

# 설비종합효율의 지속적인 향상을 위한 방법에 관한 연구

이병관<sup>1</sup>, 오승민<sup>2</sup>, 이종환<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup>금오공과대학교 산업공학과 학생, <sup>3</sup>금오공과대학교 산업공학과 교수

## A Study on the Method for Continuous Improvement of Overall Equipment Effectiveness

Byung-Kwan Lee<sup>1</sup>, Seungmin Oh<sup>2</sup>, Jonghwan Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup>Student, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

<sup>3</sup>Professor, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약 기업의 경쟁력 강화를 위해 많은 기업들이 자동화를 진행하고, 제조업의 자동화는 생산성 향상이라는 성과를 가져 왔지만, 동일한 종류의 설비라도 모두 똑같이 최고의 설비종합효율로 운전하고 있지는 않다. 본 연구는 제조 현장에서 설비종합효율 향상을 위한 시스템을 고안하고 구축하여 성공적으로 실천한 사례를 바탕으로, 그 방법론을 구체화, 명확화 하여 어느 설비 어느 누구라도 쉽게 도입 적용할 수 있는 방법론을 만들기 위해 여러 회사에서 추가로 검증하여 성과를 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 '설비종합효율의 지속적인 향상을 위한 방법'의 혁신활동 개념을 정립하고, 추진 프로세스와 구체적인 개선 방법론들을 제안하여 많은 기업들이 성과를 올려 제조업의 생산성 향상에 기여할 수 있도록 제시하였다.

**키워드** : 경쟁력 강화, 설비종합효율, 생산성 향상, 지속적인 성장, TPM

**Abstract** In order to enhance the competitiveness of companies, many companies have achieved automation and automation of manufacturing has improved productivity. However, even the same type of equipment does not operate with the best overall equipment effectiveness. In this study, we devised and constructed a system to improve the overall equipment effectiveness at the manufacturing site, and based on the successful practices, we formulated and clarified the methodology so as to make a methodology The company verified the performance by further verification. Based on these results, the concept of innovation activity of 'Methodology doing Continuous Improvement of Overall Equipment Effectiveness' was established, and proposal process and specific improvement methodologies were suggested so that many companies could contribute to the productivity improvement of manufacturing by raising the performance.

**Key Words** : Enhance the competitiveness, Overall equipment effectiveness, Improved productivity, Continuous growth, TPM

\*Corresponding Author : Jonghwan Lee (shirjei@kumoh.ac.kr)

Received April 20, 2022

Accepted June 24, 2022

Revised June 6, 2022

Published June 28, 2022

## 1. 서론

최근 많은 사람이 스타트업으로 기업을 창업하고, 발전시키기 위해 노력하고 있다. 이미 케도에 오른 많은 기업도 지속적인 성장을 목표로 노력하고, 생산성 향상을 위한 혁신 활동을 추진하고 있다.

제조업의 자동화는 많은 기업에 생산성 향상을 통한 원가 절감과 산포 감소를 통한 품질향상이라는 성과를 가져다주었고, 고도의 숙련된 기능이 필요한 업무를 설비가 대체하는 결과에 이르렀다. 1971년 '닛폰덴소'에서 제창되어 시작된 TPM(Total Productive Maintenance)은 '전원참가의 생산보전'의 영문 머릿글자로 고장제로, 불량제로 등 설비의 로스나 낭비를 철저히 배제하여 설비효율의 극대화로 기업의 업적향상에 목적을 두고 실천되었다.[7]

설비종합효율 향상을 위한 활동은 TPM의 여러 활동 중 설비효율 극대화를 목표로 설비종합효율 지표를 향상시키기 위한 개별개선 활동이 추진된다. 많은 기업에서 설비종합효율이 관리가 체계적이지 않고, 일부 전문가 혹은 TF(Task Force)팀에서 개선활동을 실시하여 성과를 나타내고 있지만, 담당 현장의 일상 관리로 연계가 부족하여 지속적인 향상 및 관리가 안 되는 경우가 많다.

본 연구는 설비종합효율의 산포를 효과적으로 파악하고 원인계에 해당하는 설비의 가공점에서 양품조건과 주요 설비의 구성품, 그리고 작업방법의 산포를 쉽게 관리할 수 있는 시스템을 구축하여 유지와 개선을 통해 지속적으로 효율을 향상시켜온 사례 연구를 통해, 누구라도 쉽게 도입할 수 있는 방법론을 체계화시키는데 그 목적이 있다.

## 2. TPM혁신 활동의 이론적 고찰

### 2.1 TPM의 5가지 주요 활동

#### 2.1.1 개별개선

생산 시스템 효율화의 개별개선은 직제의 프로젝트 팀에 의한 활동과 현장 소집단에 의한 활동이 있다.

우선 모델설비를 선정하여 생산기술이나 보전 스텝, 라인 관리자, 직장 소집단 등의 관계자들로 프로젝트 팀을 만들어 설비효율을 높이기 위한 개별개선을 하여 사내의 실적으로 효과가 있다는 사실을 보여

주어야 한다.

모델 설비로는 넥크(neck) 공정으로 만성적 로스가 발생하며 개선하면 효과가 나타날 만한 것을 선정한다. 현재, 발생하고 있는 특수한 로스를 3-6개월의 단기간에 해결하여, 현장에 있는 고민을 해소하고, 또 오퍼레이터에게 개선의 효과, 추진방법을 보이는 계몽적인 역할을 한다. 극히 한정된 설비의 단면에서도 로스를 철저히 파헤치는 대책을 세워 실행하며 불량 "0", 고장 "0"를 실현해 본다. 실현해 보고 그것이 가능한 것이라는 것을 이해하고, 제로지향이란 무엇인가를 이해하고, 그 성과를 공장 내의 다른 유사설비에도 응용하여 확대해 나간다.

