

MES system based on real-time process capability management

Jin-Su Han*

*Student, Dept. of Computer & Information Technology, Korea University, Seoul, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose an MES system based on real-time process capability management and how to manage the manufacturing process using the system. The current MES system presents a KPI report that makes it easy to recognize the manufacturing site, but has not been able to derive an improvement method to improve the actual manufacturing site KPI. In other words, it is difficult to extract the cause of the increase in defective rate, decrease in yield, and increase in production lead-time, and to draw an improvement plan and apply it to the manufacturing site. The purpose of the MES system based on real-time process capability management proposed in this paper is to establish an manufacturing operation management system that overcomes the limitations of the existing MES by managing the distribution of major factors of the equipment that determines the process capability. In addition, by presenting a speed improvement method for real-time large-capacity data processing, it is intended to be applied so that the system can operate well.

▶ **Key words:** MES, SPC, Process Capability, cpk, cp

[요 약]

본 논문에서는 실시간 공정능력관리 기반의 MES(Manufacturing Execution System) 시스템과 해당 시스템을 활용한 제조 업무 수행 절차에 대해서 제안한다. 현 MES 시스템은 제조 현장을 쉽게 인지할 수 있는 KPI(Key Performance Indicator) 리포트는 제시하지만, 실질적 제조 현장의 KPI 향상을 위한 개선 방안은 도출하지 못하고 있다. 즉, 불량률 증가, 수율 감소, 생산 리드 타임(Lead-Time) 증가의 궁극적 원인을 발체하여 개선 방안을 도출하고, 이를 제조 현장에 적용하는 부분에는 어려움이 있다. 본 논문에서 제안하는 실시간 공정능력관리 기반의 MES 시스템은 공정 능력지수를 결정하는 설비 주요 인자의 산포도를 실시간으로 관리하여, 기존 MES 시스템의 한계 점을 극복한 제조 운영 관리시스템 구축이 목적이다. 그리고, 실시간 대용량 데이터 처리를 위한 속도개선 방안을 제시하여, 해당 시스템이 잘 운영될 수 있도록 적용하려고 한다.

▶ **주제어:** MES, SPC, 공정능력, cpk, cp

-
- First Author: Jin-Su Han, Corresponding Author: Jin-Su Han
 - *Jin-Su Han (jinshan80@thirautech.com), Dept. of Computer & Information Technology, Korea University
 - Received: 2020. 11. 02, Revised: 2020. 11. 25, Accepted: 2020. 11. 25.

I. Introduction

1.1 Background and Purpose

4차 산업혁명 시대의 제조 기업 환경은 고객의 다양한 요구에 따른 다품종 소량 생산의 유연성, 주문에서 제품 인도까지의 단 납기, 생산 리드 타임(Lead-Time) 단축 등 대량 생산에서 고객 중심으로 급격히 변화하고 있다. 이러한 환경에 대응하기 위해서 정보화 시스템의 활용은 경영 전략으로 필수 요소로 매우 중요한 일이 되었으며, 계획 관점의 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템과 제조 현장에서 발생하는 상황에 대해 직접적으로 관여하는 MES(Manufacturing Execution System) 시스템은 유기적 협력 체제의 구축이 강조되고 있으며, 많은 제조 기업들은 빠른 시대적 변화에 대응을 원하고 있다.

하지만, 현 MES 시스템은 제조 현장을 쉽게 인지할 수 있는 KPI(Key Performance Indicator) 리포트는 제시하지만, 실질적 제조 현장의 KPI 향상을 위한 개선 방안은 도출하지 못하고 있다. 즉, 불량률 증가, 수율 감소, 생산 리드 타임(Lead-Time) 증가의 궁극적 원인을 발췌하여 개선 방안을 도출하고, 이를 제조 현장에 적용하는 부분에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 공정 능력의 기본 개념과 SPC(Statistical Process Control)를 통해 실시간 공정능력관리 기반의 MES 구축방안을 제시하였으며, 이 방식을 통해 기존 MES 시스템의 한계점을 극복하는 데 도움이 되고자 한다.

1.2 Scope and Composition

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장은 연구 배경 및 목적을 설명하고, 제2장은 이론적 배경으로 MES 시스템과 SPC 시스템에 관하여 기술한다. 제3장에서는 실시간 공정능력관리 기반의 MES 시스템 구축방안을 제시하며, 마지막으로 제4장에서는 연구 결과 요약과 향후 과제를 제시한다.

