

Function Expansion of Human-Machine Interface(HMI) for Small and Medium-sized Enterprises: Focused on Injection Molding Industries

Sungmoon Bae*[†] · Sua Shin* · Junhong Yook* · Injun Hwang**

*School of Industrial and Systems Engineering, Gyeongsang National University
**KOSCA Co. Ltd.

중소기업을 위한 인간-기계 인터페이스(HMI) 기능 확장: 사출성형기업 중심으로

배성문*[†] · 신수아* · 육준홍* · 황인준**

*경상국립대학교 산업시스템공학과
**코스카

As the 4th industrial revolution emerges, the implementation of smart factories are essential in the manufacturing industry. However, 80% of small and medium-sized enterprises that have introduced smart factories remain at the basic level. In addition, in root industries such as injection molding, PLC and HMI software are used to implement functions that simply show operation data aggregated by facilities in real time. This has limitations for managers to make decisions related to product production other than viewing data. This study presents a method for upgrading the level of smart factories to suit the reality of small and medium-sized enterprises. By monitoring the data collected from the facility, it is possible to determine whether there is an abnormal situation by proposing an appropriate algorithm for meaningful decision-making, and an alarm sounds when the process is out of control. In this study, the function of HMI has been expanded to check the failure frequency rate, facility time operation rate, average time between failures, and average time between failures based on facility operation signals. For the injection molding industry, an HMI prototype including the extended function proposed in this study was implemented. This is expected to provide a foundation for SMEs that do not have sufficient IT capabilities to advance to the middle level of smart factories without making large investments.

Keywords : HMI, InTouch, Nelson's Rule, Smart Factory

1. 서 론

4차 산업혁명에는 스마트 제조 시스템의 도입을 통한 제

조업 혁신의 개념에서 시작되어 정보통신기술(Information and Communications Technologies: ICT)과 다양한 과학기술의 융합으로 발생하는 전 산업의 패러다임 변화의 개념으로 인식되고 있다. 세계적으로 각국은 4차 산업혁명에 집중하고 있다. 독일은 「Industry 4.0」, 미국은 「첨단제조 파트너십(AMP2.0)」, 일본은 재흥전략 및 로봇 신전략, 중국은 「중국제조2025」으로 4차 산업혁명에 대응하고 있다.

Received 28 November 2022; Finally Revised 13 December 2022;
Accepted 14 December 2022

[†] Corresponding Author : bsm@gnu.ac.kr

우리나라 정부도 4차 산업혁명에 대응하기 위한 정책을 수립하고 있다[16].

4차 산업혁명 시대의 스마트공장은 기존의 공장자동화 수준을 넘어선 차세대 디지털 신기술과 제조기술이 접목된 소비자 중심의 지능화된 공장이다. 제조업의 영향력이 큰 우리나라는 스마트공장을 도입함으로써 생산성 향상과 경쟁력을 강화할 수 있다. 2017년 4월 산업통상자원부 주형관 장관은 2025년까지 스마트공장 3만 개를 구축하는 『스마트 제조혁신 비전 2025』를 발표하였다. 하지만 우리나라 대부분의 중소제조기업들은 스마트공장을 도입한 지 얼마 되지 않았고 이 상황에서 이 기술을 계속 사용할지 여부를 고심하는 중소제조기업들이 많다[14]. 또한 국내 중소기업들의 스마트공장에 대한 기초적 이해 수준과 ICT인프라 도입 현실을 감안할 때, 스마트공장 구축을 위한 사전준비가 미비하고 상대적으로 제시된 표준화 플랫폼이 비현실적이라는 비판에서 벗어나지 못하고 있다[9]. 정부의 지원으로 스마트공장을 구축할 수 있었으나 현재까지 스마트공장과 관련된 대부분의 기술은 대기업을 위한 솔루션이기 때문에 제조업 발전을 위한 미래의 도구로서는 아직 미성숙하고 중소기업이 스마트공장을 체계적으로 구축하여 데이터 수집, 제조이행 시스템(Manufacturing Execution System: MES), 전사적 자원 관리(Enterprise Resource Planning: ERP), 공급망 관리(Supply Chain Management: SCM), 제품수명주기관리(Product Lifecycle Management: PLM) 등을 연계하여 인공지능, 빅데이터 기술을 적용하는 것은 매우 어려운 실정이다[7]. 최근 연구에 의하면 스마트화가 도입된 공장의 대부분의 수준이 수준 1, 수준 2에 머물러 있다고 조사되었다[6].