#### 2.1.2 자주보전

자주보전활동은 제조부문을 중심으로 한 오퍼레이터의 활동이다. 설비의 '기본조건을 정비하여 그것을 유지하고 > 사용조건을 지키고 > 총점검에 의해 열화를 복원하고 > 설비에 강한 오퍼레이터를 만들어 > 자주관리 한다.'라는 목표를 7 스텝의 전개 프로그램에 근거한 교육·훈련과 실천의 반복으로 실현한다.

스텝 방식의 자주보전 속에는 정리·정돈·청소·정결·습관화가 모두 포함되어 있다. 단면에 이 5가지를 다 하는 것보다 스텝방식이 훨씬 효과적이다.

TPM을 추진하려면 먼저 자주보전을 할 수 있는 능력을 오퍼레이터 개개인으로 하여금 익히도록 할 필요가 있다. 자주보전 체제를 만드는 것은 짧아도 3년, 길어지면 4년은 걸린다. 공장전체를 대상으로 하는 활동이기 때문에 시간은 걸리지만 얻어지는 효과나 이익은 매우 크다.

#### 2.1.3 계획보전

계획보전 체제 만들기는, 보전부문을 중심으로 하는 활동이다. 설비나 부품수명의 편차를 감소시키고, 고유수명을 연장하고, 정기적으로 열화를 복원하고, 수명을 예지하는 4 단계로 구분된 활동을 제조부문의 자주보전 활동과의 밀접한 연계를 피하면서 계획적으로 순서 있게 진행한다. 이렇게 부품의 수명을 최대한으로 연장한데서 우선 부품은 정기적으로 교환하는 정기보전 체제를 확립한다. 그리고 중요설비는 진단기술로 부품의 수명을 예지하고, 수명이 다하기 전에 부품을 교환하는 예지보전 체제로 이행한다.

초기에는 자주 보전의 지원, 특히 불합리 복원, 발

생원 · 곤란개소 대책으로 매우 바쁘지만, 먼저 설비의 강제 열화를 배제하고 수명의 산포를 없애는 것이 선결 문제다. 또 보전부문에서는 계획보전 체제 만들기의 일환으로서 보전작업의 효율화를 피하기 위해 예비부품의 관리, 금형 · 치공구 · 측정구류의 관리, 도면관리 등의 활동을 실시한다.

2.1.4 교육훈련

TPM의 모든 활동은 실행하는 사람이 필요한 지식과, 기능을 갖고 있지 않으면 추진되지 않는다.

앞의 개별개선, 자주보전, 계획보전을 뒷받침하는 것이 운전·보전 부문의 기술과 기능이다. 운전 오류, 수리 오류를 없애고 설비에 강한 사람을 만들기 위해서 기능 교육장을 설치하고 지속적으로 기능 향상을 꾀한다.

2.1.5 초기관리

기존 설비에 대한 개별개선, 자주보전, 계획보전 등의 활동에서 나온 설비 개선, 작업 개선, 발생원 · 곤란 개소 대책, 개량 보전 등의 여러 개선 정보를 신제품 · 신설비의 개발 단계로 피드백 하여 만들기 쉬운 제품개발과 사용하기 쉬운 설비를 제작한다. 이 설비 초기관리 체제 만들기는 생산기술 부문이나 보전 스태프가 중심이 되어 추진한다.

현재, 격변하는 시장 환경에서 제품의 라이프 싸이클은 점점 짧아지고 있다. 그러므로, 제품을 만들기 쉽고 품질보증하기 쉬운 것을 제품개발 · 설비단계에서부터 반영해 주면 설비설계의 연구나 제일선의 노력이나 개선만으로는 도저히 해결할 수 없는 제조상의 난점을 비교적 쉽게 해소할 수 있다.

신설비의 운전이 시작된 단계, 이른바 초기 유동기에는 트러블이 다발한다. 이것을 단기간에 해소하기 위해서는 초기 유동기뿐만 아니라 설비의 개념설계 > 기본설계 > 상세설계 > 제작·조달 > 건설·설치 > 시운전 > 초기유동이라는 일련의 흐름 속에서 빨리 트러블의 요인을 미리 해소해야한다.

3. 개별개선 활동 추진 단계

일반적으로 기업에서 TPM 개별 개선활동 프로젝트를 진행하게 되면 ‘테마선정 > 활동계획수립 > 현상파악 > 원인분석 > 목표설정 > 대책수립 및 실시 > 효과파악 > 표준화 > 사후관리 > 반성 및 향후

계획’라는 QC Story 10단계의 Flow를 따라 진행하게 된다. QC Story 10단계는 현장 품질향상을 위한 불량 개선활동 초기에 테마의 유형이나 업종의 특징에 관계없이 동일한 순서로 진행해도 현장의 문제점이 정리되고, 개선 아이디어가 도출되어 많은 효과를 가져올 수 있었다. 이후 설비자동화가 진행되며 TPM활동이 확산되는 시기에는 설비의 로스를 크게 6가지로 구분하여 각각에 적합한 원인분석을 추구하며 발전되어 왔다. 6대 로스 중 준비교체시간 단축이나, 공정재편성을 통한 라인밸런스 향상을 통한 생산성 향상 개선활동에는 테마에 적합한 분석 및 개선 기법들이 발표되어 확산되어 지고 있었지만, 대부분의 기업들에서 6대 로스 개선활동을 진행할 때는 기존의 QC Story 10단계가 여전히 많이 활용되고 있다.

4. 생산효율화의 기본 개념

4.1 설비의 신뢰도

신뢰도란 주어진 설비·기기·시스템 아래서 규정 기간 안에 요구된 기능을 수행하는 확률이다. 신뢰도가 낮기 때문에 고장이나 불량 발생이 뒤따르는 것이고 그 발생 사이클이 짧기 때문에 만성화되는 것이다.[6] 만성로스는 설비의 각 단계별 신뢰도에 기인하므로, 신뢰도를 향상시킬 수 있는 노력을 해야 한다.