II. Preliminaries

2.1 MES (Manufacturing Execution System)

MES 시스템은 제조 현장 및 자동화 설비 등과 ERP 등의 전사 시스템 사이에서 제조 실행을 담당하는 시스템을 말한다. 생산 계획을 제조 현장에 지시하고 공정 상황을 모니터링하여 적절한 자재 투입 상황을 통제하여 생산 실

적을 집계하는 동시에 설비 운전 정보를 수집하여 생산 통제가 필요한 상황을 판단하고, 적절한 조치를 수행토록 하는 통합적인 현장 관리 기능을 수행함을 의미한다. MES는 제조 공정의 자동화와 생산 관리 시스템의 발전 과정에서 등장하였다. 70년대에 자재 소요량 계획 (Material Requirement Planning)이 등장하고, 80년대에 제조 자원 계획(Manufacturing Resource Planning)이 소개되고, 90년대에는 ERP와 제조 현장의 통합 방안으로 MES 시스템이 주목받게 되었다. 시스템 기반의 제조 운영이 발전하는 가운데 제조 현장의 설비 및 물류 자동화와 정보통신기술을 통한 운영 방식은 지시/확인 순환을 넘어서 좀 더 신속하고 지능화된 제조 운영을 요구하게 되었다.

2.1.1 MES (Manufacturing Execution System)

MES는 1990년대 초 AMR (Advanced Manufacturing Research, 미국 보스턴 컨설팅 회사)에 의해 생산 계획과 제조 실행 간의 정보 차이를 제거하고, 실시간 정보 공유를 통해서 제조 현장 상황에 신속하게 대응하여, 생산성 향상을 도모하기 위해 만들어진 시스템이다.

일반적으로 제조 정보화 시스템은 Fig. 1과 같이 ISA-95 (Instrumentation, Systems, and Automation Society) 통합 모델의 계층적 구분으로 다음과 같이 표현될 수 있다. 생산 현장의 실제 프로세스는 Level 0, MES는 Level 3, 상위 시스템인 ERP, SCM(Supply Chain Management) 시스템은 Level 4 그리고, 설비 정보 수집 시스템은 Level 1~2 사이에 위치하여 생산 현장 정보의 수집/관리 및 생산 공정 모니터링을 수행하는 시스템으로 정의할 수 있다. [3][10]

ISA-95 통합 모델은 비즈니스, 제조 운영, 생산 제어 등을 계층적으로 구분하였으며, 제조 환경을 객체 모델(Object)과 활동 모델(Activity)로 구성하고, 각 계층의 인터페이스를 표준화하도록 하였다. MES는 동적인 정보화 시스템으로서, 정확한 제조 현장 정보를 활용하여 제조 현장에서 발생하는 다양한 이벤트에 대하여 지시/통제하는 기능을 수행한다. 또한, MES는 납기, 재고 회전율, 총수익, 현금 흐름 등을 개선할 뿐만 아니라 운영 자산에 대한 회수율도 좋게 하며, 제조 기업 및 공급망 전반의 영역과 양방향 정보 교환을 함으로써 생산 활동에 대한 중요 정보를 제공하게 된다. [6][8]

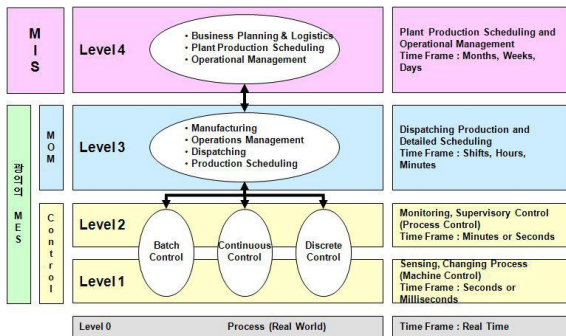


Fig. 1. ISA-95 Enterprise-Control Integration Standard

2.1.2 Purpose of introducing MES

제조 기업에서 MES 시스템 도입의 필요성은 크게 생산 관리 측면, 고객 서비스 측면, 경영 관리 측면으로 볼 수 있다.

1) 생산 관리 측면

생산의 추적성 확보를 위해 설비, 원자재, 작업자 등을 효율적으로 관리할 수 있으며, 생산 재공/재고에 기초한 생산 계획을 수립하여, 효율적인 투입/생산 실적을 집계할 수 있다.

2) 고객 서비스 측면

객관적인 생산과 품질 정보 제시를 통해서 고객 경쟁력 확보가 가능하며, 고객에 대한 품질 감사(Audit) 대응 능력을 확보할 수 있다.

3) 경영 관리 측면

실질적인 제조 현장 정보를 제공하기 때문에 신속한 의사 결정 지원이 가능하며, 자재 투입에서 제품 출하까지의 공정 현황 정보를 제공 받을 수 있다.