기초 수준의 스마트 공장은 생산현장에 MES 시스템을 구축하고, PLC(Programmable Logic Controller)와 인간-기계 인터페이스(Human Machine Interface: HMI) 소프트웨어를 활용하여 생산 및 설비 데이터를 효과적으로 제어하고 모니터링하는데 집중하고 있다. MES 솔루션은 다양한 스마트공장 공급기업이 있어 기업의 요구사항을 맞춤형으로 설계하고 구현하고 있지만, HMI 구현은 현장 연결 중심으로 국한되고 있다. 중기벤처부에 따르면 패널 PC 및 터치 패널(touch panel) 등 기본적인 HMI 기능 구현은 선도 수준이지만 스마트화 및 네트워킹, ICT 연계 기능은 초기단계라고 HMI 수준을 진단하고 있다. 즉, 현재 데이터 수집을 주로 하는 HMI는 단순히 설비에서 집계한 데이터를 실시간으로만 보여주는 데에 그치고 있어 이를 확장하여 설비관리 등의 분야로 기능을 확대할 필요성이 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 스마트공장에 충분히 투자하기 어려운 중소기업들이 조금 더 다가가기 쉬운 방법을 제안한다. 단순히 모니터링 및 제어 수준에 있는 HMI/SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템에 설비의 이상

패턴을 감지하고, 수집된 데이터를 기반으로 한 설비관리 기능을 포함하여 HMI를 확장하는 방안으로 단순히 데이터가 수집만 되고 의미있는 정보로 활용하지 못하는 실정을 개선하고자 한다. 이를 통해 시스템 확장에 어려움이 있는 중소기업에 스마트공장 중간단계로 발전할 수 있는 기반을 제공할 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 제2장에서는 관련된 선행연구를 고찰하고 본 연구와의 차이점을 분석한다. 제3장에서는 관리도의 패턴 분석을 위한 넬슨 규칙을 포함하여 설비관리를 할 수 있는 HMI 확장 기능을 제시하고, 제4장에서는 이를 실제 사출성형 공장을 대상으로 구현한 사례를 설명한다. 마지막으로 제5장에서는 구현한 시스템에 대해 논의하고 결론을 지으면서 향후 연구과제를 제시하였다.

2. 관련 연구

HMI는 스마트공장의 설비 및 장비의 정보를 실시간으로 수집하여 사용자의 목적에 따라 다양한 형태로 정의되고 구현되고 있다. 남성호[12]는 OPC(Open Platform Communications) 기반으로 HMI 구조를 설계하고 구현하여 유연성, 확장성, 개방성이 가능한 구조를 제안하였다. 황경환[4]은 PLC 등의 자동화 장비를 관리자가 효과적으로 제어 및 감시하기 위해, CNC(Computer Numerical Control) 설비 상태정보 모니터링 및 데이터베이스로 설비 정보 전송을 위해 시리얼 통신을 통하여 HMI를 구현하였다. 이영진[11]은 배전반 자동검사 시스템 개발에 HMI를 적용하여 제품의 품질관리와 데이터를 원격으로 모니터링하는 연구를 진행하였다. 노후화된 설비가 생산의 중심인 중소기업을 위해 오픈 소스 기반의 시스템을 개발하여 저비용으로 설비를 모니터링하는 방법을 제안한 연구도 있었다[17]. 기존의 연구들은 HMI 도입기에 새로운 구조를 설계하거나 구현하여 이를 현장에 적용하는데 중점을 두고 있으며, 모니터링하는 데이터를 활용하여 의미있는 정보로 가공하는 분야의 확장은 미흡한 편이다. 이에 본 연구에서는 HMI를 통해 모니터링하는 데이터를 활용하는 기능을 제안하고자 한다.

설비의 데이터를 분석하여 이상징후를 사전에 파악하고 조치하는 예지보전은 공장의 설비종합효율을 높이기 위한 방법으로 스마트 공장의 주요 기능으로 인식되고 있다. 설비 예지보전과 관련된 다양한 연구들이 수행되었지만 주로 사례연구 위주로 진행되어 왔다. 반도체 웨이퍼 반송로봇의 고장을 예측한 연구에서는 구동부 고장을 진단하기 위해 모터 제어 데이터를 수집하였으며, 이를 기반으로 고장 검출을 시도하였다. 이 논문에서는 특정 신호

