

# 병목 설비의 개선 활동에 유용한 설비관리 지표체계에 관한 연구

이민호\* · 임성묵\*\*†

\*S&C 컨설팅

\*\*고려대학교 경상대학 경영학부

## A Study on an Equipment Performance Measurement System for Effective Bottleneck Management

Min Ho Lee\* · Sungmook Lim\*\*†

\*S&C Consulting

\*\*Division of Business Administration, College of Business and Economics, Korea University

Manufacturing companies' cost competitiveness with respect to equipment management can be achieved by satisfying additional market demands by their own capacity without purchasing additional equipments. In essence, it can be accomplished by making continuous investigation into bottlenecks and improvement on them. Therefore, equipment performance measure systems should be designed so that they can support manufacturing companies' such endeavors. With the purpose of establishing an effective equipment performance measurement system for detecting and improving bottlenecks, this study ① suggests some desirable features that such a system should have, ② evaluates conventional equipment performance measurement systems in terms of their usefulness for the detection and improvement of bottlenecks, and ③ proposes an improved system. We also perform a simulation experiment to demonstrate the limitations of the conventional systems and show how the proposed system can resolve the problems.

**Keywords :** Bottleneck, Capacity, Equipment Performance Measurement, Operating Rate, Load Factor, Total Productive Maintenance, Overall Equipment Efficiency

### 1. 서 론

제조 기술의 첨단화와 대량 생산 체제의 요구 추세에 따라 생산 현장의 설비 의존도가 급격히 증가되어 왔으며 이러한 현상은 막대한 설비투자가 수반되어야 하는 기업의 입장에서 볼 때 원가 경쟁력을 약화시킬 수 있는 또 하나의 도전적 과제로 인식되고 있다[12, 17]. 설비 측면에서의 원가 경쟁력은 추가적인 시장의 수요를 추가적인 설비 구입 없이 자체 능력으로 충족하는 경우에 성취될 수 있으며, 이는 결국 병목(Bottleneck) 설비에 대한 지속적인 탐색과 개선을 통해 성취될 수

있을 것이다[2]. 이러한 점을 인식하고 있는 많은 기업들이 병목 설비의 생산성을 향상시키기 위한 다양한 혁신 방법론을 도입하여 활용하고 있는 바, 그 내용을 보면, ①설비 생산성을 측정할 수 있는 설비 관리 지표 체계를 설계(Design)하고 운영(Operation)하는 것과, ② 측정된 로스(Loss)들을 개선하기 위한 개별적 또는 조직적인 개선 활동으로 대별될 수 있다. 따라서 병목 설비의 개선 활동이 효과적으로 추진되기 위해서는 “설비 관리 지표체계”가 병목 설비의 탐색 및 개선 활동에 실제적으로 도움이 되도록 설계되고 운영되어야 함은 당연한 일일 것이다.

하지만 이에 반해 많은 기업의 현장에서 설비 지표 개선 성과와 기업 전체 경영 성과 간에 갭이 발생하고 있다. 또한 일선 현장에서 사용되고 있는 설비관리 지표체계가 가진 문제점들이 발견되는데, ① 가동률이라는 용어에 대한 의미의 혼선, ② 가동률(可動率)을 고려하는 설비관리 지표체계 및 운영 현장의 부재, ③ 제조 현장에서 실제로 사용되고 있는 설비관리 지표체계의 비표준성 등이 그것이다.

본 연구는 “병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 설비 지표”라는 관점을 유지하면서 다음과 같은 목적 하에 연구를 진행하였다. 첫째, 본 연구를 통해 병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 설비 지표 체계가 가져야 할 바람직한 모습을 설정해 보고자 한다. 둘째, 본 연구에서는 기존에 운영되고 있는 여러 가지 설비관리 지표체계 모형들이 병목 설비의 탐색과 개선 활동을 지원하는 기능을 수행하는 데 문제점은 없는지를 평가해 보고자 한다. 셋째, 본 연구에서는 병목 설비의 개선이라는 목적에 부합되는 새로운 설비관리 지표체계 모형을 제안함으로써 병목 설비의 개선이 필요한 현장에 도움이 되는 방법론을 제공하고자 한다.

연구의 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 연구 방법 및 절차를 적용하였다. 먼저 병목설비의 탐색과 개선 활동에 기여하는 설비 지표의 바람직한 모습을 설정한다. 다음으로 기존에 연구되었거나 현장에서 운영되고 있는 3가지 설비관리 지표체계를 비교대안 모형으로 선정한다. 다음 단계로, 각 대안 간의 정량적인 비교를 위해 설비 가동 상황에 대한 모의 데이터를 준비하고, 준비된 모의 데이터를 각각의 비교대안 모형에 적용하여 결과 수치를 산출한다. 마지막으로 비교 대안 모형 별로 바람직한 모습과의 개념적, 수치적 부합성을 평가하여 보다 적합한 설비지표 모형을 도출하도록 한다.

## 2. 문헌 연구 및 개념 정의

본 절에서는 설비관리에 관한 기존 문헌에 대한 검토와 함께 앞으로 전개할 연구모형의 논의를 용이하게 하기 위한 몇 가지 이론적 개념 및 용어를 소개하고자 한다. 특히, 기존 문헌에서 논의되어 온 병목의 개념과 중요성 그리고 탐색 방법에 대하여 살펴보고, 병목을 찾는 데 필요한 산술적 계산식에서 사용되는 가동률이라는 지표에 대해서도 검토한다.

### 2.1 설비관리 관련 기존 연구 검토

설비관리 및 그 성과지표체계에 관한 연구는 제조업

의 생산성 향상과 관련하여 지속적으로 연구되어온 주제이다. 최근 들어 이루어진 몇 가지 연구 성과를 살펴보면, 서영주[5]는 설비 생산성 향상을 위한 새로운 생산성 관리 지표에 관하여 연구하여 설비표준시간 단축을 관리 방법을 제안하였고, Kwon[20]와 조희중[11]은 TPM 활동의 성과를 측정할 수 있는 설비관리지표 체계를 개발한 바 있다. Weil[28]은 제조기업에서 설비 관리 방식을 최적화해야만 생산성이 극대화될 수 있음을 주장하였고, Wang and Lee[27]는 종합생산 설비 관리에서 학습 곡선이 어떤 형태로 나타나는가를 연구한 바 있다. 함효준[14]은 최신의 설비관리 이론과 기법을 수익성 실현의 관점에서 논의하였고, 김정대[2]는 제조기업의 설비관리 전략이 생산성 향상에 미치는 영향을 조사하여 제조기업에게 가장 유리한 설비관리 전략을 규명하려 하였다.

한편, 제조현장에서 주로 사용되고 있는 대표적인 설비관리 지표체계 모형으로 전사적생산성보전활동(Total Productive Maintenance, TPM)에서 정의된 설비종합효율(Overall Equipment Efficiency, OEE) 모형[19, 22, 26]이 있는데, 이 모형은 본 연구에서 제안하는 모형과의 직접적인 비교 대상이 되므로 제 3장에서 보다 자세히 살펴보기로 한다. TPM 및 OEE에 기반한 설비관리 지표에 대한 연구는 현재까지 광범위하게 이루어져 왔으며, 대표적으로 Shirose[23], Suzuki[24], Swanson[25], Demeter[18] 등을 들 수 있다.

제한적이거나 상기와 같이 살펴본 기존 연구들은 병목 설비에 대한 지속적인 탐색과 개선을 위한 설비관리 지표체계의 관점에서 부족한 면이 없지 않다. 즉, 가동률(可動率)을 고려하는 설비관리 지표체계에 대한 일관성있는 고려가 미흡하고, 병목의 탐색 및 개선에의 효과성을 구체적으로 검증하지 못하였다. 이는 기존의 설비관리 지표 체계가 병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 모형인지에 대해 재평가하고 이를 개선하는 모형을 수립할 필요가 있다는 것을 말해 주고 있다.

### 2.2 병목(Bottleneck)

병목이란 생산 시스템 내에서 정상적인 공정의 흐름을 제약하는 위치를 말한다. 생산 시스템에 주어지는 부하의 크기가 설비의 능력을 초과할 경우에 해당 설비는 병목이 되며, 이 경우 생산 시스템의 산출량은 병목의 능력에 의해 결정된다. 따라서 생산시스템 전체의 성과 향상을 위해서는 병목 자원의 탐색과 집중적인 개선 노력이 중요하며 이를 위해 상시적이고 효율적인 병목 탐색 활동이 이루어질 필요가 있다.

