 위해서는 전략과 연계되어야 하며, 시의적절해야하고, 쉽게 측정될 수 있으며 수치화 될 수 있어야 한다는 점을 감안할 때, 생산되는 제품의 특성을 감안하지 않을 경우 본연의 목적 수행에 문제가 발생하게 될 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 제조업의 성과를 측정하는 비재무적 성과지표 중 가장 효과적이며 널리 활용되고 있는 설비종합효율에서, 생산제품의 재질이나 공법의 반영이 타당함을 보였다. 대부분의 생산현장에서 설비종합효율은 측정상의 어려움으로 인해, 일부 항목이 이론 단위생산시간과 생산량(혹은 양품량)을 활용하는 방법으로 대체되고 있다. 따라서 이론 단위생산시간의 설정은 설비종합효율을 결정하는 가장 중요한 항목임에도 불구하고, 많은 기존 연구에서는 간과되고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서 제시한 바와 같이 일부 산업을 제외하고 대부분의 현장에서 하나의 설비에서 생산되는 제품의 재질이나 공법이 다양함을 감안할 때, 제품의 재질이나 공법에 따라 이론 단위생산시간이 다르게 적용되는 것이 적합할 것이다.

이에 본 연구에서는 실제 데이터를 기반으로 재질 및 공법에 따라 분류된 제품군에 따라 작업소요 시간의 차이가 유의함을 보였으며, 이를 근거로 재질이나 공법에 따라 서로 다른 이론 단위생산시간을 적용하는 것이 합리적임을 제시하였다. 또한 제시한 방법에 따라 실제 데이터를 분석하고, 결과에 큰 차이가 발생하고 있으며 작업자의 작업 기피 현상이 이유 있음을 확인하였다. 따라서 생산제품의 재질이나 공법을 감안하지 않고 일괄적

으로 이론 단위생산시간을 설정하는 경우와 본 연구에서 제시한 생산제품의 재질이나 공법을 반영하여 이론 단위생산시간을 설정하는 경우는 그 차이가 매우 커서, 기존의 방식으로는 작업자의 불만해소 및 전략과의 일치 여부를 담보 할 수 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 설비종합효율이 모든 업종에 활용되기 위해서는 생산제품의 재질이나 공법에 따라 이론 단위생산시간을 구분해야 할 것이다.

그러나 이론 단위생산시간의 개수가 증가하게 되면, 성과지표 산출의 용이성이 떨어지며 유지/보수의 어려움이 증가한다는 단점이 발생하게 된다. 또한 생산제품의 숫자가 증가하게 되면 제품군별 분류가 용이치 않은데, 이에 대한 연구는 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Fleischer J., Weismann U. and Niggeschmidt S., "Calculation and optimisation model for costs and effects of availability relevant service elements", in Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE2006), Vol. 31, pp. 675 - 680, 2006.
- [2] Ghalayini A. M, Noble J. S. and Crowe T. C., "An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness", International Journal of Production Economics, Vol. 48, pp. 207-25, 1997.
- [3] Huang S. H, Dismukes J. P., Shi J., Su Q, Razzak M. A., Bodhale R. and Robinson D. E., "Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis", International journal of production research, Vol. 41, No. 3, pp. 513 - 527, 2003.
- [4] Ivancic I., "Development of Maintenance in Modern Production", Euromaintenance '98 Conference Proceedings, CRO, 1998
- [5] Jonsson P. and Lesshammar M., "Evaluation and

- improvement of manufacturing performance measurement systems—the role of OEE,” *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19, pp. 55 - 78, 1999.
- [6] Kaplan R. S. and Cooper R., *Cost and Effect - Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*, HBS Press, Boston, MA., 1998.
- [7] Maskell B., *Performance Measurement for World Class Manufacturing: A Model for American Companies*, Productivity Press, Cambridge, MA. 1991.
- [8] Muchiri P. and Pintelon L., “Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion”, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 13, pp. 3517 - 3535, 2008.
- [9] Nakajima S., “Introduction to TPM: Total Productive Maintenance”, Productivity Press, Inc., pp. 129, 1988.
- [10] Oechser R., Pfeffer M., Pftzner L., Binder H., Muller E. and Vonderstrass T., “From Overall Equipment Effectiveness to Overall Fab Effectiveness (OFE)”, *Material Science in Semiconductor Processing*, Vol 5, Issue 4-5, pp 333-339, 2003.
- [11] Pintelon L., Gelders L. and Puyvelde F. V., *Maintenance Management*, Acco, Leuven, Belgium, 2000.
- [12] Quesnay, F., “Analyse de la formule arithmetique du tableau economique de la distribution des depenses annuelles d’une nation agricole”, *Journal de l’agriculture, du commerce & des finances*, pp. 11-41, 1766.
- [13] Raouf A., “Improving Capital Productivity Through Maintenance”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14, No. 7 pp. 44-52, 1994.
- [14] Scott D. and Pisa R., “Can Overall Factory Effectiveness Prolong Moore’s Law?”, *Solid State Technology*, Vol 41, No 3, pp. 75-82, 1998.
- [15] Singh H., Motwani J., Kumar A., “A review and analysis of the state of the art research on productivity measurement”, *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 100 No. 5, pp. 234-241, 2000.
- [16] Tangen S., “An overview of frequently used performance measures”, *Work study*, Vol. 52, No. 7, pp. 347 - 354, 2003.
- [17] Tangen S., “A theoretical foundation for productivity measurement and improvement of automatic assembly systems”, *Licentiate thesis*, The Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002.
- [18] Williamson R.M., *Using Overall Equipment Effectiveness: the Metric and the Measures*, Strategic Work Systems, Inc. Columbus, 2006.