값의 상하한선을 설정하여 고장을 검출하였으나, 대표파형을 다른 모델의 로봇에는 적용할 수가 없기에 범용성이 떨어지는 한계가 있다[2]. 자동 창고 시스템(Automated storage and retrieval system: AS/RS)의 핵심 설비인 스택크레인(stacker crane)의 고장 진단 연구에서도 상한선, 하한선과 같은 설정 기준값을 통해 고장을 예측하였으며 예지보전을 위해서는 센서 데이터의 주기적 측정이 전제조건임을 나타내었다[8]. 이명수[10]는 다이캐스팅 설비를 대상으로 인공지능 알고리즘을 적용하여 고장예측 프로토타입을 개발하였다. 이 연구에서는 설비에 대해 각 모듈의 기능을 정의하고 주요 고장모드인 유압펌프 파손 상황을 분석하여 고장원인 인자를 정의하였다. 그리고 그 인자의 데이터를 실시간으로 수집하여 유전알고리즘을 적용하여 사전에 고장예측을 할 수 있는 프로토타입을 개발하였다. 이 경우 특정 설비의 패턴을 인공지능 모델로 학습하여 적용하고 있지만, 학습 모델을 일반화하기 어려운 한계가 있다. 강성우는 예지보전의 접근에서 모델 중심적, 데이터 중심적 방향이 있는데, 스마트공장의 도입으로 표준화된 데이터 수집이 가능해짐에 따라 데이터 중심적인 예지보전을 수행하는 것이 가능하다는 연구를 수행하였다[5].

넬슨 규칙(Nelson's rule)은 공정의 변동을 파악하기 위해 사용하는 것으로 이상 패턴이 발생했는지 여부를 판단하는 기법으로 제조업 관리도(control charts)에서 주로 사용한다. 넬슨 규칙을 통해 모니터링 및 예측모형에서 실측 및 예측 데이터에 대해 이상 상황 여부를 판단할 수 있다. 사출성형 파라미터들이 설정된 값에 대해 정규 분포를 따를 때, 넬슨 규칙의 패턴이 감지된다면 해당 사출 파라미터에 이상이 발생한 것으로 보고, 이와 관련된 부품이나 설비를 체크해 보는 연구가 수행되었다[15]. 이 연구는 제품의 품질에 대해 적용되는 넬슨 규칙을 설비 예지 보전에 적용한 사례로서 설비의 이상 패턴을 찾아내는데 유용하다. 본 연구에서는 HMI 기반으로 수집된 설비 관련 데이터를 넬슨 규칙을 적용할 수 있도록 기능을 확장하여 중소기업이 이를 손쉽게 활용할 수 있도록 제안하려고 한다.

3. 이상 탐지를 지원하는 HMI 시스템

3.1 시스템 기능 확장

HMI 시스템은 생산현장에서 수집되는 가동, 비가동 상황 및 설비 관련 데이터를 실시간으로 사용자에게 디스플레이하고 이상상황을 감지할 수 있는 기능을 제공한다. 많은 경우 HMI 시스템은 생산라인을 직접으로 상황실에서 파악하기 위해 원격 카메라를 설치하여 데이터 모니터링과 함께 시각적으로 현장을 직접 볼 수 있게도 한다. 본

연구에서는 이러한 기존의 HMI 기능에 두 가지 기능의 확장을 제안한다. 현장에서 직접 수집된 데이터를 사용자가 시각적으로 인지하지 못하더라도 데이터의 이상 패턴을 미리 감지하고 알리는 기능과 가동, 비가동 데이터를 활용한 설비효율을 알 수 있도록 기능이다.

HMI를 통해 모니터링되는 파라미터의 설정치에 대한 실측치 값에 대해 이상패턴이 존재하는지 판단하기 위해 넬슨규칙을 적용하였고 이를 통해서 해당 파라미터에 관련된 설비나 기능에 이상상황이 발생했는지 예측할 수 있다. 설비에서 수집된 데이터의 이상 패턴은 관리도에서 사용되는 이상패턴의 감지를 적용하여 찾아낼 수 있다. 설비에서 수집되는 측정값들이 독립적이고 정규분포를 보이는지 확인하고 이를 모니터링함으로써 생산 제품의 품질에 영향을 미치는 값의 이상 상황을 미리 탐지하여 관리자에게 대비할 수 있는 기능을 제공한다. 넬슨 규칙은 모집단 데이터의 평균, 시그마를 기준으로 이상 패턴을 탐지하는데, 아래와 같은 8가지 규칙으로 구성된다[1, 13].

- 규칙 1: 관측치가 평균에서부터 3 시그마(σ)를 벗어난 경우 불량이라고 판단
- 규칙 2: 연속적으로 관측된 9개 이상의 관측치가 평균선 위 혹은 아래쪽에만 존재할 경우 불량이라고 판단
- 규칙 3: 연속적으로 관측된 6개 이상의 관측치가 증가하거나 감소하는 경우 불량이라고 판단(추세가 존재한다고 판단)
- 규칙 4: 연속적으로 관측된 14개 이상의 관측치 방향이 변갈아 나타나는 경우 불량이라고 판단
- 규칙 5: 연속적으로 관측된 3개의 관측치 중 2개 이상이 2 시그마 기준선 이상에 존재할 경우 불량이라고 판단(위, 아래 같은 방향)
- 규칙 6: 연속적으로 관측된 5개의 관측치 중 4개 이상이 1 시그마 기준선 밖에 존재할 경우 불량이라고 판단(위, 아래 같은 방향)
- 규칙 7: 연속적으로 관측된 14개 이상의 관측치가 1 시그마 기준선 내에 존재할 경우 불량이라고 판단(방향 상관 없음)
- 규칙 8: 연속적으로 관측된 8개의 관측치가 모두 1 시그마 기준선 내에 존재하지 않는 경우 불량이라고 판단(방향 상관 없음)