병목의 탐색을 위한 방법은 여러 가지 있으나 일반적

으로 ① 재공(WIP, Work In Process)의 적체 정도에 의해 판단하는 방법과 ② 산술적인 계산에 의해 판단하는 방법이 있다. 병목에서는 부하가 능력을 초과하므로 재공량이 증가하게 된다. 생산현장에서는 이러한 점에 착안해 표준 재공량 또는 목표 재공량을 설정하고 이를 초과하는 지점을 병목으로 판단하여 관리 노력을 집중화하는 방법을 운영하고 있다. 재공량을 통한 병목의 판단은 평균적이고 만성적인 병목 뿐 아니라 현재 시점에서의 순간적인 병목 위치를 판단하는데도 유용한 방법으로 인식되고 있다. 하지만 부하가 아직 현실화되지 않은 미래의 병목 설비를 예측할 때 또는 만성적인 병목이지만 이전 공정을 담당하는 설비의 돌발적인 문제로 인해 만성적인 병목에서의 재공량이 일시적으로 소진된 경우에는 충분한 병목 정보를 제공하는데 한계가 있음도 사실이다. 이에 비해 산술적인 계산에 의해 병목을 판단하는 방법은 재공량에 의한 방법이 가진 한계를 상당부분 보완할 수 있으나 반대로 재공량에 의해 병목을 탐색하는 방법이 제공하는 이점을 얻지 못할 수도 있다[8]. 따라서 현장에서는 위의 두 가지 방법을 병행하여 활용하는 것이 바람직하나, 본 연구의 관심사가 설비관리 지표임을 고려할 때 산술적인 계산에 의한 병목의 탐색에 관해 좀 더 살펴보기로 한다.

2.3 산술적 계산을 통한 병목의 탐색

병목은 부하가 능력을 초과하는 경우에 발생한다. 따라서 병목의 여부 판단을 위해서는 부하와 능력을 산출하고 이들을 서로 비교하는 행위가 필요하게 된다.

부하(負荷, Load)란 해당 설비가 단위 기간 중에 처리해야만 하는 일의 양을 의미한다. 이러한 부하는 단일 품종의 경우 수량으로 산출되어 표현될 수 있으나 다품종의 경우는 시간 등 수량 이외의 방법으로 산출되어 표현되어야 할 경우도 발생한다. 각각의 경우에 따라 산출방법은 달라질 수 있다(<표 1> 참조). 본 연구에서는 논의를 단순화하기 위하여 수량에 의한 부하 산출 방법을 사용하기로 한다. 수량으로 부하를 표현하는 경우 부하량은 해당 설비에 주어지는 생산 목표 수량을 양품률로 나눈 값과 같다.

능력(能力, Capacity)이란 해당 설비가 단위 기간 중에 처리해 낼 수 있는 것을 의미한다. 능력도 부하의 경우처럼

<표 1> 부하(Load) 산출(표현) 방법

방식	부하 산출식
수량 표현	생산 목표량/양품률
시간 표현	$\Sigma(\text{제품별생산목표량} \times \text{제품별표준가공시간})/\text{양품률}$

<표 2> 능력(Capacity) 산출(표현) 방법

방식	능력 산출식
수량 표현	$\frac{\text{설비대수} \times \text{조업시간} \times \text{가동률}}{\text{표준가공시간}}$
시간 표현	설비대수 × 조업시간 × 가동률

럼 단일 품종의 경우 수량으로 표현될 수 있으나 다품종의 경우는 시간 등 수량 이외의 방법으로 표현되어야 할 경우도 발생한다. 각각의 경우에 따라 산출방법은 달라질 수 있다(<표 2> 참조). 본 연구에서는 논의를 단순화하기 위하여 수량에 의한 능력 산출 방법을 사용하기로 한다. 수량으로 능력을 표현하는 경우, 능력은 일반적으로 조업시간과 보유 설비 대수에 가동률이라는 수치를 곱한 값을 표준가공시간으로 나누어 산출한다[9, 10].

병목 여부의 판단을 위해 부하와 능력을 비교하는 방법 중 하나로 부하율(負荷率, Load factor)이라는 지표를 사용하는 경우가 있다. 부하율은 부하의 크기를 능력의 크기로 나누어 산출하는데 부하율이 100%를 초과하는 설비의 경우 병목 설비로 판단할 수 있다. 부하율을 사용하면 단순히 병목인지의 여부를 판단하는데 도움이 될 뿐 아니라 병목의 심각성(크기) 정도를 알 수 있다는 장점이 있다. 즉 부하율이 110%인 경우 보다는 부하율이 120%인 경우가 병목의 심각성이 더 크며 더 큰 개선이 요구된다는 것을 알려주기 때문이다.

상기와 같은 병목 관련 산술 계산 과정을 살펴보면, 가동률이라는 설비관리 지표가 능력 산출 시 설비대수와 조업시간에 곱해지는 것을 발견할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가동률이라는 지표가 병목의 판단에 영향을 미치는 중요한 설비관리 지표임에 주목하고자 한다.

2.4 가동률

가동률의 사전적 의미를 살펴보면, 가동률은 설비를 완전히 가동했을 경우의 생산 능력에 대한 실제적 생산량의 비율로 정의되며, 조업률이라고도 한다. 가동률은 호황 시에는 100% 가까이 되며, 불황 시에는 호황 시보다 상당히 밀리게 되므로 수급동향 및 경기동향을 나타내는 지표로 쓰이고 있다. 가동률의 사전적 의미를 보면 설비의 능력을 산출할 때 사용되는 가동률과는 다른 의미를 발견할 수 있다. 즉, 설비 능력의 계산에서는 능력을 결정하는 요소 중의 하나로 가동률 지표가 사용되고 있는 반면, 사전적 의미의 가동률은 능력에 대한 실제 생산량 즉 부하율(負荷率)의 의미로 적용되고 있다. 이러한 용어의 사용에 대한 혼선은 가동률이라는 용어에 대한 개념적인 재정립의 필요성을 보여주고 있다.

한편, 도요다 생산방식(Toyota Production System, TPS) [16]은 JIT 생산 시스템의 구현을 위해 여러 가지 중요한 사상들을 제시하고 있고, 그 중에서 본 연구의 관심 사항인 병목 개선 관련 설비관리 지표 체계에 대해 매우 의미 있는 내용을 발견할 수 있는데, 서로 다른 두 가지 개념의 가동률, 즉 가동률(稼動率)과 가동률(可動率)에 대한 구분이다. TPS에서는 설비 가공 능력에 대한 후 공정 요구 수의 비율을 가동률(稼動率)이라고 정의하고 있다[7]. 이는 사전적 의미에서의 가동률과 조업률, 그리고 본 연구에서 언급한 부하율(負荷率)과 동일한 의미로 해석 할 수 있다. 이에 대비하여, 설비가 움직이고 싶을 때 언제라도 움직일 수 있는 상태의 비율을 가동률(可動率)이라는 새로운 용어로 정의하고 있다. TPS에서는 가동률(稼動率)은 고객의 요구 수에 따라 달라진다고 설명하고 있다. 만일 고객의 요구와 무관하게 가동률(稼動率)을 높이기 위한 생산을 추진할 경우 과잉재고를 만들 수 있음을 경고하고 있으며 따라서 고객의 요구에 맞추어 생산하는 것이 중요함을 강조하고 있다[13, 15]. 현장에서는 가동률(稼動率) 향상을 목적으로 하는 현장 운영을 지양하는 한편으로, 고객의 요구가 있을 때 얼마나 빠르게 대응 할 수 있을 것인가를 고민해야 한다. 그리고 이를 가능토록 해주는 것이 높은 수준의 가동률(可動率)이다. 따라서 TPS에서는 적시생산체제(JIT)를 위한 전제 조건으로 가동률(可動率)의 개선이 중요함을 강조하고 있다. 가동률(稼動率)은 고객에 의해 좌우되는 지표이나 가동률(可動率)은 자신의 능력에 의해 100%까지 달성 할 수 있는 지표이다. 이러한 개념을 본 연구의 주제인 병목 탐색 및 개선 활동과 연계시켜 볼 때 설비의 능력을 측정할 때 곱해지는 가동률은, “설비가 생산 할 일(부하)가 있을 때 정상적으로 생산해 낼 수 있는 비율”의 의미를 가지므로 “가동률(可動率)”이 되어야 할 것이다. 따라서 병목의 탐색 및 개선에 도움이 되는 설비관리 지표 체계는 당연히 “가동률(可動率)”이 신뢰도 있게 측정되고 제공될 수 있는 설비관리 지표 체계가 되어야 함을 알 수 있다.