4.2 복원의 중요성

복원이란 원래의 올바른 상태로 되돌리는 것을 말한다. 모든 설비는 시간이 지남에 따라 조금씩 변하는데 그 변화의 정도를 감지하고 원래의 올바른 상태로 되돌려야 한다. [6]

일반적으로 변화는 모르는 사이에 발생하는 경우가 많고 변화가 크지 않으면 확인할 수 없기 때문에 작은 변화는 지나치기 쉽다. 작은 변화는 방치하게 되어 돌발 고장으로 이어지거나 만성 손실의 원인이 되는 경우가 많다. 이런 변화의 정도를 열화라고 한다.[6]

열화에는 자연 열화와 강제 열화의 두 종류가 있다. 자연 열화란 빠르게 사용해도 물리적으로 진행되는 열화를 말하며, 강제열화란 인위적으로 열화를 촉진시키는 것으로 자연 열화보다 시간이 짧다. 따라서 열화의 상태를 확인하고 일찍 복원시키는 것이 바람직하다.[6]

### 4.3 바람직한 모습의 추구

바람직한 모습이란 설비의 기능과 성능을 최고로 발휘·유지하기 위해 구비해야 할 조건이다.

바람직한 상태란 공학적 원리·원칙으로서 바람직하고, 기능 중심 또는 이상적으로 생각할 때 바람직한 상태를 말한다. 유닛과 부품에 있어서는 '바람직한 상태'의 기준이 없거나, 있더라도 그 결정 방법과 기준에 문제가 있거나 지켜지지 않는 경우도 많다. 그리고 이것들을 충분히 검토하지 않은 채로 가동하기 때문에 고장·불량 등이 발생한다.[6]

### 4.4 미결함 중시 사고

일반적으로 결함에 대한 명확한 정의는 없지만 대결함·중결함·미결함으로 구분된다. 그 가운데에서도 대·중결함에는 중점을 두고, 미결함은 방치되는 경향이 있다.[6]

대결함이란 운전 불능(고장 정지)을 일으키는 결함을 말하고, 중결함이란 운전은 가능하지만, 그 결함이 독자적으로 품질 불량, 가동을 저하로 이어지는 결함, 미결함이란 하나만 개별적으로 발생하면 피해가 없지만, 다수가 발생하면 상승 작용되어 품질과 가동률에 피해를 일으키는 결함을 말한다.[6]

미결함을 방치하면 점차 커져서 치명적인 대결함이 되고 고장·불량이 발생 하거나, 강제 열화의 촉진으로 이어지므로 일찍 시정해야 한다.

### 4.5 조정의 조절화

조정이란 어떤 목적을 향해 시행착오를 반복하면서 달성하는 것이다. 조정 방법에 따라서 그 후의 트러블이 많이 발생하며 재조정, 미조정 등을 위해 손실이 발생한다.[6] 경험이나 판단에 의한 육감·요령을 활용하는 것이므로 개개인의 기능치로서 가장 잘 나타난다.

조절이란 기계로 바꿀 수 있는 것, 또는 기계적으로 할 수 있는 것이다. 즉 자동화·기계화, 계측 방법 개발에 의한 수치화, 설비·지그 공구의 정밀도 향상 등에 의한 작업의 단순화·간이화를 피하는 것이다.[6]

조정 작업의 내용을 충분히 검토하고 조정을 어떻게 조절로 바꾸는가가 중요하다. 조정 작업 가운데 50~60%는 조절로 바꿀 수 있다. 일반적으로 조정은, 해결하기 곤란한 것으로 착각하여 깊이 추구하지 않고 외면하여 방치 상태가 되는 경우가 많다.[6] 조정이라는 작업 아래 이를 피하는 구실이 되는 경우도

있으며 도저히 피할 수 없는 조정도 있지만, 조정 방법·판단·다음 작업으로의 이행 단계가 옳은지 순서를 철저히 분석 검토한다.[6]

## 5. 설비종합효율과 생산성

### 5.1 생산성

생산성이란 생산의 효율을 나타내는 지표이다.

노동생산성은 생산량과 그 생산량을 산출하기 위해 투입된 노동량의 비로서, 일반적으로 단위노동시간당 생산량 노동생산성이다.[10] 노동생산성의 고저에는 생산의 기계화 정도를 나타내는 자본장비율 이 큰 영향을 주므로, 그 영향을 제거하고 생각해야 한다. 자본장비의 영향을 제거한 것을 순생산성, 제거하지 않은 것을 조생산성이라 한다.[10]

자본생산성은 생산가치를 소요자본으로 나눈 것이지만, 실제의 계산에서는 생산가치를 고정자본으로, 생산량을 기계대수로, 생산량을 기계운전시간으로 나누는 방법을 쓴다.[10]

노동생산성과 자본생산성의 양쪽에 대하여 생산량을 사용한 것을 물량적 생산성이라고 한다.[10]

TPM에서 설비 생산성은 현장에서 설비의 문제점을 찾아 개선하기 위한 관리 목적으로 활용되어야 하므로 물량적 생산성을 중시하여, 생산량을 기계 운전시간으로 나누는 방법으로 계산하여, 이를 설비종합 효율이라 부르고 관리한다.

### 5.2 설비종합효율과 경영성과

#### 5.2.1 설비종합효율의 구조

설비종합효율은 같은 설비 제조업체의 같은 종류 설비에서도 차이가 발생하며, 하나의 설비에서도 매 동작마다 차이가 발생한다. 이러한 차이는 결국 설비를 오퍼레이팅 하는 사람의 지식과 기능, 설비에 대한 이해와 일하는 방식의 차이에서 기인한다.

$$\text{설비종합효율} = \frac{\text{이론 Cycle Time} * \text{양품생산량}}{\text{부하시간}}$$

설비종합효율만 계산되어지면, 총량적로의 로스가 얼마인지, 가치적으로 얼마의 손실금액이 발생하는지는 알 수 있다. 하지만 총로스 중에서 우리가 관심을 가져야할 로스는 어떤 유형의 로스인지, 로스별 현상의 유형은 무엇인지 파악하기 어렵다. 따라서 많은

기업들은 설비 로스를 6대 로스로 구분하고, 종합효율을 세분화하여 시간가동률, 성능가동률, 양품률로 나누어 계산하여 개별적 로스의 크기를 파악한다.

