

생산현장의 안전성 향상을 위한 실시간 공정관리 시스템 개발

이 승 우* · 남 소 정* · 이 재 경** · 이 화 기***

*한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 · **한국기계연구원 기계시스템안전연구본부

***인하대학교 산업공학과

Development of Real-time Process Management System for improving safety of Shop Floor

Seung Woo Lee* · So Jeong Nam* · Jai Kyung Lee** · Hwa Ki Lee***

*Advanced Manufacturing System Research Division, KIMM

**Mechanical Systems Safety Research Division, KIMM

***Department of Industrial Engineering, INHA Univ.

Abstract

Workers are avoiding production/manufacturing sites due to the poor working environment and concern over safety. Small and medium-sized businesses introduce new equipment to secure safety in the production site or ensure effective process management by introducing the real-time monitoring technique for existing equipment. The importance of real-time monitoring of equipment and process in the production site can also be found in the ANSI/ISA-195 model. Note, however, that most production sites still use paper-based work slip as a process management technique. Data reliability may deteriorate because information on the present condition of the production site cannot be collected/analyzed properly due to manual data writing by the worker. This paper introduces the monitoring and process management technique based on a direct facility interface to secure safety in the field by improving the poor working environment and enhance there liability and real-time characteristics of the production data. Since the data is collected from equipment in real-time directly through the SIB-based interface and PLC-based interface, problems associated with workers' manual data input are expected to be solved; safety can also be improved by enhancing workers' attention to work by minimizing workers' injuries and disruption.

Keyword : Improving Safety of Shop Floor, Real-time Process Management, Sensor-based Interface Board, SIB-based Interface, PLC-based Interface

† Corresponding Author : Seung Woo Lee, 171, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea,
Advanced Manufacturing System Research Division, KIMM
Tel: 042-8681-7147, E-mail: lsw673@kimm.re.kr

Received September 9, 2013; Revision Received December 6, 2013; Accepted December 6, 2013.