2.1.3 Main features of MES

MESA(Manufacturing Enterprise Solutions Association) 는 MES의 주요 기능을 Fig. 2.와 같이 대략 11가지로 구분하고 있다. [5][6][11]

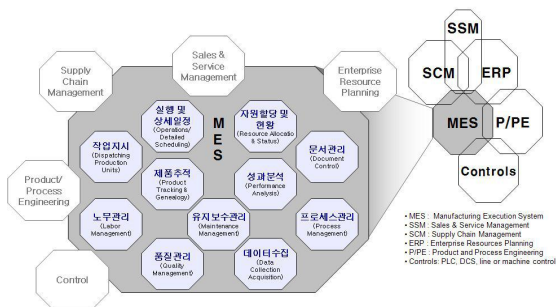


Fig. 2. MES Functional Model

1) Resource Allocation & Status

자원 (설비, 도구 등)이 제조 현장에 적절히 할당되어 있는지를 확인하며, 자원의 상태(Idle, Run, Down) 및 이력 정보를 확인한다. [5][6][11]

2) Operations & Detailed Scheduling

LOT 단위의 생산을 진행하는 경우, 현 제조 현장 상황을 고려하여, LOT의 생산 우선순위를 조정할 수 있다. 이는 긴급 작업지시서가 발행되었을 경우 유용할 수 있다. [5][6][11]

3) Dispatching Production Units

제조 현장의 생산 단위를 작업지시서, BATCH, LOT 단위로 구분할 수 있고, 이는 생산 추적성 레벨에 따라서 결정한다. [5][6][11]

4) Document Control

제품 디자인, Control Plan (관리계획), 작업지시서 등 제품 디자인 단계부터 양산 단계까지 필요한 모든 문서를 버전(Version)별로 관리하고, 해당 문서가 개정된 경우에는 각 관련 부서 팀에게 재배포한다. [5][6][11]

5) Data Collection & Acquisition

제품 생산 시, 설비 운영 데이터 (설비 상태, 운전 정보)를 수집하여 공정의 진행 상태를 확인한다. 그리고, 해당 데이터는 File, Message 형태로 수집될 수 있으며, 시/분/초 주기로 수집될 수 있다. [5][6][11]

6) Labor Management

모든 제조 공정이 무인 자동화 형태로 운영되지는 않기 때문에, 작업자의 단위 작업 행위에 대한 추적성 확보를 위해 관리하며, 일반적으로 사원증 바코드 스캔을 통해서 관리한다. [5][6][11]

7) Quality Management

제조 현장에서 품질 관리 영역은 크게 3가지(수입 검사, 공정 검사, 출하 검사)로 구분할 수 있으며, MES 시스템 구축 시에는 보통 공정 검사 부분만 구현하며, 수입 검사/출하 검사는 ERP 시스템을 일반적으로 활용한다. 공정 검사는 제품 생산이 완료되면, 최종 공정 검사를 통해서 제품의 양/불을 판단하며, 양품인 경우에는 완제품 창고에 입고되며, 불량인 경우에는 재작업 혹은 폐기 절차를 수행한다. [5][6][11]

8) Process Management

LOT 단위 생산 시, 작업지시서를 기준으로 원자재 창고에서 투입 자재를 공정 창고로 이동시키고, 전산과 실물을 일치시키기 위해 LOT 바코드 라벨을 발행한다. 작업자는 각 공정별 LOT 바코드 라벨 스캔을 통해 작업 시작/완료

정보를 구분하고, 모든 제조 공정이 완료되면, 투입 및 생산 실적을 ERP에 보고한다. [5][6][11]

9) Maintenance Management

설비의 주기적 예방 보전 및 고장 관리를 통해서, 생산 진행 시, 설비 이슈로 인해 생산에 영향을 미치는 일을 미리 방지한다. [5][6][11]

10) Product Tracking & Genealogy

LOT 단위 생산을 진행하는 경우, LOT ID로 데이터를 검색할 경우에는 다음의 데이터가 추적되어야 한다. (각 공정 별 생산 리드 타임 (Lead-Time), 설비 운전 조건, 투입 자재, 작업자 정보 등) 그리고, 해당 정보는 향후 불량 품이 발생할 경우에 불량 원인을 추적하기 위해 사용된다. [5][6][11]

11) Performance Analysis

주요 KPI 리포트는 생산 KPI (계획 대비 실적, 공정별 재공 실적 등), 품질 KPI (생산 수율, 생산 직행률, 불량률, 양품률 등), 설비 KPI (설비 효율, 설비 가동률 등)로 구분할 수 있으며, 해당 KPI 리포트를 통해서, 제조 현장 상황을 직관적으로는 파악할 수 있다. 하지만, 구체적으로 어떠한 부분이 어떻게 개선되어야 하는지는 판단할 수 없다. [5][6][11]

2.2 SPC (Statistical Process Control)

2.2.1 SPC (Statistical Process Control)

SPC는 1924년에 벨 연구소 직원이었던 Shewhart에 의해서 제안되었으며, 이후 Deming, Wheeler, Juran 등에 의해 현재까지 발전해 왔다. SPC는 제조 공정의 변동성과 안정성을 평가하는 것이 목적이다. 이는 시간에 따른 객관적 판단의 근거를 제공한다. 만약 공정이 주어진 기준 값 내에서 이루어지고 있다고 하더라도 비정상적인 변동이 발생하지 않도록 해야 한다. 즉, 측정값과 변동 모두 감시할 필요가 있으며, SPC에서는 대체로 이 두 가지 모두 관리의 대상으로 하고 있다. [2]

