

생산현장 모니터링을 이용한 중소 제조기업용 비가동 시간 수집 및 분석[†]

(Downtime tracking for small-medium sized
manufacturing company using shop floor monitoring)

이 재 경¹⁾, 이 승 우²⁾
(Jai-Kyung Lee and Seung-Woo Lee)

요 약 제조기업의 생산성을 높이기 위해서는 생산현장에서 발생하는 다양한 손실에 대한 분석 및 개선이 필요하다. 본 논문에서는 비가동 손실 분석을 위하여 기존에 구축한 생산현장 정보 수집 시스템을 활용한 설비/공정의 비가동 시간 수집 및 분석에 대하여 소개한다. 비가동 시간, 원인을 수집하기 위하여 생산현장 모니터링 정보, 사용자 등록 비가동 이벤트, 설비 고장진단 알고리즘, 작업자 입력을 활용하였다. 또한 수집된 비가동 시간의 분석을 수행하기 위한 웹 기반의 사용자 인터페이스를 개발하였다. 부품가공기업의 시범 적용을 통하여 시스템의 유용성을 확인하였다.

핵심주제어 : 비가동 시간 수집 및 분석, 생산현장 모니터링, 설비 인터페이스, 생산 손실

Abstract To improve the productivity of manufacturing company, the analysis of loss in shop floor has to be conducted and validated. This paper introduces the downtime tracking module using the pre-developed shop floor information acquisition system. To collect the downtime, it utilized shop floor monitoring information, user-registered downtime event, equipment diagnosis algorithm and operator's input. Also, it provided the user interface for the analysis of downtime. From the results of a pilot study, the usability of developed system was validated.

Key Words : Downtime Tracking, Shop Floor Monitoring, Equipment Interface, Production Loss

1. 서 론

글로벌화에 따른 제조업의 경쟁이 치열해짐에 따라 생산성 향상을 위한 노력은 중요해지고 있다. 기업의

생산성 향상을 위해서는 제품 생산과정에서의 이상 활동, 즉 생산에 투입하지 못하는 작업이나 작업을 방해하는 요인에 발생하는 생산손실을 최소화하여야 한다. 생산현장의 손실을 최소화 하는 것은 생산에 투입 되는 설비, 공정의 가동시간을 최대화하는 것이다.

생산현장에서 발생하는 손실은 생산효율성 측면에서 비조업 손실, 비부하 손실, 비가동 손실로 분류할 수 있으며, 생산 효율성을 높이기 위해서는 이에 대한 분석과 대응조치가 필요하다.

[†] 이 논문은 국가플랫폼과제인 '맞춤보급형 c-MES 플랫폼 기술 개발'의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

1) 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부, 제1저자
(jkleece@kimm.re.kr)

2) 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부, 제2저자

다양한 생산손실의 유형 중 비가동 손실은 생산현장의 이상 활동으로 인해 공정 및 설비가 가동되지 못하고 정지한 시간으로 정의된다. 예기치 않게 발생하는 비가동 손실에 대한 분석을 위해 생산현장 정보의 수집을 통한 가동시간, 정지시간에 대한 정확한 시점관리와 비가동이 발생한 원인에 대한 기록이 요구된다.

설비관리시스템이나 설비모니터링시스템과 같은 생산정보 수집 시스템을 통해 비가동 시간 관리 및 분석에 대한 기능이 제공되기도 하지만 적지 않은 시스템 도입비용이 발생하고 단일 설비를 대상으로 하거나 비가동 원인 관리가 제한적인 문제점들이 존재한다.

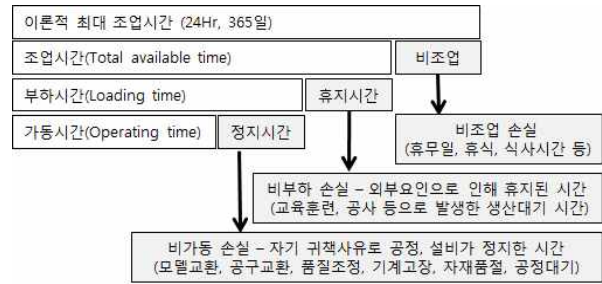
본 논문에서는 중소 제조기업 효율성 향상을 위해 생산현장에서 발생하는 비가동 원인 및 시점 정보의 효율적인 수집하고 분석하기 위한 방안을 소개하고자 한다.