### 3. 기존 설비 관리 지표 체계 검토

본 연구에서는 실제 제조 현장에서 적용되고 있는 설비관리 지표의 모습을 알아보기 위해 현장에서 주로 사용하고 있는 설비관리 지표체계 모형을 수집하여 조사해 보았는데, 전사적생산성보전활동(Total Productive Maintenance, TPM)에서 정의된 설비종합효율(Overall Equipment Efficiency, OEE) 모형과 함께 본 논문의 주저자가 제조업 설비 생산성 컨설팅 업무를 수행하면서 다루었던 2개 기업의 설비관리 지표체계 모형에 대해 자세히

살펴보기로 한다. 설비관리 지표 체계를 구성하는 로스의 유형은 각 기업별로 다른 이름으로 불리는 경우가 있으므로 본 연구에서는 각 모형간의 상대적인 비교를 용이하게 하기 위해 TPM에서 정의된 OEE 모형의 용어에 준하여 일반화하고자 한다.

#### 3.1 TPM의 설비종합효율

TPM은 1971년 일본에서 제창되었고 1980년대 중후반 한국에 도입된 대표적인 현장 혁신 활동 기법 중 하나이다. 우리나라의 제조 현장이 과거 사람 중심에서 점차 설비 중심으로 변화함에 따라 많은 기업들이 TPM을 도입하고 있으며 나름대로 기업성과 향상에 기여하고 있다고 평가된다[3, 4, 6]. TPM 활동은 사람과 설비의 체질 개선을 통한 기업의 개선을 추구하는 활동이다[11]. 이러한 활동을 가능하도록 해주는 TPM의 전개 방법론이 여러 가지 있겠으나, 병목 설비의 탐색 및 개선에 도움이 되는 설비관리 지표 체계가 주요 관심사인 본 연구에서는 설비 관리 지표 측면에서 TPM 활동을 살펴 볼 필요가 있으며, 주요 성과 측정 지표 중의 하나인 설비종합효율(OEE)에 주목한다. OEE는 설비의 효율을 측정하는 하나의 지표이며 TPM을 준비하고 도입하는 단계에 있는 현장에서 TPM의 실행 안을 개발하고 촉진하기 위해 목표를 설정하고 활동을 평가하는데 활용되는 대표적인 지표 중 하나이다[1]. OEE의 로스 체계는 4개의 Big 로스와 그의 각각을 구성하는 7가지의 Major 로스들로 구성되어 있다. 4개의 Big 로스는 ① 휴지로스, ② 정지로스, ③ 성능로스, ④ 불량로스로 구성되어 있다. 이들은 다시 ① 계획정지로스, ② 생산조정로스, ③ 설비고장로스, ④ 준비로스, ⑤ 교체로스, ⑥ 양산보류로스, ⑦ 순간정지로스, ⑧ 속도저하로스, ⑨ 불량/제작업로스의 9가지 로스들로 나누어지는데 ① 계획정지로스 및 ② 생산조정로스는 OEE의 계산 범위에 포함시키지 않고 나머지 7가지만을 Major 로스로 하여 OEE의 계산 범주에 포함시킨다[20]. TPM에서의 로스 및 관리 지표 구조는 <그림 1>과 같이 도식화된다.

그리고 각 주요 지표들의 산출식은 아래와 같다.

- 조업시간 = 총 조업일수 × 24시간 (1)
- 시간가동률 = 가동시간/부하시간 (2)
- 성능가동률 = (생산량 × 표준 사이클타임) / 가동시간  
= 정미가동시간/가동시간 (3)
- 양품률 = 양품수/생산량  
= 가치가동시간/정미가동시간 (4)
- OEE = 시간가동률 × 성능가동률 × 양품률 (5)

조업시간				
부하시간			휴지로스	
			계획 정지 로스	생산 조정 로스
			계획 보전	Idle
가동시간			정지로스	
			준비 교체	설비 고장
정미가동 시간	성능로스			
	보류	순간 정지	속도 저하	
가치 가동 시간	불량로스			
	불량 재작업			

4Big 로스	9 major 로스	의 미
휴지 로스	계획보전 로스	연간 또는 주기적인 정비를 위 한 설비 정지시간
	생산조정 로스	수요 공급의 균형을 위한 생산 계획 조정에 따른 설비 정지시간
정지 로스	설비고장 로스	돌발적 설비 고장으로 인한 생 산 중단 시간
	준비 로스	제품 변경에 따른 셋업, 조정 등 에 소요되는 준비시간
	교체 로스	공구, 지그 등의 교체를 위해 발 생하는 주기적이고 짧은 시간 및 불량 로스
성능 로스	보류 로스	정지 후 재 시동시 설비 조건 설정을 위한 시간로스 및 불량 로스
	순간정지 로스	일시적인 설비 장애로 인해 발 생하는 로스
	속도저하 로스	설계된 속도와 실제 속도와의 차이
불량 로스	불량/재작업 로스	품질결함으로 인한 품질 로스

<그림 1> TPM의 로스 및 관리 지표 구조[20]

### 3.2 A사의 설비 관리 지표 체계도

A사는 고가의 설비를 다수 사용하는 제조 현장을 보유하고 있으며 이러한 설비의 관리를 위해 자체적으로 개발한 설비관리 지표 체계 모형을 운영하고 있다. 크게 ① 업타임(Up Time)과 ② 다운타임(Down Time)으로 구성된 로스 체계를 가지고 있으며 다운타임은 다시 계획보전, 설비고장, 준비교체 등으로 나뉘어져 관리되고 있다

(<그림 2> 참조). A사에서는 이러한 로스 구조를 바탕으로 산출한 가동률이라는 지표를 설비관리 지표로 활용하고 있는데 그 산출식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 가동률} &= \text{업타임/조업시간} \\ &= (\text{가동시간} + \text{비부하시간}) / \text{조업시간} \quad (6) \end{aligned}$$

조업시간						
업타임		다운타임				
		계획 보전	고장	준비 교체	Utility	실험 개발
가동시간	非負荷시간 (Idle)					

구 분	정의	
Down Time	계획보전	계획된 예방정비를 위해 소요되 는 설비 정지시간
	설비고장	설비 돌발 고장으로 인한 생산 중단 시간
	준비교체	품종 교체, 지그 교체 등 생산 준비에 소요되는 시간
	Utility	전기, 용수 등의 문제로 인한 생 산 중단 시간
	실험개발	실험 및 개발 업무를 위해 설비 를 사용하는 시간
비부하 (非負荷)	Idle	설비가 할 일이 없어 대기하는 시간

<그림 2> A사의 설비 로스 및 관리 지표 구조

### 3.3 B사의 설비관리 지표체계도

B사 역시 고가의 설비를 다수 사용하는 제조 현장을 보유하고 있으며 이러한 설비의 관리를 위해 나름대로 개발한 설비관리 지표체계 모형을 운영하고 있다. B사의 로스는 ① 비부하(非負荷)로스와 ② 정지로스의 두 가지로 구분되며 비부하로스는 Idle과 실험개발시간, 정지로스는 계획보전, 설비고장, 준비교체 등으로 다시 나누어지는 로스 체계를 가지고 있다(<그림 3> 참조). B사에서는 이러한 로스 구조를 기본으로 부하율과 가동률을 산출하여 관리 지표로 활용하는데 그 산출식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 부하율} &= \text{부하시간/조업시간} \\ &= (\text{조업시간} - \text{Idle} - \text{실험개발시간}) / \text{조업시간} \quad (7) \\ \bullet \text{ 가동률} &= \text{가동시간/부하시간} \quad (8) \end{aligned}$$

조업시간						
부하시간					非負荷로스	
					실험 개발	Idle
정지로스						
가동시간	계획 보전	Utility	준비 교체	설비 고장	기타	
	구 분		정의			
	非負荷로스	Idle	설비가 할 일이 없어 대기하는 시간			
		실험개발	제품 개발 또는 기술적 실험을 위해 설비를 사용하는 시간			
정지로스	계획보전	계획된 예방정비를 위해 소요되는 설비 정지시간				
	설비고장	설비 돌발 고장으로 인한 생산 중단 시간				
	준비교체	품종 교체, 지그 교체 등 생산 준비에 소요되는 시간				
	Utility	전기, 용수 등의 문제로 인한 생산 중단 시간				

〈그림 3〉 B사의 설비 로스 및 관리 지표 구조

### 3.4 설비 관리 지표 체계의 검토 결과

병목 개선 활동의 중요성을 고려할 때 설비 관리 지표 체계가 병목의 탐색 및 개선을 지원하는 기능을 수행 할 수 있도록 잘 설계되고 운영되어야 함은 당연한 일일 것이다. 하지만 기존의 설비 관리 지표 체계에 대한 검토 과정을 통해 발견한 몇 가지 시사점들은 다음과 같다. 즉, ① 가동률 용어에 대한 의미의 혼선, ② 가동률(可動率)이 고려된 설비 지표 체계를 운영하는 현장의 부재, ③ 제조 현장에서 실제로 사용되고 있는 설비 관리 지표 체계의 다양성, ④ 병목의 탐색 및 개선을 위한 설비관리 지표 측면에서 실시한 연구의 희소성 등은 설비관리 지표 체계를 대상으로 하는 보다 체계적이고 다양한 연구의 필요성을 보여 주고 있다.