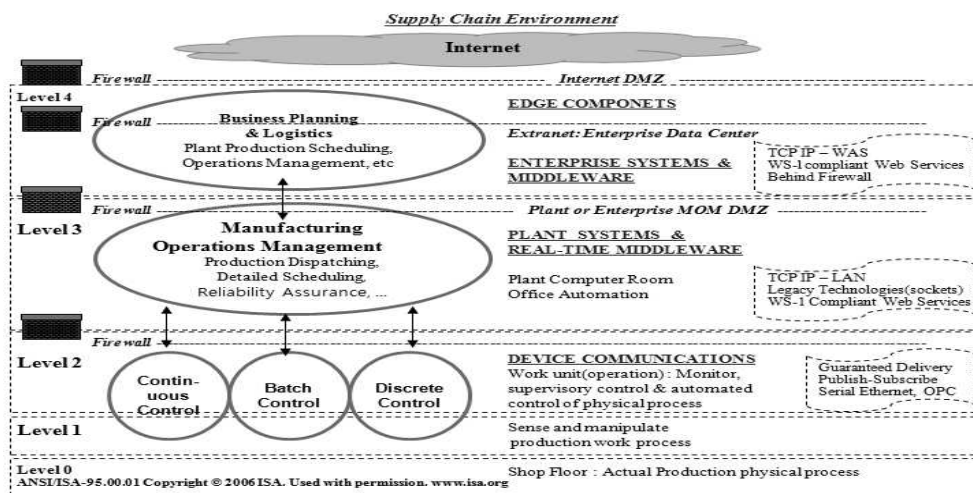
1. 서 론

생산현장의 제조공정상 수반되는 열, 냄새, 분진, 절삭유 등은 현장의 안전성에 많은 영향을 미치고 있다. 열악한 작업환경 및 안전성에 대한 우려는 생산현장에 대한 직무기피 현상으로 나타나며 장기적으로는 인력난으로 이어진다. 안전성에 대한 보장 및 열악한 작업환경 개선 등의 직무기피 해소를 위해 새로운 설비를 보급하거나 기존 설비를 개량 하는 방법 등이 사용되고 있다[1]. 현재 중소기업의 환경에서는 새로운 설비의 도입보다는 기존 생산설비의 개량을 통해 제조현장의 안전성 향상을 추구하고 있으며, 설비개량의 핵심 기술은 설비의 상태정보를 실시간으로 모니터링 하여 이상상태를 감지하고, 이상상태 발생 시 적절한 조치를 취하는 것이다. 생산현장은 많은 설비와 자원들로 구성되어 있으며, 이들의 상태정보를 모니터링 하는 것만으로도 생산현장의 안전성을 향상시킬 수 있다. 대부분의 생산현장에서는 한명의 작업자가 여러 대의 설비를 운영하여 공정을 진행하며, 이는 설비에서 발생하는 다양한 정보의 대처 능력을 떨어뜨려 안전사고를 유발하기도 하며 공정관리 데이터의 신뢰성을 떨어뜨리기도 한다. 따라서 근래에 생산현장에 많이 보급되어 있는 MES (Manufacturing Execute System) 혹은 POP (Point Of Production)와 같은 생산실적집계시스템을 활용하여 생산현장의 설비를 모니터링하거나 공정관리가 이루어지기도 한다. 본 논문에서는 실시간으로 설비의 상태정보를 모니터링 할 수 있는 방법을 제안하고 이를 기반으로 한 공정관리를 소개하고자한다. 또한 개발된 설비 모니터링 기법을 실제 생산현장에 적용하여 개발된 시스템의 적용성을 시험 하였다.