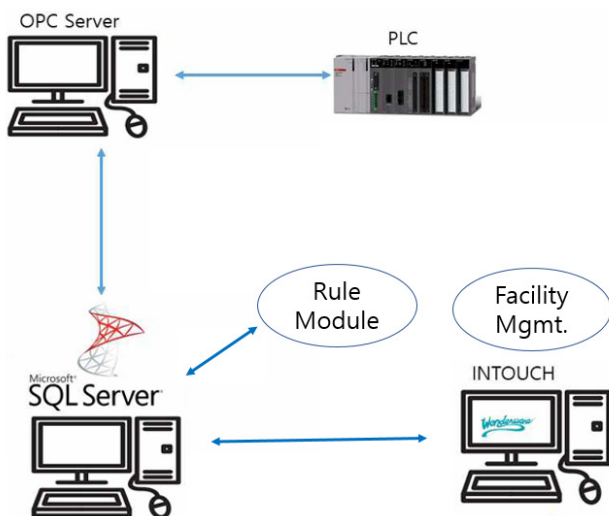
위에서 설명한 넬슨 규칙의 모든 규칙을 적용하여 모니터링 하는 것은 일부 규칙의 조합보다 불필요한 알람을 할 가능성이 8배 높다[3]. 따라서 시스템을 구현할 때 규칙을 선택적으로 적용할 수 있도록 유연하게 설계하여야 한다.

두 번째로 설비 가동, 비가동 데이터로부터 설비 현황을 파악할 수 있게 하는 기능의 확장이다. 중소 제조기업은

생산현장에 대한 파악이 상대적으로 어렵고, 보유하고 있는 설비의 기본 정보 - 최대 생산 가능량, 설비 가동률, 고장간격 등 - 도 명확하게 파악하지 못하는 경우가 있다. 기존 HMI에서는 설비의 가동, 비가동 정보는 수집되고 있어 이를 바탕으로 고장도수율, 설비시간가동율, 평균고장간격시간, 평균고장수리시간을 계산하여 설비의 상태를 파악할 수 있도록 한다.

3.2 시스템 구조

전형적인 HMI 시스템은 센서 데이터 신호를 수집하는 PLC가 하부에 존재하고, HMI와 PLC를 연결하는 OPC Server가 네트워크 중간 계층에 있다. OPC 서버는 각종 기기종 설비 간의 데이터를 표준화하여 수집하는 기능을 한다. 그리고 실시간으로 수집한 원본 데이터를 저장하는 데이터베이스, 그리고 수집된 데이터를 통해 화면에 보여주는 기능이 있다. 확장된 HMI 시스템의 구조는 <Figure 1>과 같다. 확장 기능은 HMI와 연동되어 구현되어야 하는데, 이상 패턴을 탐지하는 기능은 데이터베이스(DB)의 저장 프로시저(stored procedure)를 활용하여 구현한다. 실시간으로 입력되는 데이터를 별도의 기능으로 구현하여 다시 DB를 접속하는 경우 데이터가 수집될 때마다 DB에 연결하여 데이터를 가져오기 때문에 전반적인 속도가 느려지고 여러 번 서버를 호출해야 하고 SQL 코드가 노출될 가능성이 있다. 저장프로시저는 여러 개의 명령어가 한 곳에 있고 미리 컴파일 되어 있기 때문에 속도가 빠르다는 장점이 있고, 저장프로시저만 호출하면 데이터베이스가 내부적으로 처리하고 결과만 제공할 수 있어 매우 단순해진다. SQL 코드의 노출 문제 역시 프로시저 이름으로만



<Figure 1> Expanded HMI System Structure

호출하기 때문에 SQL 명령어가 노출되지 않아 보안 측면에서도 유리하다. 이렇게 저장 프로시저를 통해 기능을 구현하고, 이상상황이 발생하면 이상 상황을 저장하는 테이블에 값을 입력하면, DB 트리거가 동작하여 사용자에게 경고 알람을 하게 된다. 설비관리 확장은 이상탐지 기능과 달리 실시간 처리를 필요로 하지 않기 때문에 별도의 프로그래밍 언어(예를 들어, C#)를 활용하여 HMI 시스템과 연동하여 화면에 정보를 표시한다.