또한, SPC에서는 공정능력분석을 위하여 공정능력지수들이 이용된다. 공정 능력(Process Capability)이란 공정이 관리 상태에 있을 때 그 공정이 얼마나 일관성을 유지할 수 있는가를 나타내는 고유의 능력이다. 보통은 분산을 이용하여 나타내는데 주로 잠재적인 공정성능을 나타내거나 전체적인 공정성능을 분석하게 된다. 잠재적인 공정성능을 나타내는 인자로는 공정능력지수(Cp - Capability Process Index)와 공정적합지수(Cpk - Process Acceptability Index)가 주로 이용되며 Cp, Cpk의 계산식은 다음과 같다. [2]

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3 \cdot \sigma}, \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sigma}\right)$$

상기 공정능력지수는 실제 공정 산포와 허용 가능한 공정 산포를 비교한 수치이므로 공정 능력을 산정하기 위해서는 주어진 공정의 규격 상한(USL : Upper Specification -n Limit)과 규격 하한(LSL : Lower Specification Limit) 그리고 표준편차를 반드시 알아야 한다. [4]

SPC 자체가 모든 문제를 해결하고, 공정을 항상 발전시켜주는 것은 아니다. SPC는 공학적인 고유 기술과 접목되어 불량 원인을 쉽게 발견할 수 있도록 도와주며, 공정 능력 상태가 어떠한지를 탐지하여주고, 개선을 위해서 어떠한 대책이 합리적인가를 결정하는 데 도움을 준다.

2.2.2 Purpose of introducing SPC

SPC를 통해서 우리가 목표하는 가장 중요한 것은 품질 산포가 적고, 좀 더 균일한 품질의 제품을 생산해 내려고 하는 것이다. 즉, SPC 적 관리를 통하여 공정 변동을 줄여나가 고자 하는 것이며, 각 공정이 안정되게 관리되어 간다면 무결점으로 생산할 수 있으며, 고객에게 신뢰성 있는 제품을 공급하여 줄 수 있는 것이다. 결국, SPC를 통해서 향상된 품질은 생산 수율을 증가시키고, 생산성을 향상시키며, 원가 절감을 이루게 되며, 고객에게 만족스러운 제품을 제공할 수 있어서 고객과의 원만한 유대관계를 형성할 수 있다.

2.2.3 Main features of SPC

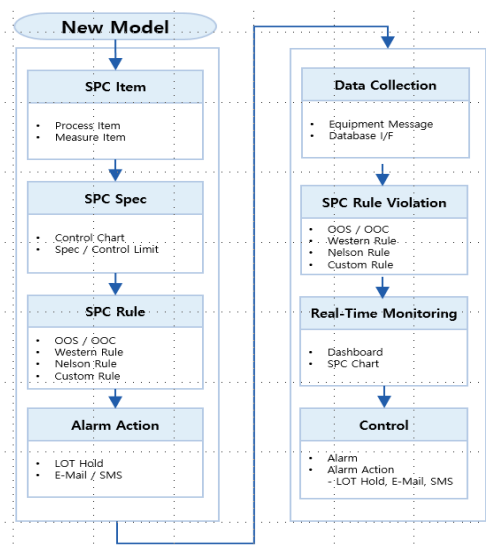


Fig. 3. SPC Main Function & Process

1) 기준 정보

SPC 주요 기준 정보는 다음과 같다.

- 제품 코드 / 라우팅 코드 / 공정 코드
- 설비 코드 / 공정별 설비 코드 연계
- 제품 / 라우팅 / 공정 / 설비별 SPC 변수
- SPC 변수별, Spec & Rule 정보

2) 데이터 수집

SPC 데이터는 설비를 통해서, 하기 Fig. 4와 같이 수집되며, 데이터 소스는 File, Database, Message 형태로 구분할 수 있으며, 일반적인 설비 데이터 수집방법은 다음 3가지로 정의할 수 있다.

- Sensor-based Interface [7][9]
- PLC-based Interface [7][9]
- Operator-based Interface [9]

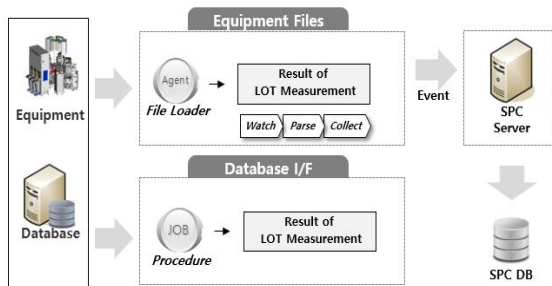


Fig. 4. SPC Data Collection

3) 이상 감지 및 모니터링

설비에서 수집된 데이터는 SPC 서버에서 Rule 이탈 내역을 실시간으로 체크하여, Fig. 5와 같이 모니터링 화면에 표시한다.