설비종합효율은 아래 식으로 나타낼 수 있는데, 이는 시간가동률, 성능가동률, 양품률을 각각 구하여 곱한 후 설비종합효율을 계산하는 것이 아니라, 거꾸로 설비종합효율을 먼저 구하고 난 후 인수 분해하여 각각 구한다는 의미이다.

설비종합효율 = 시간가동률 × 성능가동률 × 양품률

시간가동률을 계산하기 위해서는 조업시간과 계획정지시간을 파악하여 부하시간을 구하고, 설비 정지 로스에 해당하는 시간을 파악하여야 한다. 이때 부하시간과 정지시간의 파악에는 설비 오퍼레이터가 고장정지나 준비교체 대기 등으로 인한 정지시간에 대해 정확히 기록하는 것이 중요하다.

$$\text{시간가동률} = \frac{(\text{부하시간} - \text{정지시간})}{\text{부하시간}}$$

성능가동률은 설비가 정지한 상태가 아니므로 오퍼레이터가 시간을 기록하는 것이 어렵다.

$$\text{성능가동률} = \frac{(\text{생산량} \times \text{이론 } C/T)}{\text{가동시간}}$$

즉, 성능가동률이 먼저 계산되어야 순간정지 시간이나, 속도저하에 의한 로스의 크기를 알 수 있게 된다. 6대 로스 중 순간정지 로스시간과 속도저하 로스 시간은 오퍼레이터가 먼저 계산하는 것이 아니라 나중에 계산 결과로 알게 되는 경우가 많다.

$$\text{양품률} = \frac{(\text{총생산수량} - \text{불량수량})}{\text{총생산수량}}$$

일반적으로 양품률이 99% 이상 되는 설비에서 불량로스가 시간적으로 종합효율에 미치는 영향은 미미하다. 하지만, 불량 발생 시 검사나 재작업을 위한 추가로스시간 발생, 불량 발생을 우려해서 속도를 저하시켜서 운전하는 속도 로스 등에 영향을 줄뿐만 아니라, F-COST(불량으로 인한 실패비용)에 미치는 영향이 크므로, 중요한 관리항목이다.

### 5.2.2 설비 6대 로스의 정의

일반적으로 로스는 생산부문의 원인이 아니라 관리상의 목적에 의해 발생하는 계획휴지를 제외하고, 설비 6대 로스라고 부르며 각각 기업의 업종과 생산 형태에 맞게 정의하여 관리한다. 1) 계획 휴지 시간 : 식사, 휴식, 회의, 행사, 교육, 재고조사, 대청소, 생산

계획상 정지 등 생산 부하가 없는 시간이다. 2) 고장 정지 LOSS : 설비 고장에 의해 비가동 된 시간이다. 3) 품목교체 LOSS : 생산 품종 변경 및 단량 변경, 준비 작업 등으로 설비가 비가동 된 시간이다. 4) 순간정지 LOSS : 일시 정지(원부자재, 용기 등의 원인에 의한 5분 이내의 순간적인 정지) 5) 속도저하 LOSS : 설비 이론 속도보다 느리게 가동하여 생산이 저하된 시간이다. 6) 불량 LOSS : 완제품 불량, 반제품 불량, 재작업 시간 로스 7) 초기수율 LOSS : 출근 후, 점심시간이나 휴식 후 작업을 시작할 때, 설비가 첫 제품을 생산할 때까지 지연되는 시간이다.

하지만, 설비의 운전상황이 공정에 따라 다르고, 생산 운영전략에 따라 다르기 때문에, 각 기업에서는 개선 목적에 맞게 자사의 전략적 판단에 따라 6대 로스를 구체적으로 정의하여 활용해야 한다.

### 5.3 기존 설비종합효율 관리상의 문제점

설비종합효율은 생산이 완료된 후 생산량과 부하시간이 파악되면 미리 정해진 표준시간(이론C/T)과 함께 계산이 된다. 설비종합효율 관리 시스템이 ERP나 MES시스템에 구비된 기업에서는 설비종합효율이 매일 계산되고 저장되어지고 있다.

효율이 낮아지면, 어느 설비 어느 제품에서 낮아졌는지, 설비 정지의 원인이 무엇인지 파악하고 있는 경우도 있지만, 이러한 경우에도 해당일 해당생산로트의 원인 해석은 부족하고, 일반적인 개선 포인트만 추구하는 경향이 크다. 여러 건의 개선을 실시해도 설비 효율 향상에 기여하는 원인의 근본적 제거가 미흡하여 좀처럼 효율 향상의 효과가 나타나지 않는 경우가 많다. 이는 설비종합효율의 지속적 개선을 위한 시스템이 미비하여 효율의 고저에 대해 1차적으로 설비와 가장 많은 시간을 함께하는 오퍼레이터의 설비에 대한 관찰결과가 파악되지 않고 지나치게 되어 버리기 때문이다. 효율에 대한 관심과 효율 계산, 시간별 또는 일일 효율 추이의 관찰, 효율 저하 시 초동수사에 해당하는 설비에서의 로스 원인 분석 등의 관리 시스템이 미비하다.

## 6. 설비종합효율과 지속적 향상을 위한 관리시스템

### 6.1 지속적 설비종합효율 향상을 위한 개선점

### 6.1.1 결과계 관리에서 원인계 관리로

설비종합효율은 매일 시간별 또는 LOT별로 발생하는 산포의 현상과 원인에 대한 발생 시점의 상황이 매우 중요하며, 이를 기록하고 반복되는 현상에 대한 원인계의 근본적 분석이 중요하다.

생산계획에 대해 생산을 마감하게 되면 생산현장에서는 별도로 분석 등의 행위 없이 하루를 마감하는 현상이 많다. 또한 생산 결과로서의 설비 로스가 발생해도 원인분석까지 이르지 못하고 현상의 기록에 그치게 되는 경우가 많다.