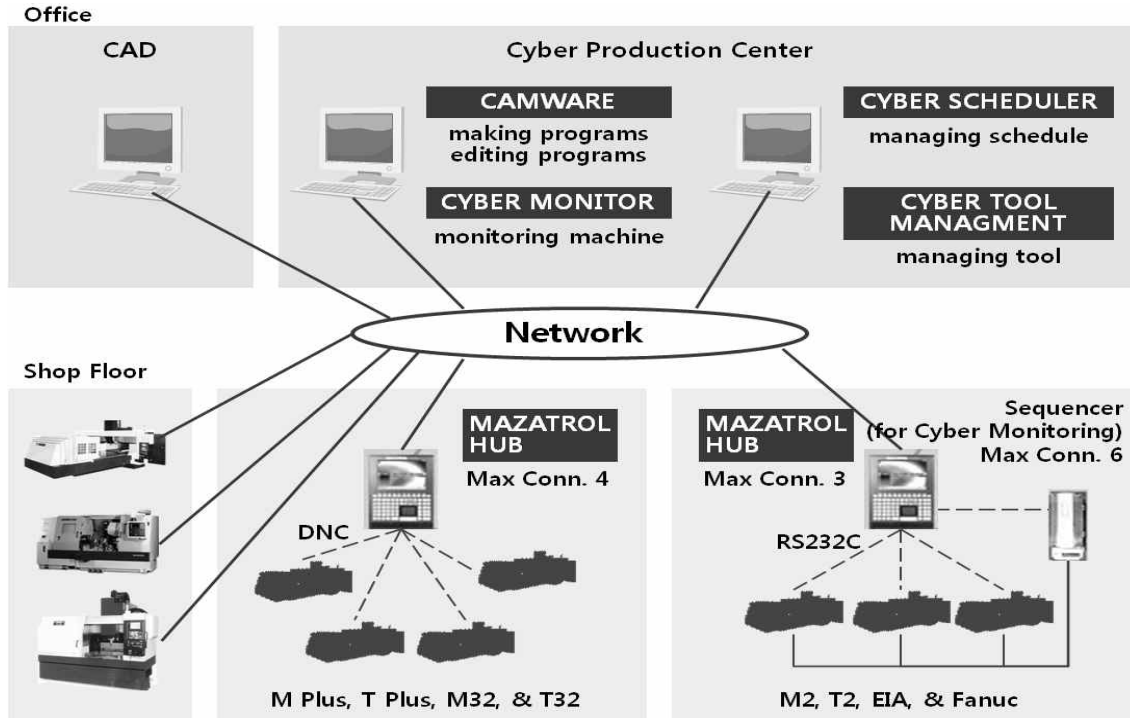
2. 관련연구

생산현장에 대한 실시간 데이터 수집 방안은 설비의 이상상태를 감지하고 신속히 적절한 조치를 취함으로써 생산현장의 안전성에 기여한다. 또한, 대부분의 생산현장에서 종(작업자마다의 수기형태 상이, 생산현장 현황정보 실시간성 저하, 오염 및 기입오류 등)으로 인해 보장하기 어려운 데이터 신뢰성을 확보할 수 있도록 한다. 생산현장의 실시간 데이터 수집에 대한 중요성은 데이터 수집 기능에서 가장 널리 인용되는 MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association International)와 ISA(International Society of Automation)에서 제시하는 통합모델 ANSI/ISA-95 (2000)모델에서도 확인할 수 있으며, ISA 95 모델은 2002년에 IEC/ISO 62264로 국제표준이 되었다 [1][2]. <Figure 1>은 ISA 95 통합 모델로서 비즈니스, 제조 운영관리, 생산제어 부분 등을 계층적으로 구분하였으며, 각 계층의 인터페이스를 표준화를 정의하고 있다.

레벨 0에서 2까지의 설비 인터페이스를 통한 설비 상태정보 모니터링은 동적인 정보시스템으로서 정확하고 신속한 현장정보를 활용하여 제조현장에서 발생하는 다양한 이벤트에 대하여 지시/통제하는 기능을 수행한다. 또한, 제조업의 환경이 제품개발에서 생산에 이르기까지 RTE (Real-Time Enterprise) 기반으로 변화되면서 설비 인터페이스를 통한 설비 상태정보 수집의 중요성은 생산제어, 제조운영관리, 비즈니스 등에 필요한 기초 데이터를 수집하고 모니터링한다는 점에서 그 역할이 중요해지고 있다 [3][4].



<Figure 1> ISA 95 Enterprise Control Integration Standard



<Figure 2> Mazak - Concept of 'Cyber Production Center'

생산현장 데이터의 실시간 수집 및 이를 기초로 한 현장 상황을 파악할 수 있는 기술에 대한 수많은 연구 진행되었으며, 최근 POP 기술 및 RFID (Radio Frequency Identification) 를 이용한 연구로 이어지고 있다 [5][6][7][8][9]. 또한 생산현장 데이터의 실시간성에 대한 중요성은 대형 벤더들의 상용화된 제품에서도 확인할 수 있다. 다만 SYNTEC 사는 인터넷을 이용한 원격 모니터링이 가능한 상태정보 수집 장치로 여러 대의 설비상태를 유/무선 방식을 이용하여 전송하는 Remote CNC (Computerized Numerical Control) 및 PC를 기반으로 한 개방형 CNC 제어를 많이 내놓고 있다.

일본 Mitsubishi 사는 자사의 공작기계에 적용되는 CNC를 Ethernet을 통해 한 대의 HMI (Human Machine Interface) 에서 모니터링하기 위한 NC 모니터 장치, PC 기반의 CNC 장치를 개발하여 사용자 정의 HMI 및 화면 구성이 가능한 CNC 제어를 제공하고 있다. <Figure 2>와 같이 Mazak의 Cyber Production Center나 Fanuc의 Cimplicity와 같이 내부 API에서 제공하는 설비 인터페이스를 이용하는 전용장비의 경우 설비의 상태 정보 수집이 용이하게 지원하고 있다. 하지만 API 자체가 자사 제품만을 지원하기 때문에 범용성이 낮고 고가라는 문제가 있다. 또한 개방형 CNC를 지향할 경우 Fanuc의 FOCAS1/2 (Fanuc Open CNC API System 1 or 2)와 같은 Open API 혹은 산업표준화로 자리 잡은 OPC (OLE for Process

Control) 인터페이스를 이용할 경우 위의 열거한 문제점을 해결할 수 있지만 분산 환경에 최적화되어 구축이 용이하지 않기 때문에 원격 A/S가 힘든 단점이 있다. 따라서 생산현장의 다양한 설비를 대상으로 실시간 데이터를 수집할 수 있는 모니터링 기법에 대해 연구하였다.