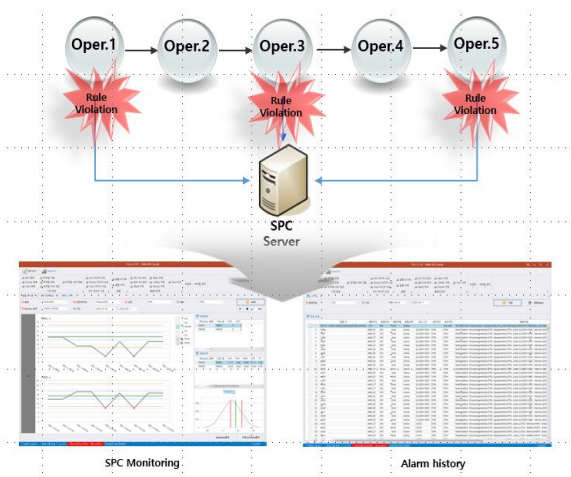


Fig. 5. SPC Detection & Monitoring

III. The Proposed Scheme

대부분의 제조 기업이 그러하듯이 오늘날의 복잡하고 급변하는 비즈니스 환경에 적응하고 살아남기 위해 신제품이나 서비스의 빠른 시장 대응 능력을 실현하고, 다양한 고객의 요구를 수용하기 위해서는 생산성 향상, 불량률 감소, 생산 수율 및 생산 직행률 증가의 실현을 통해 가능하며, 이를 위해서는 각 기업이 실시간 공정능력관리를 통한 제조 생산 방식을 취해야 한다. 하지만, 현 MES 시스템은 제조 현장의 상황을 쉽게 판단할 수 있는 KPI 지표는 보여 줄 수 있지만, 각각의 KPI 지표를 향상시킬 수 있는 구체적인 방안은 거의 제시하지 못하고 있다. 그 이유는 여러 가지 원인이 있겠지만, 하기 3가지로 요약할 수 있다.

1) 불량 발생 시, 이상 원인에 대한 분석 기능 미흡

각 제조 공정의 설비에서 수집된 데이터와 최종 완제품의 양/불에 대한 상관관계를 자동으로 분석해서, 불량 원인의 주요 인자를 통계적 기법으로 찾아서 관리할 수 있도록 가이드 해주는 기능이 부족하다. 최근에는 기계 학습 (Machine / Deep Learning)을 통해 진행 중이긴 하지만, 아직 현저한 성과를 보여주지 못하고 있다.

2) 실시간 공정능력관리의 중요성에 대한 인지 미흡

각 공장의 생산팀, 품질팀, 공정 기술팀에서도 불량 원인은 사후에 분석하여 제조 공정에 적용은 하고 있지만, 실시간으로 공정 능력을 관리하지 않고 있으며, 월별 데이터를 수집하여 참조 정보로써만 활용되고 있다. 이는 곧 공정능력지수를 결정하는 주요 설비 인자를 발취하지 못했거나, 발취는 하였지만, 해당 공정 능력 관리의 필요성을 느끼지 못하고, 오직 불량 제품이 나왔을 때만 사후 대응을 해도 된다는 생각 때문일 것이다. 이는 공정능력지수를 결정하는 설비 주요 인자 데이터의 산포도에 대한 중요성을 인지하지 못하고 있기 때문에 발생하는 문제이며, 또한, 생산 직행률 보다 수율에 더 많은 신경을 쓰고 있다는 것이다.

3) 설비 데이터 수집 환경 미흡

이 부분은 제조 현장에 대한 많은 투자가 필요하다.

본 논문에서는 상기 1), 2) 번에 대한 문제점을 극복하기 위해서 실시간 공정능력관리 기반의 MES 시스템과 해당 시스템을 활용한 제조 업무 수행 절차 그리고, 실시간 대용량 데이터 처리를 위한 속도개선 방안을 제시하여, 해당 시스템이 잘 운영될 수 있도록 적용하려고 한다.

3.1 Improvement of real-time data processing

대용량의 데이터를 실시간으로 처리하기 위한 방법은 하기 3가지로 요약할 수 있다.

3.1.1 Memory caching of standard information

SPC Rule 엔진(Engine)이 정상적으로 구동하기 위해서는 다음과 같은 기준 정보 데이터가 필요하다.