4. 사출성형 지원 HMI 확장 시스템 구현

4.1 사출성형 품질요소 도출 및 구현 환경

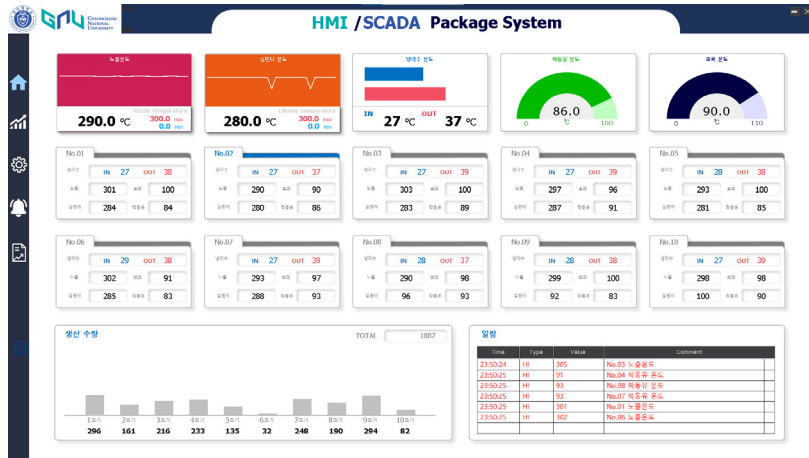
본 연구에서 제안하는 HMI 확장 구조를 사출성형 기업에 적용하기 위해 시제품을 개발하였다. 사출 성형 산업은 사출기를 주축으로 사출품에 대한 검사나 조립 혹은 도장까지의 후공정으로 이루어져 있는 산업이다. 품질에 있어 가장 중요한 요소는 금형의 온도, 사출의 속도, 소재의 배합으로 사출품의 외관/중량/연성/강도 등이 있다. 본 연구에서는 HMI 시스템에서 주요 요소인 온도와 관련된 요소(노즐온도, 실린더 온도, 냉각수 입력/출력 온도, 작동유 온도, 호퍼온도)에 대해서 모니터링을 하는 시제품을 개발하였다.

노즐의 온도가 너무 낮으면 노즐 내에 고화된 표층이 형성된다. 이 고화된 표층이 어느 단계에서 사출되면 표면 불량 발생하게 되므로 관리가 필요하다. 냉각수 온도는 제품의 품질이나 금형의 내구성 작동상태에 지대한 영향을 미치므로 관리가 필요하다. 작동유의 온도가 관리되어야 최상의 점도를 유지시켜 유압부품 특히 펌프와 계량 모터 등의 마모를 최소화시킬 수가 있어 관리가 필요하다. 호퍼는 실제로 수지가 사출성형기와 처음으로 접촉하는 곳으로 품질관리가 시작되는 곳이므로 관리가 필요하다.

확장 시스템의 구현은 기존 HMI 소프트웨어를 기반으로 구현되었는데, 아래와 같은 환경을 사용하였다.

- HMI 소프트웨어: 윈터웨어 InTouch
- OPC UA: 다케비시 DeviceXplorer
- 데이터베이스: MS SQL Server 2014
- 프로그래밍 언어: C#
- 개발환경: 비주얼 스튜디오 2019

<Figure 2>는 InTouch로 구현한 HMI 패키지 초기 화면으로 각 설비의 노즐 온도, 실린더 온도, 냉각수 입력/출력 온도, 작동유 온도, 호퍼 온도를 확인할 수 있다. 기존 시스템은 모니터링 측면에서는 우수하지만 설비관리나 이상패턴 감지를 하기 어려운 면이 있다.



<Figure 2> Initial Screen of HMI Package

4.2 벨슨 규칙 기능 설계 및 구현

위에서 정의한 품질요소의 값은 PLC의 센서를 통해 수집되어 데이터베이스에 값을 저장하고, MS SQL 서버 내에 구현한 저장프로시저를 이용하여 규칙을 적용한다. 이를 위해 필요한 테이블은 기본 환경 설정을 하는 env_var 테이블, 품질요소 값이 저장되는 value 테이블, 위반된 벨슨룰을 저장하는 warn 테이블이 있다. 다음 <Figure 3>은 value 테이블에 모니터링하는 센서 데이터 값이 삽입된 화면을 보여주고 있다.