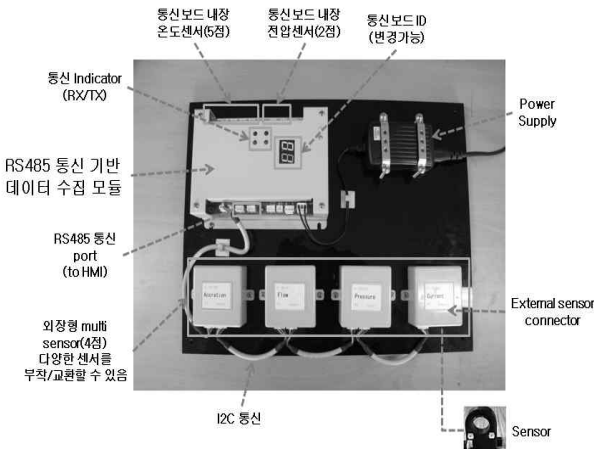
3. 설비 인터페이스를 이용한 실시간 공정 관리

3.1 설비 인터페이스

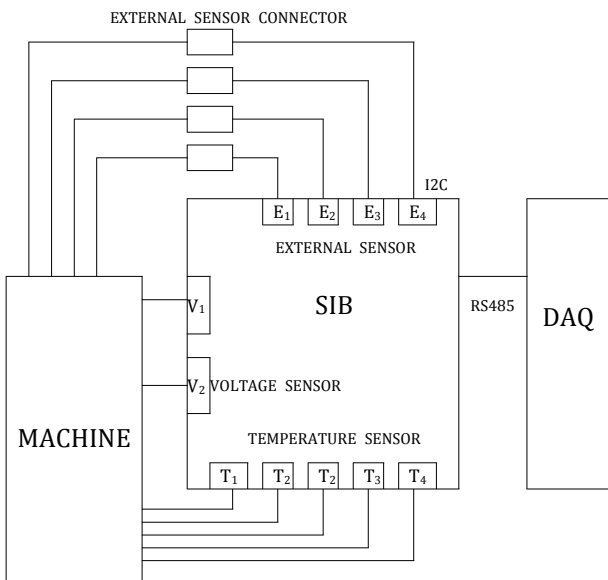
생산 현장에는 제어기가 있는 자동화/비자동화 설비, 제어기가 없는 범용설비 등의 다양한 설비가 존재한다. 그러나 대부분의 생산현장은 범용설비와 비자동화 설비로 이루어져 있으며, 제조현장에서 많이 사용되는 CNC 기반의 가공기계들은 특성에 따라 폐쇄형 구조를 가지기 때문에 외부와의 인터페이스가 어려워 설비정보를 외부로의 전송이 제한되어 있다. 이러한 문제의 해결로 CNC 벤더에서 제공하는 API 소프트웨어를 이용할 수 있으나 가격이 고가이며 필요정보의 추출에 제한이 따른다. 비자동화 설비와 CNC 범용 설비를 대상으로 PLC 기반 인터페이스, SIB 기반 인터페이스를 제안한다.

3.1.1 SIB (Sensor-based Interface Board) 기반 인터페이스

제어기가 없는 범용설비 혹은 공정에서 설비로부터 직접적으로 데이터를 수집하기 어렵다. 설비는 다양한 정보를 발생하기 때문에 센서를 이용한 데이터 수집 장치를 구현하여 <Figure 3>과 같이 센서 기반 인터페이스 보드(이하 SIB: Sensor-based Interface Board)를 개발하였다. SIB는 온도센서 5점과 전압센서 2점, RS485 통신 포트, 4개의 외부 확장 센서 인터페이스로 구성되어 있다. 외부 확장 센서 인터페이스는 논리적으로 외부센서를 최대 256개의 다양한 센서를 확장하여 사용할 수 있어 데이터 수집의 유연성을 높일 수 있는 있다. 본 연구에서는 범용 DAQ와의 통신 정확성과 안전성을 위해 외부센서는 확장을 4개로 제한하였다.



<Figure 3> Sensor-based Interface Board

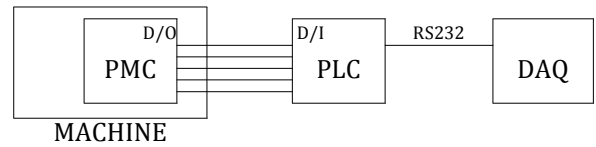


<Figure 4> Structure of SIB-based Interface

확장 센서는 확장 센서 연결자(External sensor connector)를 이용하여 SIB와 연결되며 칩과 보드사이의 2라인 시리얼 통신 규격인 I2C(Inter-Integrated Circuit) 프로토콜을 이용하여 수집된 데이터를 전송할 수 있다. I2C는 직렬 컴퓨터 버스로 마더보드, embedded system 등과 저속의 주변기기를 연결하기 위해 주로 사용된다. SIB를 이용한 인터페이스는 제어기가 없는 범용 설비를 위주로 온도, 전압, 진동, 유량 센서 등의 다양한 센서를 <Figure 4>와 적용하여 설비로부터 자동으로 수집할 수 없는 데이터도 수집할 수 있다.