- 1) 제품 코드 / 라우팅 코드 / 공정 코드
- 2) 설비 코드 / 공정별 설비 코드 연계
- 3) 제품 / 라우팅 / 공정 / 설비별 SPC 변수
- 4) SPC 변수별, Spec & Rule 정보
 - 관리/규격 한계선, 타겟, SPC 관리도
 - SPC Rule (Western electric, Nelson 등)
 - SPC Rule 이탈 시, 액션 정보 (Alarm)

상기 주요 기준 정보는 SPC Rule 엔진이 설비에서 분/초 단위로 수집되는 데이터를 처리하기 위해서 1개의 Transaction이 수행될 때마다 해당 DB Table에서 기준 정보 조회 및 정합성 체크 후, SPC Rule 이탈(Violation) 결과를 DB Table에 저장하는 데 사용되기 때문에 Transaction 처리 속도를 개선하기 위해서는 해당 기준 정보를 SPC Rule 엔진의 전역 변수에서 초기 로딩 시, 캐싱(Caching)하는 방식으로 관리를 해야 한다. 물론, 시스템 운영 시, 상기 기준 정보가 추가 및 변경될 경우에는 시스템 런타임(Runtime) 상태에서 최신 기준 정보로 갱신(Refresh)을 할 수 있다. (SPC 엔진에서 기준 정보를 조회해서 전역 변수에 캐싱(Caching)해 주는 함수 호출)

상기와 같은 작업이 수행될 경우, SPC 엔진의 데이터 처리 속도는 DB Table 조회 때문에 발생할 수 있는 디스크 I/O Reading 속도만큼 개선될 수 있다.

3.1.2 Table queuing of runtime data

SPC Rule 엔진(Engine)의 Transaction 처리 결과를 저장할 테이블 구성은 다음과 같으며, 단위 Transaction 처리 순서는 1) >> 3) >> 2) 번 순으로 진행된다.

- 1) 원시(Raw) 데이터 저장 테이블
 - 설비에서 수집된 원시 데이터 자체를 그대로 저장함.
- 2) 결과 데이터 저장 테이블
 - 원시 데이터를 가공하여, 최종 결과를 저장함.
 - 결과 데이터 : 공정 능력, SPC Rule 이탈 결과 등
- 3) 임시 결과 데이터 저장 테이블
 - 상기 2) 번에 저장하기 이전에 SPC Rule 체크 속도

를 개선하기 위해 2) 번 테이블의 데이터를 각 조건 별로 20 ~ 30건에 대한 최신 데이터를 FIFO(First In, First Out) 형태로 저장하여 관리함. (조건 : 제품/ 라우팅/ 공정/ 설비별 SPC 변수들)

보통 SPC Rule을 체크하기 위해서는 최신 과거 결과 데이터가 20 ~ 30 건 정도가 필요하다. 그런데, 그럴 때마다 상기 2) 번의 결과 테이블에서 데이터를 조회해 올 경우에는 엄청난 디스크 I/O Reading으로 인해 Transaction 처리 속도가 현저히 저하되므로 3) 번과 같은 “임시 결과 데이터 저장 테이블”을 생성하여, 2) 번 테이블에서 발생하는 디스크 I/O Reading 속도만큼 Transaction 처리 속도를 개선할 수 있다.

3.1.3 Tread processing by WorkQueue of EQP

SPC Rule 엔진(Engine)의 Transaction 처리를 위한 스레드(Thread) 관리는 다음과 같으며, SPC 엔진 초기 로딩 시, 해당 작업을 진행한다.

- 1) 설비별 작업큐(WorkQueue) 생성 (FIFO 형태 적재)
- 2) 설비별 메시지(Message) 데이터 전송 (to SPC 엔진)
- 3) 메시지 데이터 파싱(Parsing) 후, 설비 코드 발췌
- 4) 기 생성된 작업큐와 설비 코드가 동일한 경우, 스레드 풀(ThreadPool)에서 스레드 1개를 해당 작업큐(Work-Queue)에 할당 후, 콜백 함수 (Callback Function : 이벤트 처리 함수) 실행

보통 초당 수십 개 ~ 수백 개의 데이터가 SPC 엔진에 수집이 되므로 상기와 같은 절차를 수행하지 않을 경우, Transaction 처리 시, DB 데이터 교착 상태가 빈번히 발생할 수 있기 때문에 해당 절차를 반드시 수행해야 한다.

3.2 System configuration

실시간 공정능력관리 기반의 MES 시스템의 “시스템 개념도”와 고가용성을 고려한 “시스템 구성도”는 다음과 같다.

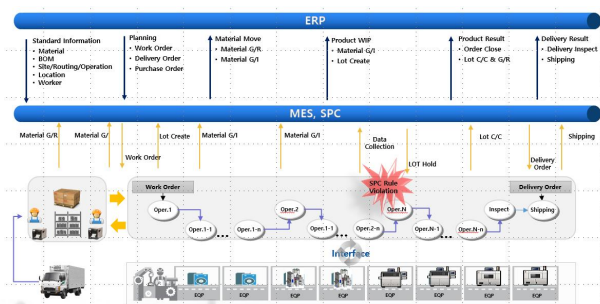


Fig. 6. System Concept

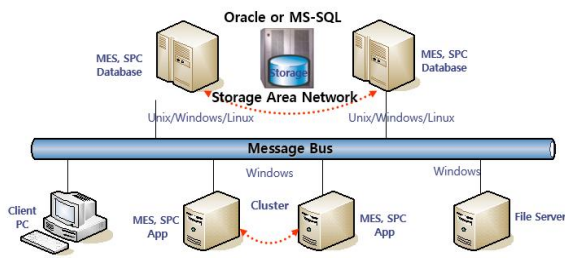


Fig. 7. System Architecture

Fig. 6.은 기존 MES 시스템에 SPC 기능을 탑재한 실시간 공정능력관리 기반의 MES 시스템의 개념도를 표현하고 있으며, 해당 시스템 개념도를 기준으로 실시간 공정능력을 관리하기 위한 구체적 수행 절차는 다음과 같다.