따라서 현재 연구되고 운영되고 있는 여러 가지 설비 관리 지표 체계 모형들에 대한 평가를 통해서, 이들 지표들이 병목 설비의 탐색과 개선 측면에서 유용한 구조로 설계되어 운영되고 있는지를 살펴보는 한편, 병목 설비의 탐색과 개선 측면에서 보다 유용한 설비관리 지표 모형은 없는지를 탐색하여 제안해보는 것은 병목 자원의 존재로 인해 애로를 겪고 있으며 이로 인해 설비 투자의 요구가 집중하고 있는 기업의 당면한 문제를 해결하고 경쟁력을 제고 시키는데 있어 나름대로 의미

가 있는 연구인 동시에 가치가 있는 연구가 될 것이다.

## 4. 설비관리 지표체계의 목표 이미지

새로운 설비 관리 지표 체계를 제안하기에 앞서, 병목 개선에 유용한 설비 관리 지표 체계의 바람직한 모습을 설정해 보고자 한다.

병목의 탐색과 이를 바탕으로 한 설비 능력 제고라는 관점 하에서, 설비 관리 지표체계는 다음과 같은 모습을 가져야 한다. 첫째, 설비 관리 지표는 병목 설비의 탐색을 지원할 수 있어야 한다. 둘째, 설비 관리 지표는 병목 설비의 유휴(idle) 상태, 즉 병목 기아(starvation) 상태의 탐색을 지원할 수 있어야 한다. 셋째, 설비 관리 지표는 병목 설비 능력을 감소시키는 로스의 개선을 지원할 수 있어야 한다.

상기와 같은 각각의 기능을 효과적으로 지원하기 위해 설비관리 지표 체계가 갖추어야 할 바람직한 모습들을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

### 4.1 병목 자원의 탐색과 설비관리 지표

병목의 개선을 위해서는 병목의 탐색이 중요하며 따라서 설비관리 지표 역시 병목의 탐색에 도움이 되는 지표 체계를 가져야 한다. 병목은 부하가 능력을 초과할 경우에 발생하며 부하율(負荷率)이 100%를 초과하는 모습으로 발견되는데 부하율을 산출하기 위한 산술적인 수식은 아래와 같다.

$$\bullet \text{부하율} = \text{부하}/\text{능력} \quad (9)$$

$$\bullet \text{능력} = \text{조업시간} \times \text{가동률(可動率)}/\text{표준 사이클 타임} \quad (10)$$

여기서 부하와 능력은 생산수량으로 표현된다.

위의 병목 산출 식에서 알 수 있듯이 설비관리 지표가 병목의 탐색에 영향을 미치는 영역은 능력의 산술적 계산에 사용되는 가동률(可動率)이라는 지표이다. 따라서 이 가동률이라는 지표가 병목의 탐색 및 개선에 도움이 되는 지표가 되어야 할 것이다. 상기의 계산식에 적용되는 가동률(可動率)은 일이 있을 때 어느 정도 생산에 기여 했는가 또는 할 수 있을 것인가를 의미하는 것이므로 바람직한 설비관리 지표 체계 모형에서는 가동률(可動率)의 의미를 가진 가동률이 산출되고 제공되어야 할 것이다. 따라서 병목의 탐색에 기여하는 설비 관리 지표 체계는 “설비가 생산 할 일(負荷)이 있을 때 정상적으로 생산해 낼 수 있는 비율”과 같은 의미의 “가동률(可動率)”이 측정되고 제공될 수 있어야 한다.

### 4.2 병목 기아와 설비관리 지표

일반적으로 생산량은 능력과 부하의 조합에 의해 결정된다.

$$\bullet \text{ 생산량} = \text{능력} \times \text{부하율(Load factor)} \quad (11)$$

생산량이 증가되기 위해서는 능력만 있어서는 부족하며 그만큼의 부하 즉 할 일이 있어야 한다는 것이다. 병목은 전체 시스템 중 능력이 가장 작은 자원이기 때문에 능력만큼의 부하가 항상 주어져야만 전체 시스템의 생산량이 병목의 능력만큼 산출될 수 있게 된다. 하지만 실제 현장에서는 병목 지점의 순간적인 이동에 따른 재공 흐름의 불균형, 병목 설비를 진행할 반제품의 우선공급 지연 등 여러 가지 이유에 의해 병목 자원에 연속적인 부하가 걸리지 않는 경우가 발생하고 있으며 결국 라인의 생산량이 병목 자원의 능력에 미달하는 문제점이 발생한다. 이러한 현상을 병목 기아(Bottleneck starvation)라는 용어로 부르는데, 이러한 병목기아를 방지하고 병목 설비에 유희시간(Idle)이 발생하지 않도록 관리하는 것도 중요한 과제의 하나로 인식되고 있다[21].

병목 설비의 기아를 방지하는 것이 중요하다면 설비관리 지표 역시 이러한 기능을 지원 할 수 있도록 운영되는 것이 바람직할 것이다. 즉 설비관리 지표는 병목 기아의 발생 상황 및 정도를 측정하고 제공하는 기능을 수행해야 할 것이다. 따라서 바람직한 설비지표 관리 체계 모형에서는 “설비가 보유한 시간 중에서 할 일(부하)이 있었던 시간의 비율”과 같은 의미의 “부하율(負荷率)”이 측정되고 제공될 수 있어야 한다.

### 4.3 병목 설비의 개선과 설비관리 지표

설비관리 지표란 “보유하고 있는 설비가 일정시간 동안 운전되어 온 이력을 약속된 분류 기준에 의해 기록 집계하고, 이를 정해진 계층적 체계에 따른 수식에 의해 수치로 표현한 것”으로 정의될 수 있다. 이러한 설비관리 지표가 병목 자원의 능력 개선에 도움을 주기 위해서는 개선해야 할ロス 즉, 설비 능력을 감소시키는 제반 요인의 종류 및 크기들을 알려주는 기능을 수행해야 하며 이러한 목적을 달성하기 위해서는 두 가지 요소가 고려되어야 한다. 첫째는 설비지표 관리 체계에 의해 산출되어 제공되는 지표가 생산량을 저해하는 로스들을 모두 설명할 수 있어야 한다는 것이다. 이러한 조건을 만족시키는 설비지표는 당연히 생산실적의 변동과 일치하는 추이(Trend)를 가져야 한다. 둘째는 관리하고자 하는 로스의 유형과 관련된 것이다. 설비지표 관리를 통해 탐색하고