3.1.2 PLC 기반 설비 인터페이스

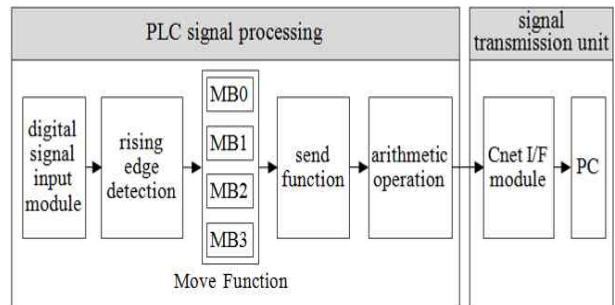
앞에서도 설명한바와 같이 폐쇄형 CNC 기반 설비들은 설비의 상태정보를 외부로 전송하는데 있어 많은 제약이 있다. 폐쇄형 CNC 설비는 NC에 의해 이송부와 모터부가 구동되며, PMC라는 I/O 접점을 통해 설비의 상태 정보 신호를 내보낼 수 있다 [10][11].



<Figure 5> Structure of PLC-based Interface

PLC 기반 설비 인터페이스는 <Figure 5>와 같이 PMC의 D/O 접점을 PLC의 D/I 접점과 결선하여 설비의 디지털 데이터를 획득하는 방법이다. 수집된 데이터를 RS232 시리얼 통신을 통해 DAQ에 전달된다. 작업자의 수기입력에 의한 데이터 수집이 아닌 설비와의 직접 인터페이스를 통해 데이터를 수집할 수 있어 데이터의 투명성, 정확성, 실시간성을 높일 수 있어 제조현장의 안전성 향상에 실질적 도움을 줄 수 있다.

PLC 내부에서의 데이터 프로세싱과 시리얼 통신에 의한 외부로의 데이터 전송부로 구분되며, 이를 Figure 6>에 나타내었다.



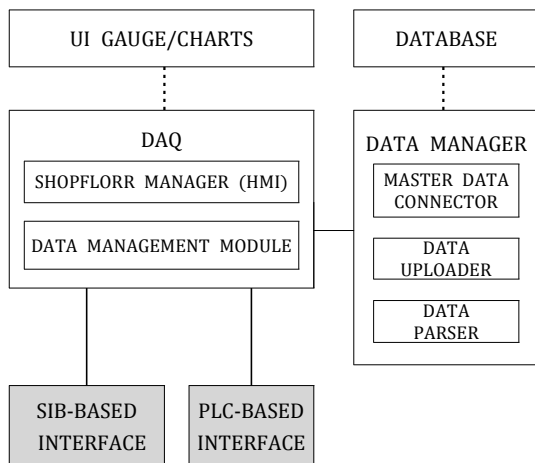
<Figure 6> Data processing of PLC-based Interface

PLC 내부에서의 데이터 프로세싱은 디지털 신호 입력 모듈을 통해 CNC 접점의 출력신호를 받아 양변환 검출하여 메모리에 저장한다. 저장된 신호는 bool 연산(SUM)을 이용하여 신호합성을 거쳐 ASCII code 값으로 변환한 후 통신함수를 이용해 외부기기로 전송한다.

통신방법은 PLC 통신모듈과 PC의 RS232연결을 통해 이루어진다. 이와 같은 폐쇄형 CNC 설비의 데이터 수집방법은 생산현장에서 사용되고 다양한 벤더의 PLC들에도 레더 프로그램(Ladder Program)의 간단한 변경만으로 적용할 수 있으며, PLC를 구성하는 입출력 모듈의 확장을 통해 설비로부터 다양한 설비 현황 정보를 획득할 수 있어 정보 수집의 확장성이 높다고 할 수 있다. 이는 설비를 조작하는 작업자의 작업 부하를 줄여 제조현장에서 발생하는 위험요소를 경감시켜 제조현장의 안전성 향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

3.2. 실시간 공정 관리

제조현장에 있는 다양한 설비의 상태정보를 실시간으로 수집하여 작업자와 관리자에게 실시간 공정관리가 가능한 시스템을 구성하였다. <Figure 7>은 앞 절에서 설명한 PLC와 SIB를 이용한 설비 직접 인터페이스를 기반으로 하는 실시간 공정관리를 위한 시스템의 구조이다. 설비 인터페이스를 통해 실시간으로 수집된 데이터는 ShopFloor Manager라는 HMI를 통해 실시간으로 작업자에게 설비 및 공정의 상태정보를 모니터링할 수 있도록 하였다.