1) 설비 납품 회사를 통해 공정능력지수를 결정하는 초기 설비 인자(변수) 발체 및 적용

- 설비 납품 회사를 통해 발체된 주요 인자를 공정능력지수를 결정하는 변수로 활용하여 시스템에 적용한다.
- 예를 들면, 100개의 설비 인자 중, 10개 인자에 대한 각각의 공정능력지수 값을 산출하여, 가장 낮은 값을 해당 공정의 공정능력지수로 결정한다.

2) 설비 데이터 수집

- 각 공정별 설비 데이터를 초/분 단위로 수집한다.
- 설비 납품 회사에서 기본적으로 제공하는 주요 인자 이외에 설비 진동, 온도와 같은 데이터가 필요할 경우에는 별도의 센서(Sensor)를 장착하여 데이터를 수집한다.

3) 실시간 이상 감지 및 조치방법

- 이상 감지 시, 알람(Alarm)을 발생시켜서 작업자에게 Rule 이탈 결과를 공지한다.
- 작업자는 해당 생산 진행 중인 제품(LOT)이 불량으로 판정될 확률이 높으므로 생산 작업을 중지한다.
- 또한, 작업자는 설비 담당자에게 설비 점검을 요청한다.

4) 설비 점검 및 투입 자재 변경

- 설비 담당자는 설비 납품 회사에서 제공된 유지보수 매뉴얼을 통해 점검 활동을 수행한다.
- 상기 조치 이후에도 동일 증상 발생 시, 생산 담당자는 현재 사용 중인 투입 자재를 창고에 반납 및 공급사의 생산 일자가 다른 자재를 대체 투입한다.
- 상기 2가지 조치 사항에도 동일 증상이 재발생하면, 해당 설비는 생산 계획 오더에서 제외시키며, 이슈 이해관계자(설비업체, 자재 공급업체 등)와 문제 해결을 위한 업무 협의를 진행한다.

5) 공정능력지수를 결정하는 주요 설비 인자를 상관분석을 통해 재발체 및 적용

- 상관분석은 확률론과 통계학에서 두 변수 간에 어떠한 선형적 관계를 갖고 있는지를 분석하는 방법이며, 두 변수는 서로 독립적인 관계로부터 서로 상관된 관계일 수 있으며, 이때 두 변수 간의 관계 강도를 상관관계라고 한다. [1]

- 상관계수는 0.0 ~ 0.2 사이라면 상관관계가 거의 없고, 0.2 ~ 0.4 사이면 상관관계가 낮은 편이고, 0.4 ~ 0.6 사이면 상관관계가 있다고 말하며, 0.6 ~ 0.8 사이라면 상관관계가 높다고 말할 수 있고, 0.8 ~ 1.0이면 상관관계가 매우 높다고 할 수 있다. 단, 상관계수가 음수로 나오면 절대값을 취하면 된다. [1]

- 기 적재된 과거 데이터를 활용하여, 상기 상관분석을 통해 X-Y, X-X 비교를 통해 상관관계가 높은 설비 인자를 재발체하여, 시스템에 적용한다.

상기 수행 절차를 제조 현장의 업무 프로세스로 적용할 경우에는 최종적으로 공정 능력의 안정화로 귀결되기 때문에, 궁극적으로 생산 수율 향상, 생산 직행률 향상, 불량률 감소, 재작업 감소 및 생산성 향상을 극대화할 수 있다.

IV. Conclusions

많은 제조 기업들이 글로벌 경쟁 체제에서 원가 절감, 품질 향상, 납기 준수를 위해 많은 노력을 하고 있다. 실시간 공정능력관리 기반의 최적화된 MES 시스템은 공급망 관리 (Supply Chain Management)의 접점에 위치해 제조 업체들의 노력을 좀 더 효과적으로 수행하는데 많은 도움이 될 것이다.

제조 원가 절감, 품질 향상, 생산성 향상과 같은 KPI 목표는 단순히 MES 시스템만이 도입되어서 해결할 수 있는 부분은 아니다. 실제 각 공정의 능력을 평가할 수 있는 설비 주요 인자가 무엇인지 발체해서, 해당 스펙(Spec)을 설정하고, 실 데이터가 수집되었을 때 해당 데이터의 산포도가 타겟(Target) 치에서 일정하지 않을 경우, 비록 그 수집된 데이터가 관리 규격선 안에는 존재하지만, 향후 해당 공정 능력 지수 값이 낮아질 경우에는 분명히 다음 공정이든 동일한 공정을 거쳐서 생산되는 제품은 공정 능력치가 낮기 때문에 불량을 발생할 수 있는 빌미를 제공할 수 있어서, 공정 능력 지수가 안정화될 때까지는 지속적인 실시간 인터락(Interlock)을 통해 데이터의 산포도를 일정하게 관리해 주어야 한다.