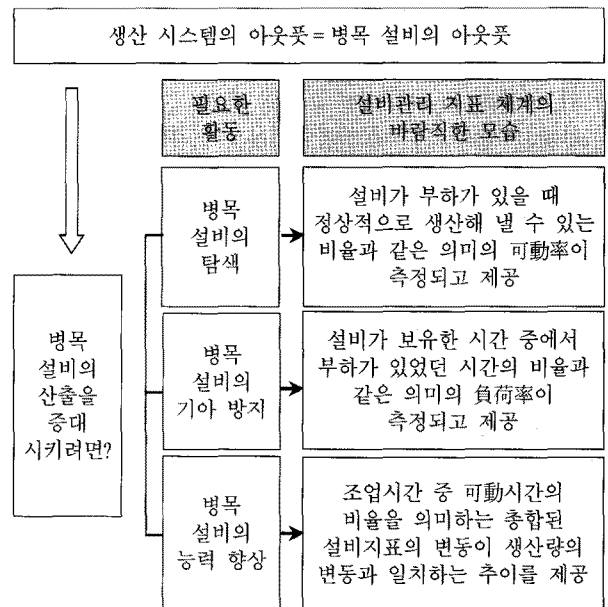
자 하는 로스의 유형은 여러 가지가 있을 수 있는데 그 중에서도 TPM에서 제시하는 6대 설비 로스가 대표적이며, 이를 참조하여 응용한다면 각 현장의 다양한 상황에 맞는 로스 유형을 구성해서 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 위 두 가지 요소들 중 보다 근원적인 조건으로 볼 수 있는 첫 번째 조건 즉, 설비지표의 변동과 생산실적의 변동이 일치하는지의 여부에 주목하고자 한다. 생산량은 저하되었는데 가동률은 상승하는 현상이 실제로 현장에서는 발생하고 있으며, 이러한 현상이 반복될 경우 설비관리 지표의 개선이 생산실적 향상으로 연계될 것인지에 대한 의문이 제기되기도 한다. 따라서 바람직한 설비관리 지표 체계에서는 조업시간 중 可動시간의 비율을 의미하는 총합된 설비지표의 변동이 생산량의 변동과 일치하는 추이(Trend)를 제공해야 한다. 단, 총합설비지표라는 용어는 일반적으로 정의된 지표는 아니며 본 연구 목적을 위해 본 연구에 한해 사용하는 용어임을 밝힌다. 이 경우 총합설비지표는 可動시간을 조업시간으로 나눈 식으로 산출된다.

## 5. 제안하는 설비관리 지표체계

개선된 설비 관리 지표 체계를 제안하기에 앞서 앞에서 도출한 바람직한 설비 관리 지표 체계의 목표 이미지를 도식화하면 <그림 4>와 같다.

본 연구에서 제안하는 설비관리 지표 체계 모형을 도식화하면 <그림 5>와 같으며, 이 모형의 특징은 ①非可



<그림 4> 병목 개선에 도움이 되는 설비관리 지표 체계의 바람직한 모습

조업시간				
부하시간				非負荷 시간
				Idle
가동(稼動)시간		정지시간		
		계획 보전	돌발 고장	준비 교체
유효 가동 시간	무효가동시간			
	보류	속도 저하	순간 정지	불량

<그림 5> 제안하는 설비관리 지표체계 모형

① 가동 성격의 시간과 ② 非負荷 성격의 시간을 의도적으로 명확히 구분하는 것에서 출발한다. <그림 5>를 보면 제안하는 설비관리 지표 체계 모형이 가지고 있는 로스의 유형이 타 설비지표 체계 모형과 큰 차이는 없는 것으로 보인다. 그러나 그 로스들을 분류할 때 非可動 요소와 非負荷 요소 중 어느 곳으로 분류했는가를 보면 차이를 알 수가 있다. 제안 모형은 이러한 로스 구조에 따라 몇 가지 관리 지표를 산출하는데 그 산출식은 다음과 같다.

- 조업시간 = 조업일수×24시간 (12)
- 부하율 = 부하시간/조업시간 (13)  
= (조업시간 - 비부하(Idle) 시간)/조업시간
- 시간가동률 = 가동시간/부하시간 (14)  
= 가동시간/(조업시간 - 비부하(Idle) 시간)
- 정미가동률 = 유효가동(稼動)시간/가동시간 (15)  
= (양품수× 표준 사이클타임)/가동시간
- 가동률(可動率) = 시간가동률 × 정미가동률 (16)

## 6. 모의실험을 통한 설비 관리 지표 체계 간 비교

본 절에서는 앞에서 소개한 세 가지 다른 설비 관리 지표 체계와 본 연구에서 제안하는 모형 간의 비교를 위해 모의실험을 실시하였다.

### 6.1 모의실험 데이터

동일한 비교 기준 하에서 각 비교 대안들에 대한 정량적인 평가가 실시될 수 있도록 하기 위해 생산일수로 20일 분량의 모의 데이터를 준비하였다. 먼저, 서로 다른 용어를 사용하는 비교 모형들의 로스 유형을 일반화하기 위해

대표적인 로스 유형들을 선정하고, 각 로스 유형이 비부하(非負荷)의 성격인지 비가동(非可動)의 성격인지를 분류하였다(<표 3> 참조). 다음으로는 각 비교 대안 모형의 설비지표 산출식에 적용할 임의의 수치를 각각 생성하여 <표 4>와 같은 데이터 표를 준비하였다. 한편 각 모형에서 산출하는 대표적인 관리 지표 수치를 산출 할 때는 20일 간의 합계를 사용하였으며, 일자 별 추이를 작성 할 때에는 각 일별 데이터를 적용하였다.

<표 3> 모의 데이터의 로스 구성 및 설명

조업시간(휴일, 휴식 등은 0으로 가정)									
유효 가동 시간	무효가동시간			설비 고장	준비 교체	계획 보전	Utility	실험 개발	유휴 시간 (Idle)
	속도 저하	순간 정지	불량						
可動	非可動			非可動	非可動	非可動	非可動	非可動	非負荷

로스 유형	의 미	구 분
조업시간	총 조업일수×24시간	-
유휴시간 (Idle)	설비가 할 일(부하)이 없어 대기한 시간	非負荷
실험개발	실험 및 개발 업무를 위해 설비를 可動하지 못한 시간	非可動
Utility	전기, 용수 등의 문제로 설비를 可動하지 못한 시간	非可動
계획보전	계획된 예방 정비를 위해 설비를 可動하지 못한 시간	非可動
준비교체	품종, Jig 교체 등 준비 작업으로 인해 설비를 可動하지 못한 시간	非可動
돌발고장	5분 이상의 설비 Trouble로 인해 설비를 可動하지 못한 시간	非可動
무효 가동시간	속도 저하, 순간정지, 불량 등으로 인해 可動하지 못한 시간	非可動
유효 가동시간	표준 C/T의 속도로 양품을 생산한 (해야 하는) 시간	可動

可動	설비가 생산할 일(부하)이 있을 때 정상적으로(표준 사이클타임으로) 생산하는 시간
非可動	설비가 생산할 일(부하)이 있어도 정상적으로(표준 사이클타임으로) 생산하지 못하는 시간
負荷	설비가 보유한 시간 중 할 일(부하)이 있는 시간
非負荷	설비가 보유한 시간 중 할 일(부하)이 없는 시간



<표 4> 비교 평가에 적용한 모의 데이터 표

일	可動		非可動							非負動	조업 시간
	생산량 (개)	표준 C/T (개/분)	무효 가동 (분)	설비 고장 (분)	준비 교체 (분)	계획 보전 (분)	Utility (분)	실험 개발 (분)	Idle (분)		
1	120	10	48	20	30	30	0	40	72	1,440	
2	100	10	330	30	20	0	0	60	-	1,440	
3	115	10	140	15	0	25	0	30	80	1,440	
4	100	10	40	20	15	30	200	20	115	1,440	
5	80	10	435	15	60	40	0	0	90	1,440	
6	100	10	120	30	120	0	0	50	120	1,440	
7	70	10	453	0	80	15	0	120	72	1,440	
8	90	10	313	12	20	20	0	60	115	1,440	
9	100	10	85	0	15	50	120	40	130	1,440	
10	90	10	291	0	60	25	0	20	144	1,440	
11	110	10	240	10	40	0	0	50	-	1,440	
12	120	10	135	20	25	40	0	20	-	1,440	
13	90	10	300	25	80	20	0	15	100	1,440	
14	90	10	68	50	90	60	200	0	72	1,440	
15	110	10	20	40	100	30	0	20	130	1,440	
16	80	10	316	120	60	0	0	0	144	1,440	
17	100	10	320	50	20	15	0	0	35	1,440	
18	110	10	186	90	0	25	0	25	14	1,440	
19	100	10	235	20	65	50	0	30	40	1,440	
20	100	10	140	50	70	0	100	20	60	1,440	
합계	1,975	10	4,215	617	970	475	620	620	1,533	28,800	

\* 생산량은 양품만을 포함하고, C/T는 사이클타임을 의미.

6.2 바람직한 모습의 설비 지표 산출

각 비교 대안들을 평가하는 기준으로 삼기 위해 모의 데이터를 사용하여 병목의 탐색 및 개선에 도움이 되는 바람직한 모습과 일치하는 지표를 산출하면 다음과 같다.