eqID	senID	val	time
eq1	sen1	7.8	2021-05-01 08:30:00.000
eq1	sen1	5.5	2021-05-01 08:40:00.000
eq1	sen1	7.4	2021-05-01 08:45:00.000
eq1	sen1	4.6	2021-05-01 09:00:00.000
eq1	sen1	6.3	2021-05-01 09:05:00.000
eq1	sen1	5.5	2021-05-01 09:10:00.000
eq1	sen1	6.9	2021-05-01 09:15:00.000
eq1	sen1	4	2021-05-01 09:25:00.000
eq1	sen1	7.1	2021-05-01 09:30:00.000
eq1	sen1	5.8	2021-05-01 09:35:00.000
eq1	sen1	7.8	2021-05-01 09:40:00.000

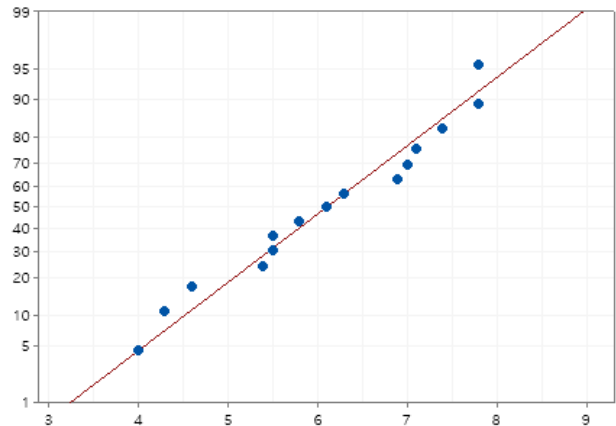
<Figure 3> Screen Shot of Value Table

이와 같이 입력된 값은 저장 프로시저로 구현된 벨슨 규칙으로 테스트하게 된다. 다음 코드는 규칙 4에 대한 저장 프로시저 알고리즘을 나타낸 것이다.

```

set @r1 = @data1 - @data2
set @r2 = @data2 - @data3
if(@r1 * @r2 < 0) -- 번갈아 나타난다면
    r1*r2 가 음수
    set @cnt = @cnt + 1 -- 음수면 cnt +1
    if(@cnt=12) -- 값이 계속 증가하거나 감소
        -- warn 테이블에 장비id, 센서id, 날짜 삽입
        insert into warn values( @eqID,
            @senID, 4, '-',GETDATE())
    
```

구현한 벨슨 규칙이 잘 동작하는지 검증하기 위해 각 규칙에 대해 규칙을 위반하는 테스트 케이스를 작성하였다. 테스트 케이스의 데이터셋은 정규성을 따라야하기 때문에 미니탭을 이용하여 정규성 검사를 실시하였고, 각 테스트 케이스를 정규성 검사한 결과 모두 p-value 값이 0.05 보다 크며 정규성을 따르는 것을 확인하였다. <Figure 4>는 해당 테스트 케이스를 이용하여 노즐 온도에 대한 정규성 검사를 실시한 결과를 나타낸다.



<Figure 4> Normality Test Result of a Test Case

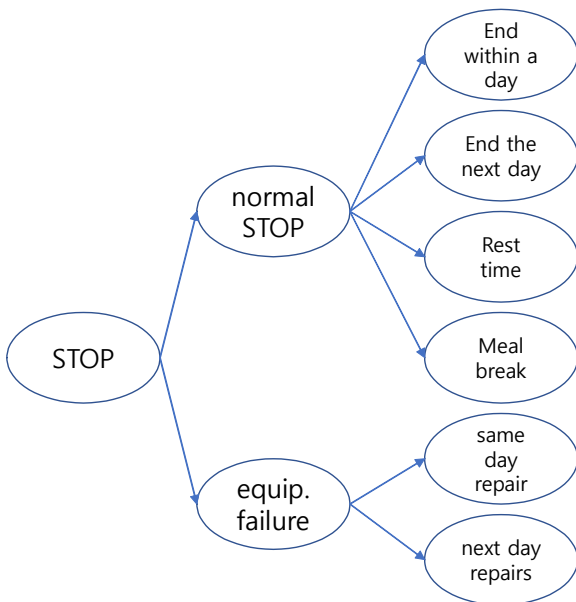
위에서 정의한 것과 같이 연속적으로 관측된 14개 이상의 노즐온도 관측치가 방향이 번갈아 나타나면 이는 이상 패턴으로 간주할 수 있고 따라서 노즐온도에 이상상황이 발생했다고 판단할 수 있다. 이와 같은 상황이 발생하면 아래 <Figure 5>와 같이 warn 테이블에 설비번호, 센서번호, 위반 규칙 번호를 발생시간을 저장하게 된다. warn 테이블에 데이터가 삽입되면 트리거가 발생하여 HMI에서 사용자에게 알람을 전달한다.