공정 능력을 안정화시키는 목적은 결국 품질 향상을 고취시키기 위함이며, 사후 조치가 아닌 사전 조치를 통해

제조 원가를 줄이는 데 목적이 있다.

하여, 향후 연구에는 기 적재된 과거 데이터를 활용하여 회귀 분석(기계학습 : X -Y 분석 및 예측)을 통해 수율과 불량률까지도 예측하여, 각 생산 공정의 불량률을 증가시키는 원인을 다시금 발취할 수 있는 기반을 마련해야 한다. (예를 들면, 불량률이 10% 이상으로 예측되면 알람(Alarm)을 발생하여, 해당 불량률 증가 원인이 예측되는 공정에서의 문제점을 발취 및 해결하는 업무 프로세스 확립이 필요하다)

물론, 이를 수행하기 위해서는 실시간 빅데이터 처리 속도 개선에 대한 연구도 병행되어야 한다.

REFERENCES

- [1] Jin-wook Cha, Jang-young Kim, "Analysis of fine dust correlation between air quality and meteorological factors using SPSS", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 723, May 2018. DOI : <https://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.4.722>
- [2] Kwang-Ho Cheong, "Use of Statistical Process Control for Quality Assurance in Radiation Therapy", *PROGRESS in MEDICAL PHYSICS*, Vol. 26, No.2, pp. 60-62, June 2015. DOI : <https://doi.org/10.14316/pmp.2015.26.2.59>
- [3] Phyoungjung Kim, Sungwoong Hong, Yeonggyu Oh ,Daljoong Kim, "A Design of Realtime Data Sharing Platform of Production Equipment PLC", *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Vol. 21, No. 2, pp. 1178, November 2014. DOI : <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2014m11a.1177>
- [4] Do-Kyung Lee, "Issues on the Calculation of the Process Capability Index", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 37, No. 1, pp. 128, March 2014. DOI : <https://doi.org/10.11627/jkise.2014.37.1.127>
- [5] Seong-Hoon Lee, Dong-Woo Lee, "A Study on Intelligent Production Information in Digital Convergence", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 12, No. 2, pp. 297, February 2014. DOI : <https://doi.org/10.14400/JDC.2014.12.2.295>
- [6] Doo-Yong Lee, Jing-lun Zhang, Jung-Hwan Jang, Sung-hee Yoo and Chang-Ho Lee, "A Study on MES Construction for Automobile Plant in China", *Journal of the Korea Safety Management & Science*, Vol. 14, No. 4, pp. 266-267, December 2012. DOI : <https://doi.org/10.12812/ksms.2012.14.4.265>
- [7] Seung-Woo Lee, Jai-Kyung Lee, So-Jung Nam and Jong-Kweon Park, "Application of Data Acquisition System for MES", *The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 35, No. 9, pp. 1066-1067, September 2011 DOI : <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.9.1063>
- [8] GunYeon Kim, YooEui Jin, SangDo Noh, SangSu Choi, YongJu Jo, SeogOu Choi, "Implementation Strategy and Effect Analysis of MES for a Small and Medium PCB Production Company based on BPR Methodology", *Korean Institute of Industrial Engineers(IE interfaces)*, Vol. 24, No. 3, pp. 232, September 2011. DOI : <https://doi.org/10.7232/IEIF.2011.24.3.231>
- [9] So-Jeong Nam, Jai-Kyung Lee, Sung-Woo Lee and Jong-Kweon Park, "Acquisition of Data of Equipments on Shop Floor Using Interface Between Various Equipments", *The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 35, No. 2, pp. 151-153, February 2011. DOI : <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.2.149>
- [10] Jai-Kyung Lee, Seung Woo Lee, So Jeong Nam and Jong Kweon Park, "Design of Information Acquisition System for Equipments on Shop Floor", *The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 35, No. 1, pp. 40, January 2011. DOI : <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.1.039>
- [11] Yun-Ki Kim, Moon-Seol Kang and Byung-Ki Kim, "Design and Implementation of Web-based Factory Monitoring System for Complement MES", *The KIPS Transactions : PartD*, Vol. 9D, No. 4, pp. 668, August 2002. DOI : <https://doi.org/10.3745/KIPSTD.2002.9D.4.667>

Authors



Jin-Su Han received the B.S degree in Department of Control and Instrumentation Engineering from Korea University, Korea, in 2002. Also, he is currently studying for receiving the M.S degree in Department of

Computer & Information Technology from Korea University, Korea. He is interested in the systems that is used in factory for increasing the quality of product. such as MES, SPC, etc.