부하율(負荷率)은 설비가 보유한 시간 중에서 할 일(부하)이 있었던 시간의 비율을 의미하므로,

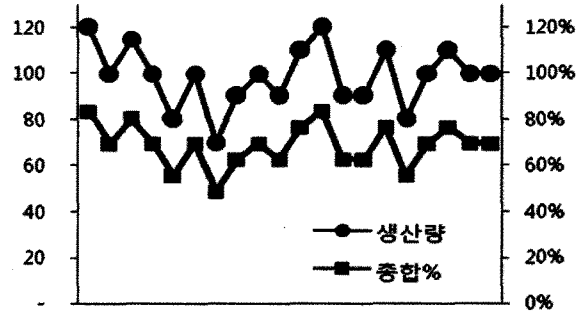
$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ 부하율} &= \text{부하시간} / \text{조업시간} \\
 &= (\text{조업시간} - \text{유휴시간(Idle)}) / \text{조업시간} \\
 &= 27,267 / 28,800 \\
 &= 94.7\% \qquad (17)
 \end{aligned}$$

가동률(可動率)은 설비가 생산 할 일(부하)이 있을 때 표준 사이클타임의 속도로 정상적으로 생산해 낼 수 있는 비율을 의미하므로,

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ 가동률} &= \text{유효가동시간} / \text{부하시간} \\
 &= (\text{생산량} \times \text{표준 사이클타임}) / \text{부하시간}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 19,750 / 27,267 \\
 &= 72.4\% \qquad (18)
 \end{aligned}$$

한편, 조업시간 중 可動 시간 비율을 의미하는 종합설비지표 추이는 <그림 6>과 같이 생산량 추이와 일치하는 모습을 보여야 한다. 단, 그림에서 '종합%'로 표시된 것이 종합설비지표를 나타낸다.



<그림 6> 바람직한 모습의 종합설비지표 추이

상기와 같은 계산 과정을 일별로 정리하면 <표 5>와 같다.

<표 5> 바람직한 설비 지표의 산출

일	可動 (분)	非可動 (분)	非負動 (분)	조업 시간 (분)	설비지표		
					負荷率 (%)	可動率 (%)	종합 설비지표 (%)
1	1,200	168	72	1,440	95.0	87.7	83.3
2	1,000	440	-	1,440	100.0	69.4	69.4
3	1,150	210	80	1,440	94.4	84.6	79.9
4	1,000	325	15	1,440	92.0	75.5	69.4
5	800	550	90	1,440	93.8	59.3	55.6
6	1,000	320	120	1,440	91.7	75.8	69.4
7	700	668	72	1,440	95.0	51.2	48.6
8	900	425	115	1,440	92.0	67.9	62.5
9	1,000	310	130	1,440	91.0	76.3	69.4
10	900	396	144	1,440	90.0	69.4	62.5
11	1,100	340	-	1,440	100.0	76.4	76.4
12	1,200	240	-	1,440	100.0	83.8	83.3
13	900	440	100	1,440	93.1	67.2	62.5
14	900	468	72	1,440	95.0	65.8	62.5
15	1,100	210	130	1,440	91.0	83.9	76.4
16	800	496	144	1,440	90.0	61.7	55.6
17	1,000	405	35	1,440	97.6	71.2	69.4
18	1,100	326	14	1,440	99.0	77.2	76.4
19	1,000	400	40	1,440	97.2	71.4	69.4
20	1,000	380	60	1,440	95.8	72.5	69.4
합계	19,750	7,517	1,533	28,800	94.7	72.4	68.6

### 6.3 OEE 모형에 대한 평가 결과

OEE 설비관리 지표체계 모형에 대한 평가를 위해 20일 간의 모의 데이터를 적용하여 <그림 7>과 같은 결과를 얻었다. 또한 각 일별 모의 데이터 수치를 OEE 모형에서 제공하는 설비 지표 체계에 적용하여 OEE 및 총합설비 지표를 산출하면 <표 6>과 같다.

부하시간 (25,552)		휴지로스			
		非可動		非負荷	
		계획 보전 (475)	Utility (620)	실험 개발 (620)	Idle (1,533)
가동시간 (23,965)		정지로스			
		非可動			
		준비 교체 (970)	설비 고장 (617)		
可動	非可動				
유효가동 시간 (19,750)	무효가동 시간 (4,215)				

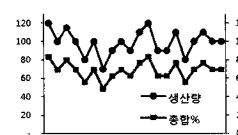
<그림 7> 모의 데이터에 대한 OEE 모형의ロス 구조도

<표 6> 모의 데이터에 대한 OEE 모형의 일별 설비지표 산출

일	可動 (분)	휴지로스 (분)	조업시간 (분)	설비지표	
				OEE (%)	총합 설비지표 (%)
1	1,200	142	1,440	92.4	83.3
2	1,000	60	1,440	72.5	69.4
3	1,150	135	1,440	88.1	79.9
4	1,000	365	1,440	93.0	69.4
5	800	130	1,440	61.1	55.6
6	1,000	170	1,440	78.7	69.4
7	700	207	1,440	56.8	48.6
8	900	195	1,440	72.3	62.5
9	1,000	340	1,440	96.9	69.4
10	900	189	1,440	61.7	62.5
11	1,100	50	1,440	71.9	76.4
12	1,200	60	1,440	87.0	83.3
13	900	135	1,440	69.0	62.5
14	900	332	1,440	81.2	62.5
15	1,100	180	1,440	87.3	76.4
16	800	144	1,440	61.7	55.6
17	1,000	50	1,440	71.9	69.4
18	1,100	64	1,440	80.8	76.4
19	1,000	120	1,440	75.8	69.4
20	1,000	180	1,440	79.4	69.4
합계	19,750	3,248	28,800	77.3	68.6

모의 데이터를 적용하여 OEE 모형에 대한 평가를 실시한 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, OEE 설비관리 지표 체계 모형은 일부 非可動 성격의 시간(계획 보전, Utility)과 非負荷 성격의 시간이 비부하 시간 안에 혼재된ロス 구조를 가지고 있다. 둘째, OEE 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습의 負荷率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 셋째, OEE 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습의 可動率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 넷째, OEE 설비관리 지표 체계 모형은 생산량의 변동과 총합설비지표가 일치하는 추이를 제공한다. 이러한 결과는 <표 7>과 같이 요약될 수 있다.

<표 7> OEE 모형에 대한 모의실험 결과

평가 항목	바람직한 기대치	OEE 모형 산출 결과	평가 결과
負荷率	94.7%	OEE = 可動시간/부하시간 = 19,750/25,552 = 77.3%	負荷率을 표현하는 지표 없음
可動率	72.4%	부하시간에 非可動 성격의 시간(계획보전, Utility 등)과 非負荷 성격의 시간이 혼재됨	可動率을 표현하는 지표 없음
총합지표와 생산량의 추이 비교	추세 일치		추세 일치

### 6.4 A사 설비 관리 지표 체계에 대한 평가

OEE 모형의 평가와 동일한 방식으로 A사의 모형에 모의 데이터를 적용하면 <그림 8>과 같은로스 구조를 얻을 수 있다. A사 모형의 특징 중 하나가 유효가동(稼動)시간과 무효가동(稼動)시간을 구분하지 않고 모두 가동(可動)시간으로 간주한다는 것이다. 이러한로스구조 하에서 일별 설비지표 산출 결과는 <표 8>과 같다.