로스의 원인은 생산 과정에서 발생하게 되므로, 운전중 설비의 동작 상태와 이에 따른 공정조건, 운전중 작업자의 행동, 운전중 투입되는 재료의 산포에 대한 분석이 가능한 조건과 실력을 갖추고 관리해야 한다. 이를 원인계 관리라 할 수 있으며, 효율관리 시스템에 의한 매일 매일의 분석과 기록에 의해, 누적되는 원인분석 내용의 총별화와 근본원인 추구에 의해 점차 발전될 수 있다.

### 6.1.2 오퍼레이터의 일일관리

설비종합효율의 산포가 발생하는 이유는 생산의 4요소인 4M(Man, Machine, Material, Method) 때문이다. 이러한 산포는 실시간으로 발생하는 변동으로서 설비 주변에서 관리하는 오퍼레이터는 해당 산포의 원인을 알 가능성이 높다. 만일 정확한 원인을 모른다면 하더라도 어느 정도의 추정원인은 알 수 있다. 하지만 시간이 흘러 며칠 경과하면 그 원인이 무엇이었던지 기억하기 어렵다. 따라서 매일 효율의 산포에 대한 일일 관리가 중요하다. 이를 위해 일일 효율관리 시스템을 구축해야 한다. 설비나 공장의 운영 현황에 따라 수기로 기록하기도 하고, 자동화된 설비로 IT를 활용하여 관리하기도 하는데, 오퍼레이터는 매일 실시간 Real Time으로 설비의 효율을 알 수 있어야 한다.

효율의 관리하한 기준을 설정하고, 미달한 경우 원인을 구체적으로 파악하여 기록하는 시스템이 중요하다. 일반적으로 설비종합효율을 일일관리하고 있는 현장이라 하더라도 하루 생산이 마감되기 전까지 효율이 얼마인지 모르는 경우가 많다. 하지만 일일관리가 습관화 되어 있는 현장은 작업이 완료되지 않아도 작업 중에 실제로 현재의 작업속도나 설비 운전 속도, 생산량이 정상인지 이상인지 알 수 있고, 그 시점에서 설비나 공정의 문제점이 무엇인지 인지할 수

있게 된다. 이렇게 시점관리가 가능해지면 결과계 관리에서 원인계 관리로 발전하게 된다. 이는 사후 관리에서 예방관리로 발전하게 된다는 것을 의미한다. 불량이나 고장이 발생한 후에 조치를 취하는 업무에서, 불합리나 미결함 단계에서 이상을 인지하고 조치함으로써 생산효율 저하에 영향을 주는 인자들을 미리 발견하여 사전 대책을 취하는 능력이 향상되어 지는 것이다.

### 6.1.3 관련 담당자들의 주기적인 원인 총별과 개선안 수립

현장의 일일관리 결과물은 관련 담당자들이 함께 머리를 맞대고 정확한 원인을 분석하고 개선아이디어를 궁리하여 개선이 실시되어야 한다.

현장에서 설비효율 저하의 현상과 원인은 오퍼레이터가 제일 잘 파악할 수 있지만, 개선아이디어 도출과 개선 실시에는 기술, 설비 파트와 관리자들의 의사결정이 필요한 경우가 많다. 매주나 격주로 모여서 관련 담당자들이 회의를 통해 분석된 원인을 총별하여 근본원인을 도출하고 재발방지 대책을 실시하여 다음달 결과를 확인하고 추가 원인분석과 개선으로 이어질 수 있도록 하여야 한다.

효율 저하를 가져오는 현상과 원인은 매번 새로운 현상이 나타나는 것이 아니라 같은 부위 같은 현상이 반복 되어지는 항목이 많다. 만성적으로 반복되는 항목도 있고, 돌발적으로 발생했다가 사라지는 것처럼 보이는 항목도 있다. 여기서는 우선 돌발적인 현상에 대해 관심을 가지고 근본대책을 취해 재발하지 않도록 하는 것이 중요하고, 여러 번 반복되는 만성적인 현상에 대해서는 설비 6대 로스의 어느 유형에 해당하는지 구분하여 현상분석부터 적합한 개선 개념을 가지고 적합한 분석기법을 선택하여 효과적으로 원인 해석을 실시해야 한다.

### 6.1.4 개선 결과에 대한 모니터링

개선 결과는 개선 실시 후부터 바로 현장에서 효과를 확인한다. 결과계인 고장이나 6대 로스의 발생 여부를 모니터링 하는 것도 필요하지만, 요인계에서 설비의 양품운전조건의 산포가 감소하는지, 산포가 발생하면 쉽게 알 수 있고 쉽게 복원이 가능한지, 강제 열화가 배제되고 자연열화 패턴으로 진행되는지 등의 모니터링이 중요하다. 또한 개선 내용은 크게 구분하면 고정요인과 변동요인으로 구분할 수 있는데, 대책

후 산포가 적어지는 요인을 고정요인이라 하고, 대책을 실시했지만 시간이 흐르면 다시 산포가 발생하기 쉬운 요인은 변동요인이라고 한다. 여기서 변동요인에 대해서는 주기적인 관찰과 주기적인 조치가 사후관리되어야 할 항목이다.

## 6.2 지속적 설비종합효율 향상을 위한 관리 프로세스

### 6.2.1 효율 관리 프로세스

지속적 설비종합효율 향상을 위해서는 공정별 실시간으로 설비종합효율이 산출되도록 시스템을 정비하고, 라인별 설비별로 일일 효율관리를 실시하여 돌발로스를 즉시 개선하고, 만성적 테마를 선정하고, 효과적인 개선을 실시한다. 효율관리 프로세스를 크게 3 단계로 나누어 첫째, 효율관리 시스템을 구축하고, 둘째, 일일관리의 정착, 셋째, 부문별 테마 개선으로 진행한다.

### 6.2.2 효율 관리 시스템 구축 단계

기존의 결과계 효율관리에서 원인계 효율관리로 전환하기 위한 첫 번째 단계로 기업의 생산 방식과 설비 운영방식에 맞춰 로스의 구분을 명확히 하고 로스 구조도를 작성하는 단계이다.