	eqID	senID	rule_num	time
▶	eq1	sen1	4	2021-06-14 00:50:04.683
•	NULL	NULL	NULL	NULL

<Figure 5> Warn Table Structure

4.3 설비관리 기능 설계 및 구현

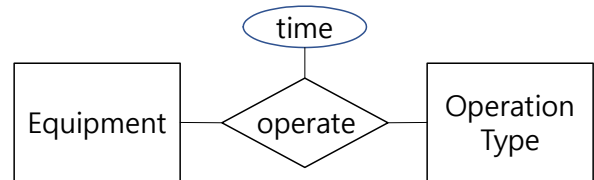
설비보전을 위한 주요 평가지표를 보면 설비종합효율, 고장고수율, 고장강도율, 긴급보전율, 고장정지손실액, MTBF(평균고장간격), MTTR(평균수리시간) 등이 있다. 그 중에서 HMI 시스템에서 수집되는 데이터를 기반으로 하여 가용성, 보전성, 신뢰성에 모두 포함이 되는 고장도수율, 설비시간가동율, MTBF, MTTR을 선정했다. 설비의 정지가 일어나는 상황은 정상적으로 설비를 정지시키는 일반정지와 설비 고장으로 인한 고장정지가 있다. 일반정지는 일과시간 후 정상종료, 야근 등으로 일과시간을 초과하여 다음 날 정상종료되는 경우, 일과시간 내 휴식, 점심, 저녁으로 나뉘며 Type = 1로 데이터를 저장한다. 고장정지는 설비의 고장으로 인한 정지로 당일 수리가 가능한 경우와 당일 수리가 불가능한 경우로 나뉘며 Type = 2로 데이터를 저장한다. 이러한 경우를 구별하기 위해 아래와 <Figure 6>과 같이 의사결정트리틀 구성하였다.



<Figure 6> Decision Tree for Stop Type

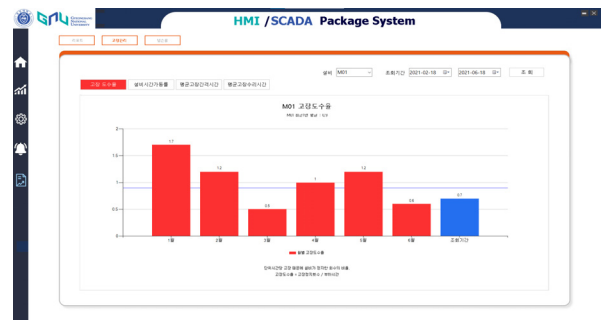
설비 가동의 가동, 비가동 시간을 저장하기 위해 아래 그림과 같이 데이터 모델을 표현하였다. 한 대 이상의 설비에 대하여 설비가 정지된 타입을 정의하였는데, 일반정지일 경우 TYPE = 1로 고장정지일 경우 TYPE = 2로 고장

이 일어난 시각인 Stop_Time와 다시 정상가동 하는 시각인 Start_Time을 데이터베이스에 저장한다. <Figure 7>은 이 관계를 개체관계도로 나타낸 것이다.



<Figure 7> ER Diagram for Equipment Mgmt.

위에서 정의한 설비의 가동시간, 고장빈도를 기반으로 고장도수율, 설비시간가동율, 평균고장간격시간, 평균고장수리시간을 계산하여 화면에 표시하는 기능을 구현하였다. <Figure 8>은 Intouch 프로그램으로 모니터링 화면을 설계하고 Visual Studio 2019를 사용하여 기능을 dll(동적 링크 라이브러리)로 구현한 예이다. 이 화면은 HMI 화면의 고장도수율을 보여주고 있는 것으로 화면의 왼쪽 상단 탭에서 사용자는 설비관리지표를 선택하여 볼 수 있다.



<Figure 8> Screen for Equip. Mgmt.

5. 결론

많은 중소기업들이 스마트팩토리를 추진하고 있지만 대부분 기초수준에 머물러 있고 특히 사출성형 같은 뿌리 산업은 공정의 데이터화가 더욱 어렵고 기존 현장에서 사용하는 제어장치인 PLC와 HMI 소프트웨어를 사용하여 설비의 가동여부만 알 수 있었다. 본 연구는 스마트공장 기초수준에 머무르고 있는 중소기업에서 HMI를 도입하여 현장을 모니터링할 때, 현장 수집 데이터만을 활용하여 이상상황을 탐지하고 설비관리의 기초 정보를 표시하는 확장 HMI 패키지를 제안하였다. 그리고 사출성형업종을 대상으로 시제품을 구현하여 현업에 적용가능함을 보였다. 이를 위해 먼저 중소기업의 스마트팩토리의 현황과 사용되고 있는 HMI의 문헌조사를 통하여 기존 HMI 시스템의