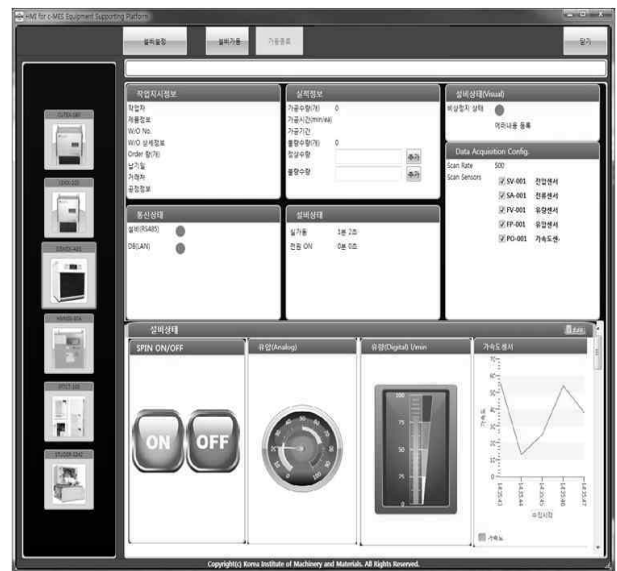


<Figure 7> Structure of Process Management System using machine interfaces

작업자의 간섭을 최소화하여 작업부하를 낮추도록 하였다. 이를 위해 내부적으로 수신 데이터를 분석하는 Data Parser, DB에 저장하는 Data Uploader, 해당 정

보를 작업자에게 보여주는 Master Data Connector가 자동으로 수행된다. 설비로부터 수집되고 상위로부터 받은 정보는 사용자의 편의와 가시성을 위해 그래프 또는 차트로 수치를 가시화할 수 있도록 하였다. <Figure 8>은 설비 인터페이스를 이용한 실시간 공정 관리를 위한 ShopFloor Manager HMI를 나타낸 것이다.

실시간 설비 인터페이스를 통해 수집된 데이터들을 통합하여 효과적으로 공정 관리할 수 있게 되며, 이를 통해 생산현장 문제에 대한 신속한 대처, 생산량 증가 및 업체 경쟁력을 향상시킬 수 있다[6].

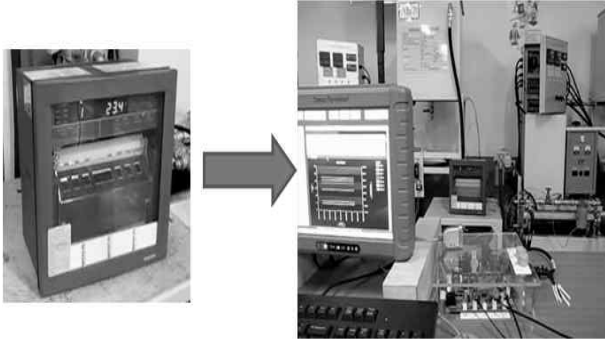


<Figure 8> HMI for Machine Monitoring

개발된 공정관리시스템은 작업자의 작업부하를 경감시키고 생산현장에서 이상상황이 발생하면 즉각적인 대응이 가능해져 생산현장의 안전성을 향상시킬 수 있으며, 제품 불량률을 현격히 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 동시에 체계적인 설비관리도 가능해져 설비의 고장 및 이상발생으로 인한 고장률이 감소되어 생산현장의 생산성 향상에 기여할 수 있다.

4. 적용연구

생산현장의 설비 상태정보 모니터링을 통해 생산현장의 안전성 향상을 위한 공정관리시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 효율성과 적용성 시험을 위해 SIB와 PLC 인터페이스의 특성에 맞는 공정과 설비에 적용하였다. 제품 조립이 완성된 다음 성능평가를 위한 검사공정에 개발된 공정관리시스템을 적용하였다. 기존의 검사방법은 <Figure 9>의 원편에 보는바와 같이 수작업에 의한 온도 특성을 검사하는 공정이었다.