Up Time (25,498)		조업시간(28,800)				
		Down Time(3,302)				
		非可動				
		계획 보전 (475)	Utility (620)	준비 교체 (970)	실험 개발 (620)	설비 고장 (617)
可動	非負荷					
가동시간 (23,965)	Idle (1,533)					

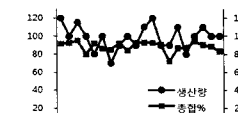
<그림 8> 모의 데이터에 대한 A사 모형의로스 구조도

<표 8> 모의 데이터에 대한 A사 모형의 일별 설비지표 산출

일	Up Time		Down Time (분)	조업시간 (분)	설비지표	
	可動 (분)	非負荷 (분)			가동률 (%)	총합 설비지표 (%)
1	1,248	72	120	1,440	91.7	91.7
2	1,330	-	110	1,440	92.4	92.4
3	1,290	80	70	1,440	95.1	95.1
4	1,040	115	285	1,440	80.2	80.2
5	1,235	90	115	1,440	92.0	92.0
6	1,120	120	200	1,440	86.1	86.1
7	1,153	72	215	1,440	85.1	85.1
8	1,213	115	112	1,440	92.9	92.9
9	1,085	130	225	1,440	84.4	84.4
10	1,191	144	105	1,440	92.7	92.7
11	1,340	-	100	1,440	93.1	93.1
12	1,335	-	105	1,440	92.7	92.7
13	1,200	100	140	1,440	90.3	90.3
14	968	72	400	1,440	72.2	72.2
15	1,120	130	190	1,440	86.8	86.8
16	1,116	144	180	1,440	87.5	87.5
17	1,320	35	85	1,440	94.1	94.1
18	1,286	14	140	1,440	90.3	90.3
19	1,235	40	165	1,440	88.5	88.5
20	1,140	60	240	1,440	83.3	83.3
합계	23,965	1,533	3,302	28,800	88.5	88.5

모의 데이터를 적용하여 A사 모형에 대한 평가를 실시한 결과는 다음과 같다. 첫째, A사의 설비관리 지표 체계 모형은 일부 可動 성격의 시간(稼動시간)과 비부하(非負荷) 성격의 시간이 혼재된 로스 구조를 가지고 있다. 둘째, A사의 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습의 負荷率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 셋째, A사의 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습

<표 9> A사 모형에 대한 모의실험 결과

평가 항목	바람직한 기대치	OEE 모형 산출 결과	평가 결과
負荷率	94.7%	가동률 = Up Time / 조업시간 = 25,498 / 28,800 = 88.5%	負荷率을 표현하는 지표 없음
可動率	72.4%	Up Time에 可動성격의 시간과 非負荷성격의 시간이 혼재되어 있음	可動率을 표현하는 지표 없음
총합지표와 생산량의 추이 비교	추세 일치		추세 불일치

의 可動率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 넷째, A사의 설비관리 지표 체계 모형은 생산량의 변동과 총합설비지표가 일치하는 추세를 제공하지 못한다. 이러한 결과는 <표 9>와 같이 요약될 수 있다.

### 6.5 B사 설비 관리 지표 체계에 대한 평가

B사의 모형에 모의 데이터를 적용하면 <그림 9>와 같은 로스 구조를 얻을 수 있고, 일별 설비지표 산출 결과는 <표 10>과 같다. 이 모형에서는 유효가동시간과 무효가동시간을 구분하지 않고 모두 가동(可動)시간으로 간주하고 있으며, 실험개발이라는 非可動 성격의 시간을 非負荷 시간에 포함시키고 있다.

조업시간(28,800)					
부하시간(26,647)				非可動 실험개발 (620)	非負荷 Idle (1,533)
可動	非可動				
가동시간 (23,965)	계획보전 (475)	Utility (620)	준비교체 (970)	설비고장 (617)	

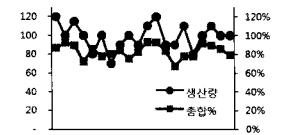
<그림 9> 모의 데이터에 대한 B사 모형의 로스 구조도

<표 10> 모의 데이터에 대한 B사 모형의 일별 설비지표 산출

일	부하시간		조업시간 (분)	설비지표		
	可動 (분)	非可動 (분)		부하율 (%)	시간 가동률 (%)	총합 설비지표 (%)
1	1,248	80	1,440	92.2	94.0	86.7
2	1,330	50	1,440	95.8	96.4	92.4
3	1,290	40	1,440	92.4	97.0	89.6
4	1,040	265	1,440	90.6	79.7	72.2
5	1,235	115	1,440	93.8	91.5	85.8
6	1,120	150	1,440	88.2	88.2	77.8
7	1,153	95	1,440	86.7	92.4	80.1
8	1,213	52	1,440	87.8	95.9	84.2
9	1,085	185	1,440	88.2	85.4	75.4
10	1,191	85	1,440	88.6	93.3	82.7
11	1,340	50	1,440	96.5	96.4	93.1
12	1,335	85	1,440	98.6	94.0	92.7
13	1,200	125	1,440	92.0	90.6	83.8
14	968	400	1,440	96.0	70.8	67.2
15	1,120	170	1,440	89.6	86.8	77.8
16	1,116	180	1,440	90.0	86.1	77.5
17	1,320	85	1,440	97.6	94.0	91.7
18	1,286	115	1,440	97.3	91.8	89.3
19	1,235	135	1,440	95.1	90.1	85.8
20	1,140	220	1,440	94.4	83.8	79.2
합계	23,965	2,682	28,800	92.5	89.9	83.2

모의 데이터를 적용하여 B사 모형에 대한 평가를 실시한 결과는 다음과 같다. 첫째, B사의 설비관리 지표 체계 모형은 일부 非可動 성격의 시간(실험개발)과 非負荷 성격의 시간이 혼재된 로스 구조를 가지고 있다. 둘째, B사의 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습의 負荷率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 셋째, B사의 설비관리 지표 체계 모형은 바람직한 모습의 可動率을 표현하는 지표를 제공하지 못한다. 넷째, B사의 설비관리 지표 체계 모형은 생산량의 변동과 총합설비지표가 일치하는 추세를 제공하지 못한다. 이러한 결과는 <표 11>과 같이 요약될 수 있다.

<표 11> A사 모형에 대한 모의실험 결과

평가 항목	바람직한 기대치	OEE 모형 산출 결과	평가 결과
負荷率	94.7%	부하율 = 부하시간/조업시간 = 26,647/28,800 = 92.5%	負荷率을 표현하는 지표 없음
可動率	72.4%	시간가동률 = 가동시간/부하시간 = 23,965/26,647 = 89.9%	可動率을 표현하는 지표 없음
총합지표와 생산량의 추이 비교	추세 일치	일부 非可動 성격의 시간(실험개발)이 非負荷시간에 포함됨 	추세 불일치

### 6.6 제안된 설비 관리 지표 체계에 대한 평가

본 연구에서 제안한 모형에 모의 데이터를 적용하면 <그림 10>와 같은 로스 구조를 얻을 수 있다. 또한, 개별 설비지표 산출 결과는 <표 12>와 같다.

조업시간(28,800)					
부하시간(27,267)					非負荷 Idle (1,533)
가동시간 (23,965)		非可動			
설비 고장 (617)	준비 교체 (970)	계획 보전 (475)	실험 개발 (620)	Utility (620)	
可動	非可動				
유효 가동시간 (19,750)	무효 가동시간 (4,215)				

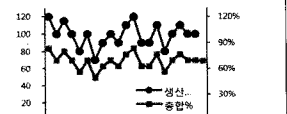
<그림 10> 모의 데이터에 대한 제안된 모형의 로스 구조도

<표 12> 모의 데이터에 대한 제안된 모형의 일별 설비지표 산출

일	負荷			非負荷 (Idle)	조업 시간	설비지표		
	가동시간	非可動	非可動			부하율	可動率	총합 설비지표
	(분)	(분)	(분)					
1	1200	48	120	72	1,440	95.0	87.7	83.3
2	1000	330	110	-	1,440	100.0	69.4	69.4
3	1150	140	70	80	1,440	94.4	84.6	79.9
4	1000	40	285	115	1,440	92.0	75.5	69.4
5	800	435	115	90	1,440	93.8	59.3	55.6
6	1000	120	200	120	1,440	91.7	75.8	48.6
7	700	453	215	72	1,440	95.0	51.2	62.5
8	900	313	112	115	1,440	92.0	67.9	62.5
9	1000	85	225	130	1,440	91.0	76.3	69.4
10	900	291	105	144	1,440	90.0	69.4	62.5
11	1100	240	100	-	1,440	100.0	76.4	76.4
12	1200	135	105	-	1,440	100.0	83.3	83.3
13	900	300	140	100	1,440	93.1	67.2	62.5
14	900	68	400	72	1,440	95.0	65.8	62.5
15	1100	20	190	130	1,440	91.0	83.9	76.4
16	800	316	180	144	1,440	90.0	61.7	55.6
17	1000	320	85	35	1,440	97.6	71.2	69.4
18	1100	186	140	14	1,440	99.0	77.2	76.4
19	1000	235	165	40	1,440	97.2	71.4	69.4
20	1000	140	240	60	1,440	95.8	72.5	69.4
합계	19,750	4,215	3,302	1,533	28,800	94.7	72.4	68.6

모의 데이터를 적용하여 제안된 모형에 대한 평가를 실시한 결과는 다음과 같다. 첫째, 제안된 설비관리 지표 체계 모형은 可動, 非可動, 非負荷 성격의 시간이 분리된 로스 구조를 가지고 있다. 둘째, 제안된 설비관리 지표

<표 13> 제안된 모형에 대한 모의실험 결과

평가 항목	바람직한 기대치	OEE 모형 산출 결과	평가 결과
負荷率	94.7%	부하율 = 부하시간/조업시간 = 27,267/28,800 = 94.7%	負荷率을 표현하는 지표 제공
可動率	72.4%	可動率 = 가동시간/부하시간 = 19,750/27,267 = 72.4%	可動率을 표현하는 지표 제공
총합지표와 생산량의 추이 비교	추세 일치	非負荷 성격의 시간과 非可動 성격의 시간이 개념적으로 분리됨 	추세 일치

체계 모형은 바람직한 모습의 負荷率을 표현하는 지표를 제공한다. 셋째, 제안된 모형은 바람직한 모습의 可動率을 표현하는 지표를 제공한다. 넷째, 제안된 모형은 생산량의 변동과 총합설비지표가 일치하는 추세를 제공한다. 이러한 결과는 <표 13>과 같이 요약될 수 있다.