한계를 파악하였다. 그리고 관리도에서 사용되는 벨슨 규칙 알고리즘을 설비나 공정의 이상상황을 탐지하기 위해 적용하는 방안을 제시하였고, 설비에서 수집되는 가동, 비가동 정보에 기반하여 설비시간 가동율, 평균고장간격 등의 정보를 도출하였다. 본 연구는 단순 데이터 수집에 머물러 있던 기존 HMI 시스템에 벨슨 규칙 알고리즘과 설비 관리 기능을 더하여 고객에게 더 많은 가치를 제공하고 스마트공장 중간수준으로 나아갈 수 있는 기반을 제공할 것으로 기대된다. 추후 연구에서는 사출성형 업종에 대한 주요 관리항목 중 온도 이외의 항목인 속도, 압력, 시간 등의 요소를 추가 적용하여 제품 품질에 영향을 미치는 상관관계를 조사하여 이를 반영하여야 할 것이다.

References

- [1] Bae, D.S., Latest Statistical Quality Control, revision, Youngji Publishers, 2007.
- [2] Cho, S.M., Failure Prediction Method for Wafer Transfer Robot, SungKyunKwan University, 2013.
- [3] Hare, L.B., Follow the Rules, *Quality Progress*, 2013, Vol. 46, No. 1, pp. 56-57.
- [4] Hwang, K.Y., Kwak, Y.K., Park, J.K., Lee, S.W., Lee, J.K., Nam, S.J., and Ahn, J.H., Development of HMI system for Data Acquisition and Transmission, In *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, 2010, pp. 469-470.
- [5] Kang, S.W., Analysis of Predictive Maintenance Model of Facility for Smart Factory, Yonsei University, 2018.
- [6] Kim, H.D., Kim, D.M., Lee, K.G., Yoon, J.W., and Youm, S., Development of Smart Factory Diagnostic Model Reflecting Manufacturing Characteristics and Customized Application of Small and Medium Enterprises, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2019, Vol. 42, No. 3, pp. 25-38.
- [7] Kim, S.M. and Ahn, J.K., A Case Study on Smart Factory Extensibility for Small and Medium Enterprises, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2021, Vol. 44, No. 2, pp. 43-57.
- [8] Kim, Y.S. and Shin, H.J., Failure and Diagnosis Information Supporting System for Maintenance Management of Logistics Equipment, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2004, pp. 27-41.
- [9] Kim, Y.U., Im, J.I., Jeong, J.S., Lee, S.H., Kim, Y.J., and Cha, S.G., Field conditions and evolution models for smart factories, *Magazine of the IEIE*, 2016.
- [10] Lee, M.S., Kim, K.S., and Chae, S.M., predictive maintenance based facility management system for Diecasting facility, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2017.11, pp. 2731-2734.
- [11] Lee, Y.J., Cheo, H.C., Lee, J.W., Lee, K.S., and Kim, T.G., A Development of Auto Inspection System using HMI for Electric Control Panel, In *Proceedings of the KIEE Conference*, 2007, pp. 138-142.
- [12] Nam, S.H., Kang, H.W., Rye, K.Y., Lee, S.W., and Choi, H.J., Network-Based Architecture and Design of Human-Machine Interface, 2006, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, pp. 1430-1433.
- [13] Nelson, L.S., The Shewhart control chart—tests for special causes, *Journal of Quality Technology*, 1984, Vol. 16, No. 4, pp. 237-239.
- [14] Oh, J.H. and Kim, J.D., A Study on Strategic Utilization of Smart Factory: Effects of Building Purposes and Contents on Continuous Utilization, *Asia Pacific Journal of Small Business*, 2019, Vol. 41, No. 2, pp. 1-36.
- [15] Park, C., Moon, D., Do, N., and Bae, S. M., A predictive maintenance approach based on real-time internal parameter monitoring, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, Vol. 85, No. 1, pp. 623-632.
- [16] Ro, Y., Strategy Trends in Principal Countries toward the 4th Industrial Revolution, *Electronics and Telecommunications Trends*, 2017, Vol. 32, No. 2, pp. 1-9.
- [17] Seong, J. and Jeong, J., Design and Implementation of OCR-based Machine Monitoring System for Small and Medium-Sized Enterprise (SMEs), *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 2021, Vol. 21, No. 3, pp. 73-79.

ORCID

- | | | |
|--------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Sungmoon Bae | | http://orcid.org/0000-0002-5227-2361 |
| Sua Shin | | http://orcid.org/0000-0002-5279-7109 |
| Junhong Yook | | http://orcid.org/0000-0001-9692-6817 |
| Injun Hwang | | http://orcid.org/0000-0001-7662-0087 |