<Figure 9> Measuring Indicator VS. SIB-based Interface for Inspection Process

이 검사공정은 고온의 압력과 온도를 제품에 가해 성능평가를 하는 것으로 작업자는 온도 계측 데이터를 손으로 펼쳐 측정지를 분석하는 것으로 주변 환경 때문에 안전사고의 위험성이 있었다. 오른쪽은 SIB를 이용하여 제품의 검사공정을 데이터수집 스크린으로 보면서 성능측정을 할 수 있는 방식으로 변경한 것으로 <Figure 10>에서 보는바와 같이 작업자는 실시간으로 검사공정을 수행할 수 있으며, 수집된 데이터는 디지털 데이터로 변환되어 검사결과를 언제든지 작업자에게 보여줄 수 있다. 가공공정은 고속의 운동하는 장치가 있어 안전사고가 많이 발생하는 공정 중의 하나이며 없어서는 안 될 매우 중요한 공정이다. 특히 절삭유, 절삭먼지, 공정주변의 가공물 적재 등은 생산현장의 안전성에 많은 영향을 미친다. CNC를 기반으로 한 절삭장비는 자체적으로 안전장비를 구비하고 있지만 현장에서는 작업자가 작업공정 중에 다른 작업을 수행하고 있어 이러한 작업부하는 설비의 이상상태 발생 시 대처 능력을 감소시킨다. PLC와의 인터페이스를 이용한 설비 상태를 모니터링을 <Figure 11>에 나타내었다.

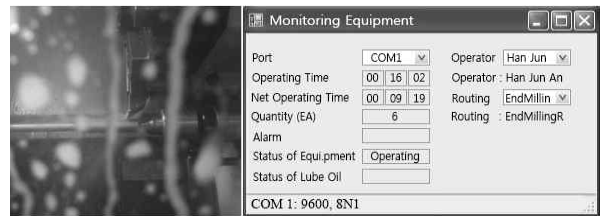


<Figure 10> Example of Inspection Process using SIB-based Interface



<Figure 11> Example of PLC-based Interface

앞 장에서 설명한 대로 CNC 설비의 PMC를 PLC와 일대일 인터페이스하고 설비의 동작 및 이상상태 발생 시 상태정보 HMI에 나타나도록 구성하였다. 가공공정의 특성상 작업자가 설비에 가까이 있는 경우가 많아 HMI를 간결하게 구성하였다. <Figure 12>는 설비의 가공상태 및 윤활유 부족에 의한 에러상황을 나타낸 것이다.