## 7. 결 론

설비 측면에서의 원가 경쟁력은 추가적인 시장의 수요를 추가적인 설비 구입 없이 자체 능력으로 충족하는 경우에 성취될 수 있다. 이는 결국 병목 설비에 대한 지속적인 탐색과 개선을 통해 성취될 수 있으며 따라서 설비관리 지표체계 역시 병목 설비의 탐색과 개선 활동에 기여할 수 있는 체계로 설계되고 운영되어야 할 것이다. 하지만 ① 가동률 등 용어에 대한 의미의 혼선이 있고, ② 가동률(可動率)을 고려하는 설비관리 지표체계를 운영하는 제조 현장을 찾기 어려우며, ③ 제조 현장에서 실제로 사용되고 있는 설비관리 지표체계의 일관성이 부족하고, ④ 병목의 탐색 및 개선을 위한 설비관리 지표에 대한 연구가 부족하다는 등의 현실은 과연 기존의 설비관리 지표 체계가 병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 모형인지에 대한 평가의 필요성을 시사해 주고 있다.

본 연구는 “병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 설비 지표”라는 관점을 유지하면서 ① 병목 설비의 탐색과 개선 활동에 실질적으로 기여할 수 있는 설비 지표 체계가 가져야 할 바람직한 모습을 설정하고 ② 기존에 운영되고 있는 여러 가지 설비관리 지표 체계 모형들이 병목 설비의 탐색과 개선 활동을 지원하는 기능을 수행하는 데 문제점은 없는지에 대한 점검을 실시하며 ③ 병목 설비의 개선이라는 목적에 부합되는 새로운 설비 지표 체계 모형을 제안하는 등의 세 가지 목적 하에 연구를 진행하였다.

본 연구는 ① 이론적 연구를 통한 설비 지표의 바람직한 모습 설정, ② 개선된 설비관리 지표 체계를 제안, ③ 기존에 연구되었거나 운영되고 있는 설비관리 지표 체계 모형을 비교 대안으로 제시, ④ 대안 간의 정량적인 비교를 위한 모의 데이터의 준비, ⑤ 각각의 비교 대안 모형에 적용한 결과치의 산출, ⑥ 바람직한 모습을 기준으로 한 평가 등 6가지 단계 및 절차에 의해 연구를 진행하였으며 그 결과 의미 있는 개선 모형을 도출하였다.

본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 비교 실험 결과 기존에 연구되었거나 현장에서 사용되고 있는 3가지 설비관리 지표 체계 모형은 병목

설비의 탐색과 개선을 지원하는데 한계를 가진 구조임을 확인하였으며, 새로운 설비관리 지표 체계 모형으로의 전환이 필요함을 알 수 있었다. 둘째, 비교 실험 결과 제안된 설비관리 지표 체계 모형은 병목 설비의 탐색과 개선을 지원하는데 보다 유용한 구조임을 확인할 수 있었다. 셋째, 기존의 설비관리 지표 체계를 제안된 모형과 같은 지표체계로 대체될 경우 병목설비의 탐색 및 개선에 보다 유용하게 활용될 수 있을 것임을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 강신준, 박철민; “생산성향상의 효율적 기법인 TPM 시스템에 관한 소고”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계 공동학술대회논문집, 129-155, 2002.
- [2] 김정대; “제조기업의 생산성향상을 위한 설비관리 전략”, 생산성논집, 16(1) : 73-83, 2002.
- [3] 김창은, 홍기욱, 정철화; “품질경영 : Y 제조업체의 TPM 적용사례연구”, 대한산업공학회/한국경영과학회 97 춘계공동학술대회논문집, 435-438, 1997.
- [4] 김창은, 홍기욱, 채일병, 심종철; “설비효율을 높이기 위한 성공적인 TPM 실행에 관한 연구”, 대한산업공학회/한국경영과학회 98 춘계 공동학술대회논문집, 1-4, 1998.
- [5] 서영주; “설비 생산성향상을 위한 관리 방식에 대한 연구”, 대한설비관리학회지, 5(1) : 31-45, 2000.
- [6] 오연우, 이기채; “TPM 프로그램의 활동요인이 경영 성과에 미치는 효과”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2005 춘계공동학술대회논문집, 969-974, 2005.
- [7] 에스앤씨컨설팅주식회사; TnPI 추진 Manual, 2008.
- [8] 정남기; TOC계약경영, 대청, 1999.
- [9] 정석재, 한승훈, 김정섭; “시스템 가동률에 따른 수리 부속 제품의 재고 수준 결정에 관한 연구”, 산업경영 시스템학회지, 30(3) : 117-126, 2007.
- [10] 정용식, 허성관; “2기계 Flow Shop FMS의 공구배분 법에 의한 가동률 분석”, 대한산업공학회/한국경영과학회, 2001 춘계 공동학술대회 발표논문 및 초록집, 193-201, 2001.
- [11] 조희중, “TPM 추진 및 성과측정 방법론에 대한 연구”, 석사학위논문, 고려대학교, 2007.
- [12] 충북TP/지식경제부; 지식서비스산업지원사업(생산컨설팅) 완료보고서, 2009.
- [13] 한국능률협회; 사내 IE기술과정, 1998.
- [14] 함효준; “설비종합효율이 영업이익에 미치는 영향 분석”, 대한설비관리학회지, 4(2) : 71-81, 1999.
- [15] LG반도체주식회사; 공장혁신 추진자 과정, 1996.

- [16] 武田 仁, KMAC 생산시스템혁신본부; 受注・生産・納入 同期生産 시스템, 한국능률협회컨설팅, 1992.
- [17] 坂本雄三郎; “日立にみる 半導體工場の 現場經營”, 日刊工業新聞社, 1990.
- [18] Demeter, K.; “Manufacturing strategy and competitiveness,” *International Journal of Production Economics*, 81(82) : 205-213, 2003.
- [19] Hipkin, I. B. and Cook, C. D.; “TQM and BPR : lessons for maintenance management,” *International Journal of Management Science*, Omega, 28 : 277-292, 2000.
- [20] Kwon, O.; “New Methodolgy for Measuring Equipment Performance and Managerial Effect in TPM,” Ph.D. Thesis, Korea University, 2005.
- [21] Jacobs, F. R.; Chase, R. B., and Aquilano, N. J.; *Operations and Supply Management*, 12th ed., McGrawHill, 2008.
- [22] McKone, K. E.; “Guidelines for investments in total productive maintenance,” Ph. D. Degree’s Thesis, Publication No. AAT9701326 : University of Virginia, 1996.
- [23] Shirose, K. O.; *New TPM Deploying Program : Processing/Assembly Version*, JIPM, Tokyo, 1996.
- [24] Suzuki, D. T. R.; *New TPM Deploying Program : Plant Version*, JIPM, Tokyo, 1997.
- [25] Swanson, L.; “Linking maintenance strategies to performance,” *International Journal of Production Economics*, 70 : 237-244, 2001.
- [26] Takahashi, R.; *The Secret Key of Success in TPM*, First Edition, JIPM, Tokyo, 1996.
- [27] Wang, F. K. and Lee, W.; “Learning curve analysis in total productive maintenance,” *International Journal of Management Science*, Omega, 29 : 491-499, 2001.
- [28] Weil, N.; “Make the most of maintenance,” *Manufacturing Engineering*, 120(5) : 118-126, 1998.