관련부서 회의를 거쳐 약 1개월 이내에 시스템을 갖추어야 한다. 우선, 로스 구조도를 작성하는데 근무 형태와 설비 운영의 특징에 따라 기업에 맞게 결정한다. 특히 계획정지 시간과 정지로스 시간의 구분을 명확히 한다.

계획정지 시간은 생산 이외의 원인이 되는 경우, 정지로스 시간은 생산에서 개선해야 할 항목으로 구분하는 것이 바람직하다. 정지시간의 파악은 시계 관측으로 할 것인지, 설비 정지 시 자동으로 기록되도록 할 것인지, 시작시간 종료시간의 기록 방법 등을 정한다.

많은 기업이 표준시간(이론C/T)의 설정에 어려움을 겪는 경우가 많다. 표준시간이 정확하면, 설비종합효율도 정확하게 계산될 수 있지만, 다소 정밀성이 미흡하더라도 우선 효율관리를 시작하는 것이 중요하다.

효율의 일일관리에서는 효율의 관리하한 기준 대비 산포를 관리하므로 기준 미달에 대한 원인을 분석하는데 있어서 영향은 크지 않다. 그리고 약 3~6개월 후에는 일일 효율을 근거로 표준시간을 검증하여 표준시간의 정밀성을 높일 수 있다.

### 6.2.3 일일관리의 정착

설비종합효율과 하위의 6대 로스는 실시간으로 관리되어야 한다. 이를 위해 최소 일일관리를 해야 하며, 가능하면 시간별 관리, LOT 관리가 되면 더욱 좋다. 요즘은 매 싸이클 관리가 가능한 설비도 점점 증가하고 있다. 일일관리는 현장 오퍼레이터의 기본 업무이며, 이를 정착시키기 위해서는 다음 4단계로 진행한다. 1) 매일 작업 완료 후 설비종합효율을 계산 및 확인하여 일지에 기록하거나 PC를 활용하여 시스템에 입력한다. 2) 최근 3개월 이상의 실적을 확인하여 관리하한 기준선을 설정한다. 3) 관리하한선은 돌발원인에 의한 산포가 관리되도록 기준을 설정한다. 4) 매일 효율을 기록 또는 입력할 때, 관리하한선을 미달 한 경우 반드시 원인이나 특이했던 현상을 파악하여 기록한다.

효율을 계산하고 입력하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 수기로 계산하고 페이퍼에 기록하는 방법, 현장 PC를 활용하여 EXCEL 시트를 활용하여 작업시간과 생산량 등 기본시간을 입력하면 PC에서 계산되어서 그래프로 확인하고 관리하는 방법, 설비 가동시간 생산량 등의 정보들이 설비 센서에 의해 자동 집계되어 모니터링 되어 관리하는 방법 등이 있다.

효율 관리 초기 단계에서는 현상이나 원인 포괄적이거나 부정확하고 결과계에 해당하는 경우가 많지만, 습관화 되면서 점차 구체적이고 명확해지고 원인에 해당하는 내용으로 파악하는 능력이 향상된다.

C사에서는 설비효율을 1일 1440분 가동을 100%로 보고, 정상 가동시간 추이를 모니터에서 관리하도록 했다. Fig. 1은 매일 가동시간의 추이를 외쪽 상단의 그래프로 나타내고, 로스를 16개 항목으로 구분하여 오른쪽에 각각 그래프로 추이를 볼 수 있도록 하였다.

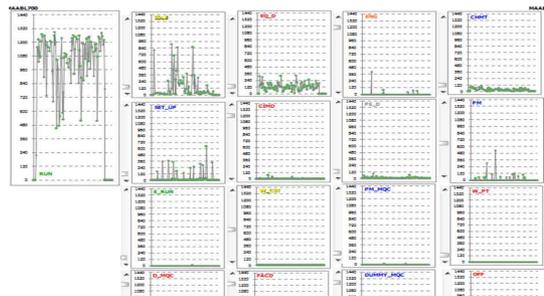


Fig. 1. Daily Uptime Management Sheet in C Com.

일일관리는 우선 전체 비가동 상태를 확인하고 정해진 관리하한 기준을 미달 했는지 확인한다. 다음 16개 로스 항목 중 해당일 돌발적으로 발생한 항목을 파악하고 현장에서 그 원인을 정확히 모를 경우에는 오퍼레이터들이 모여서 추정원인을 해석한다. 16개 로스 항목 중 돌발 항목에 우선 관심을 가지고 관련 요인들을 파악한다.

6.2.4 부문별 테마 개선

매주 또는 매월 기록된 원인을 가지고 관련 담당자들이 모여 근본원인을 분석하고 근치할 수 있는 개선안을 수립한다.

| 요율 저하 원인          | 7월 |   |   | 8월 |   |    | 9월 |   |   | 10월 |   |   | 개선안 |   |
|-------------------|----|---|---|----|---|----|----|---|---|-----|---|---|-----|---|
|                   | 1  | 2 | 3 | 4  | 2 | 3  | 4  | 5 | 1 | 2   | 3 | 1 |     | 2 |
| ASH 현상            | 1  |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| D/N 라일            | 3  | 5 | 7 |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| DC 모터 이상          | 4  | 4 |   |    |   |    |    | 1 | 1 | 4   | 2 |   |     |   |
| DC 모터 결선          | 3  |   |   |    |   |    | 11 |   |   |     |   |   |     |   |
| DIE HEAD 크레인      | 4  | 1 | 2 | 1  | 1 | 11 |    | 1 | 3 | 2   |   |   |     |   |
| DIE HEATER 이상     |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| DIE HEATER 결선     |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| DIE HEATER 차단기 이상 |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| DIE 온도 이상         |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| DIE 인디케이터 이상      |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F3 FEEDING 이상     |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F3 피더벨트 파손        |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F1 벨트재질 이상        |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F1 피더벨트 이상        |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F1 전류이상           |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F1 전원OUT          |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| F3 MASS FLOW 이상   |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| G/F 송출차 유입        |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |
| C/F 송출차 유입        |    |   |   |    |   |    |    |   |   |     |   |   |     |   |

Fig. 2. Reasons for the Decrease in Facility Efficiency by Level in M Company

일반적으로 미달 원인을 층별해 보면, 동일한 현상이나 원인이 반복되는 만성형 항목이 많은 건수와 시간을 차지하고 있고, 어느 시점 일시적으로 발생하여 조치를 취하면 당분간 나타나지 않는 돌발형 항목도 종류가 많다.