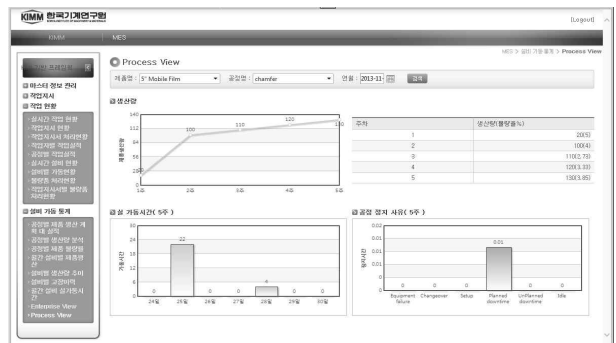


(a) HMI when showing a shortage of lubricant



(b) Equipment in operation and HMI

<Figure 12> HMI for Machine Monitoring using PLC-based Interface



<Figure 13> Real-time analysis of yield, operation time, reason for stopping

설비와의 인터페이스를 통한 실시간 공정 분석 데이터를 <Figure 13>에 나타내었다. 분석된 결과로는 제품별 생산량, 실 가동시간, 공정정지 사유 등이 실시간으로 분석가능하며, 이들 데이터는 설비별, 기간별, 작업자별 데이터 분석도 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 생산현장의 안전성 향상을 위해 실시간으로 설비 혹은 공정의 상태정보를 수집하여 처리할 수 있는 공정관리시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다. 개발된 공정관리시스템은 작업자의 작업부하 및 간섭을 최소화 하여 작업자의 작업 주의력을 향상시켜 안전성을 향상시킬 수 있도록 설비 혹은 공정의 상태정보를 직접적으로 수집할 수 있도록 구성하였다. CNC 제어기와 같은 제어기가 없는 설비 및 공정은 센서기반의 인터페이스를 통해 설비의 상태정보를 수집하게 하였고 CNC 설비의 경우 PLC를 이용한 인터페이스를 통해 설비의 상태정보를 수집할 수 있도록 하였다. 수집된 정보의 효율성을 위해 데이터 수집 HMI를 구성하였으며, 작업자의 공정 감시를 통한 안전성 향상을 위해 센서에서 수집된 정보들이 그래픽으로 작업자에게 제공될 수 있도록 구성하였다. 구성된 시스템의 적용성 및 효율성 테스트를 위해 적용연구를 실시하였다. 이를 통해 생산현장의 설비 혹은 공정상의 데이터를 실시간 수집되는 것을 확인할 수 있었으며, 작업자의 작업부하 경감을 통해 생산현장의 안전성 향상에 기여할 수 있는 공정관리시스템을 개발하였다. 추후에는 개발된 데이터수집시스템의 수집데이터를 바탕으로 생산현장의 설비관리 시스템을 구현하고자 한다.

6. References

- [1] 김기욱, 정태갑, 이석철, 김창수 RFID 태그를 이용한 실시간 공정관리 시스템 구현, 한국인터넷정보학회 2005 추계학술발표논문집, (2005), Vol. 6, No. 2, 331-334.
- [2] 김호균, 배창욱, 정홍진, 이철규, POP 기술을 활용한 자동차 고무부품 제조업체의 실시간 공정관리 시스템 개발, 대한산업공학회 춘계학술발표논문집 (2008) 1-6.
- [3] 중소기업청, 생산현장 직무기피요인 해소사업, 2010
- [4] MES Explained: A High Level Vision, MESA, 1997.
- [5] MESA, ISA SP88, ISA-95, USA
- [6] Drobik A, Raskino M, Flint D, Austin T, MacDonald N, McGee K, The Gartner definition of real-time enterprise, Tech Report, Gartner Inc., (2002) 1-3.
- [7] Karnouskos S, Guinard D, Savio D, Spiess P, Baecker O, Trifa V, de Souza L, Towards the real-time enterprise: service-based integration of heterogeneous SOA-ready industrial devices with enterprise applications. Proc. of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM '09), (2009) 2127-2132.
- [8] Škulj, G., Vrabič, R., Butala, P., Sluga, A. Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study. Procedia CIRP, 7, (2013) 401-406.
- [9] Lei, Y., Henry C.B. Chan, RFID-based Logistics Control System for Business-to-Business E-Commerce, Proceedings of the International Conference on Mobile Business, IEEE (2005).
- [10] [Kwark, W. Y., Kim, W. S. and Park, G. D., Design and Implementation of Equipment Monitoring System for Data Integration, Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 9, pp.115-126, 2009.
- [11] Lihui Wang, Peter Orban, Andrew Cunningham, Sherman Lang, Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 20, Issue 6 (2004), 563-571

저 자 소 개

이 승 우



인하대학교에서 산업공학과 학사, 석사, 박사학위를 취득하였으며 현재 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 광응용기계연구실 책임연구원으로 재직하고 있다. 관심분야는 생산시스템 설계, 지능화 시스템, 디지털팩토리 분야 등이다.

주소: 대전시 유성구 신성로 104

이 재 경



충남대학교에서 컴퓨터공학 박사학위를 취득하였으며 현재 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부 시스템신뢰성연구실 선임연구원으로 재직하고 있다. 관심분야는 엔지니어링 협업 및 통합 시스템, 가상현실, 디지털 팩토리 등이다.

주소: 대전시 유성구 신성로 104

남 소 정



충남대학교에서 컴퓨터공학 석사학위를 취득하였으며 현재 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 광응용기계연구실 연구원으로 재직하고 있다. 관심분야는 생산시스템 설계, 업무 프로세스 자동화 등이다.

주소: 대전시 유성구 신성로 104

이 화 기



서울대학교 원자핵공학과에서 학사를 취득하고, 미 Texas A&M 대학교 산업공학과에서 석사와 박사를 취득하였다. 현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직 중에 있으며, 관심분야는 생산 및 물류분야의 일정계획, 시뮬레이션 등이다.

주소: 인천시 남구 용현동 253 인하대학교 기계공학부 산업공학 전공