만성형 항목은 제품 제조의 원리상 설비의 자연 열화에 의해 주기적으로 발생하는 경우가 많다. 이를 만성원인이라 한다.

돌발형 항목은 한 번 발생하여 조치 후에는 1년 이상 발생하지 않는 경우도 있지만 대부분 몇 달 뒤 다시 나타나는 경우가 많다. 돌발 원인에 대해서는 조치 내용을 확인하여 복원적 대책과 작업근관개소 대책을 수립하고 즉시 실천할 수 있는 경우 바로 실천한다.

라인별 개선과제를 추려보면 6대 로스의 기여율이 라인에 따라 다르게 나타나게 된다. Fig. 3은 D사의 설비종합효율 집계표이다. 라인별 고장로스가 큰 라인, 준비교체 로스가 큰 라인, 불량 로스가 큰 라인,

순간정지가 큰 라인 등 6대 로스의 기여율이 다름을 알 수 있는데, 대부분의 기업에서 이와 같이 다르게 나타난다. Fig. 3처럼 라인별로 해결해야 할 과제를 선정한 후, 해당 로스의 현상과악과 원인해석에 적합한 분석방법을 적용하여 과제를 진행하는 것이 시행착오를 줄이고 효과를 크게 할 수 있는 방법이다.

| Line    | 총합요율      | 고장정지  | 품목교체 | 불량   | 운영   | 순간정지  | 관리    |
|---------|-----------|-------|------|------|------|-------|-------|
| 조립 Line | DWM #4    | 50.45 | 3.48 | 1.97 | 2.57 | 7.66  | 29.70 |
|         | 자동화       | 55.45 | 5.83 | 3.74 | 6.94 | 14.70 | 7.03  |
|         | TA #1     | 56.74 | 2.33 | 6.38 | 8.90 | 5.50  | 15.67 |
|         | Stator #1 | 65.95 | 3.32 | 2.11 | 0.22 | 5.83  | 18.14 |
|         | DWM #3    | 69.11 | 3.19 | 2.46 | 1.49 | 6.48  | 11.36 |
| 가공 Line | Rotor #6  | 65.24 | 3.95 | 8.16 | 1.94 | 8.19  | 9.10  |
|         | Rotor #2  | 65.74 | 9.20 | 7.64 | 1.24 | 5.32  | 6.53  |
|         | Rotor #5  | 75.75 | 3.83 | 4.47 | 4.88 | 7.24  | -0.02 |
|         | Rotor #7  | 77.65 | 4.07 | 8.55 | 2.39 | 6.16  | -4.20 |
|         | Rotor #3  | 80.24 | 4.97 | 1.58 | 0.62 | 4.84  | 3.08  |

Fig. 3. 6 Loss Improvement Tasks by Level in D Company

6.3 설비 6대 로스별 최적의 개선을 위한 방법론

6.3.1 고장제로 테마 개선

고장 제로를 위해서는 고장 층별 분석(X-Matrix)이 유용하다. 층별 분석을 위해서는 보전이력이 관리가 되어 있어야 한다. 보전이력 관리는 설비별 고장부품, 고장현상, 조치내용, 고장원인이 구분되어 기록되어야 한다. 현상분석 단계에서 층별분석 결과 나타난 중점부품별 고장까지의 수명을 조사하여 초기고장기, 우발고장기, 마모고장기로 구분하여 원인해석을 실시하면 보다 정확한 원인을 찾기 쉬워진다.

6.3.2 준비교체 로스 단축 테마개선

준비교체 작업시간의 로스를 감소시키기 위해서는 매회 준비교체 시마다 실적을 조사하여 그래프 분석을 한다. 기존 준비교체 시간보다 초과되는 산포의 원인을 분석한다. 현상분석 단계에서는 준비교체 작업을 단위작업 및 요소작업으로 세분한다. 준비교체 단위작업은 각각 내준비 작업과 외준비 작업, 낭비로 구분한다. 먼저 내준비를 외준비화 하고 교환작업의 낭비 제거, 조정의 조절화 연구를 통한 조정작업의 낭비 제거, 교체 후 준비 마무리 작업의 낭비를 제거하는 대책을 실시한다.

6.3.3 순간정지 제로 테마개선

순간정지 로스를 줄이기 위해서는 순간정지 데이

터 수집이 중요하다. 현상분석 단계에서 순간정지의 발생유형을 만성형, 돌발형, 소만성으로 구분하여 각각 원인해석을 실시한다. 만성형 순간정지는 동영상 촬영 후 진행형 현상을 관찰하여 근본원인을 찾고, 돌발형 순간정지는 조치내용을 증별하여 설비 정도와 복원 곤란개소를, 소만성은 기능점검형 초기정소 활동으로 근본원인을 찾는다.

6.3.4. 속도저하ロス 단축 테마 개선

속도저하 로스는 현상분석 단계에서 실제 작업 C/T를 최소 20 Cycle 이상 조사하여 산포를 분석한다. 표준시간보다 초과하는 Cycle에서의 작업산포가 발생하는 원인을 찾는다. 원인해석 단계에서는 사람 작업의 낭비와 설비 동작의 낭비를 찾는다. 평소보다 작업시간이 초과되는 경우에는 작업에 있어 불필요한 동작을 하게 하는 요인이 있다. 원인분석 단계에서는 과거 설비 속도를 높인 경우의 문제점을 찾아 그 대책을 확인한 후 속도를 높이고, 설비의 동작과 동작 사이 Idle Time과 설비안정성을 검토하여 설비 Capa를 향상시킨다.

6.4 지속적 설비종합효율 향상 활동성과 사례

Fig. 4는 본 논문에서 제시한 효율관리 프로세스에 따라 약 3년간 지속적 효율향상 활동을 실천한 H사의 사례이다. 효율관리 시스템을 구축하여, 오퍼레이터의 일일관리를 정착시키고, 매월 관련담당자들이 모여 만성적으로 발생하는 현상의 근본적 원인을 분석하고 개선대책을 실시하여 지속적 향상 결과를 가져올 수 있었다. 지금도 시스템화되어 관리되고 있으며, 향후에도 지속적 향상이 예상된다.

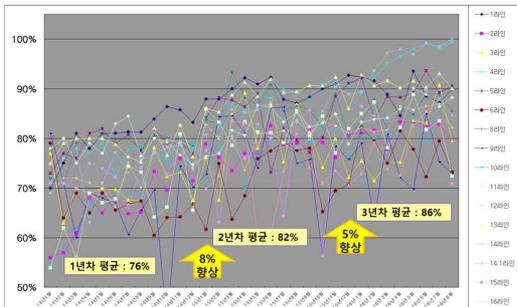


Fig. 4. 3 Year Total Facility Efficiency Trend in H Com.

6.5 설비종합효율 향상의 생산성 향상 기여도와 과제

설비종합효율은 일일관리의 정착을 통해 설비 6

대 로스의 유형에 따라 적합한 현상과악 방법과 원인 해석 방법으로 관련담당자들이 개선을 실시하여 성과를 올릴 수 있다. 하지만, 설비생산성 향상은 설비종합효율 향상만으로는 한계가 있고, 설비부하율을 향상시키거나 이론 C/T 단축으로 설비 CAPA를 올려 생산성을 높이는 방법이 있다.

우선, 작업로스에 해당하는 계획정지 시간을 분석하여, 관련 부서와 함께 개선하여 부하율을 향상시키는 과제가 있다.

이론 C/T 단축은 설비의 동작에는 동작 그 자체의 낭비가 숨어있는데, 설비간 유니트간 설비 밸런스 효율을 높이고, 설비 MCC(Machine Cycle Chat) 분석을 통해 벡크 유니트의 낭비개선으로 C/T를 줄인다. 설비의 동작과 동작 사이의 Idle Time을 분석하여 줄여 나간다면 동시동작이 가능한지 분석하여 개선을 실시한다. 또한 설비 속도를 향상시킬 경우 발생했던 문제나 예상되는 문제를 도출하여 해결해 나가면 이론 C/T를 줄일 수 있다. 설비와 설비, 설비와 사람간의 연합작업에서의 낭비를 줄이거나, 공정시간을 측정 분석하여 공정개선으로 표준시간 단축에 도전한다.

설비종합효율 향상과 병행하여 또는 설비효율 향상 이후에는 높은 설비 생산성 향상을 위한 과제를 목표로 지속적인 개선활동을 추진해 나가야 한다.

7. 결론

본 연구에 소개된 사례기업들은 교육과 의식개혁, 설비종합효율관리 시스템 구축을 통해 현장에서 오퍼레이터에 의한 효율관리가 이루어지도록 했다. 그 성과를 보면 돌발 중에서도 특히 튀는 돌발이 먼저 감소하고, 관리하한을 조금 넘는 돌발로스 들이 감소하여 산포가 줄어들며, 테마 개선으로 효율의 평균 추세가 조금씩 계단식으로 우상향 하는 모습을 볼 수 있다. 설비종합효율 향상은 생산성 향상으로 이어지고, 생산성 향상은 원가 절감으로 이어져 기업의 경영 성과에 기여하게 된다.

마지막 제언으로는 효율관리시스템에서 자동으로 집계되지 않는 공정에서는 생산량과 가동 비가동 시간의 입력방법을 검토하여, 실시간으로 쉽고 편하게 입력될 수 있는 방법을 강구하는 것이 지속적 관리에 꼭 필요하다. 향후 Smart Factory 도입과 구축에서도

설비종합효율 지표가 쉽게 입력되어지고, 쉽게 모니터링 할 수 있도록 연계시키면, 더욱 효과적으로 관리할 수 있고 지속적인 효율향상에 체질화된 공장의 모습을 보일 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- [1] Goto F. (1991). TPM point self-preservation 7 steps. *Korea Management Association Consulting*
- [2] Goto F. (1995). Facility Development and Design for TPM. *Korea Management Association Consulting*
- [3] Japan institute of Plant Maintenance. (1990). Our TPM : To completely expel breakdowns of manufacturing facilities. *Korean Standards Association.*
- [4] Japan institute of Plant Maintenance. (1996). Encyclopedia of TPM Facility Management. *Korea Management Association Consulting*
- [5] Japan institute of Plant Maintenance. (1996). The Case of TPM Success in the Device Industry. *Korean Standards Association.*
- [6] Japan institute of Plant Maintenance. (1996). New TPM Deployment Program. *Korean Standards Association.*
- [7] Nakashima S. (1985). Introduction to TPM for Production Innovation. *Korean Standards Association.*
- [8] Nakashima S. (1996). Management Innovation and TPM. *Korean Standards Association*
- [9] So D. (1993). TPM practice. *Korean Standards Association.*
- [10] the editorial department. (1997). Doosan World Encyclopedia. *Doosan Dong-A*

이병관(Byung-Kwan Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 학사
- 2017년 2월 : 금오공과대학교 컨설팅학과 석사
- 관심분야 : 컨설팅 마케팅

· E-Mail : bktpm@naver.com

오승민(Seungmin Oh)

[학생회원]



- 2017년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 산업공학부 학사과정

· E-Mail : 20170693@kumoh.ac.kr

이종환(Jonghwan Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 동국대학교 산업공학과 학사
- 2003년 12월 : Texas A&M University 석박사
- 2004년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 산업공학부 교수

· 관심분야 : 기술 컨설팅, 시스템 시뮬레이션

· E-Mail : shirjei@kumoh.ac.kr