2. 관련연구

생산현장에서의 손실을 생산효율성 측면에서 <Fig. 1>과 같이 비조업, 휴지시간, 정지시간에 대한 손실로 분류할 수 있다. 비조업과 휴지시간에 대한 손실은 기업의 전사적 자원관리시스템(ERP) 또는 경영정보시스템(MIS) 등을 통해 예측 및 계산이 가능하다. 반면 모델교환, 공구교환, 품질조정, 기계고장, 자재품질, 공정대기 등의 원인으로 발생하는 비가동 손실은 계획되지 않은 비가동 시간(unplanned downtime)을 포함한다. 계획되지 않은 비가동 시간은 높은 고정 비용과 유동 비용을 발생시켜 생산효율성에 영향을 준다[1]. 따라서 적극적인 예방 조치를 수행하기 위한 비가동 시간 기록 및 원인분석을 위한 관리가 필요하다.

설비의 운영 효율성이 생산성에 미치는 영향을 분석하기 위한 설비종합효율(Overall Equipment Effectiveness) 연구[1,4]에서는 설비가 생산현장에 투입되면서 발생하는 각종 손실에 대한 체계적인 관리를 제안하며 손실관리에 대한 중요성을 강조하고 있다.

설비 비가동 시간 관리를 통한 가동시간의 최대화를 위해 기업에서는 설비관리시스템을 도입하고 있다. 설비의 관리 및 유지보수를 위한 설비관리시스템[2,3]



<Fig. 1> Loss in shop floor

은 사용이력 관리, 센서를 이용한 모니터링, 고장진단, 예지보전 등을 수행한다. 설비관리시스템을 통해 개별 설비의 비가동 시간 관리 및 원인 분석이 가능한 반면, 생산현장 단위의 비가동 손실 관리가 미흡하다. 생산현장의 비가동 손실을 분석하기 위해서는 생산공정과의 연계가 필요하다.

생산현장의 공정단위 비가동 시간 수집 및 관리는 제조실행시스템(Manufacturing Execution System) 등과 같은 생산정보 시스템에서 수행된다. 공정 중심의 정보 수집을 위하여 CNC 머신 상태와 공구마모 등의 설비 모니터링[5, 6], 자동화된 생산현장 수집을 통한 재공품(work in process) 위치 파악 및 공정시간 모니터링[7-9] 등의 실시간 생산현장 모니터링이 필요하다. 생산정보 시스템은 생산현장 정보의 무결성, 신뢰성 확보와 공정추적을 위한 시점관리 등을 중점적으로 수행하기 때문에, 생산손실 분석을 위한 설비 비가동 시간 및 원인 기록 기능이 제한적이다. 생산현장 정보 수집을 위한 이러한 시스템의 구축 및 운영은 많은 비용과 노력을 필요로 하여 중소 제조기업에서 도입하기 어려운 단점이 있다. 생산현장의 정확한 비가동 시간의 관리를 위해 공정 중심의 비가동 시간 및 원인 수집을 위한 실시간 모니터링이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 생산현장 모니터링을 통하여 설비 및 공정의 비가동 시간, 원인 등의 정보 수집을 수행하고 수집된 정보를 활용하여 생산공정 관점에서의 비가동 손실 분석을 수행할 수 있는 방안을 소개하고자 한다.

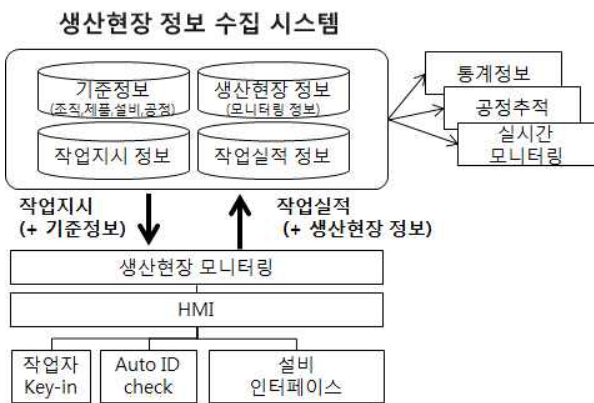
3. 비가동 시간 수집 및 분석

제안한 비가동 시간 수집 및 분석 방안은 선행연구를 통해 구축된 생산현장 정보 수집 시스템이 제공하는 생산현장 모니터링 기능을 이용하여 관련정보를 수집한다. 본 장에서는 기존에 구축된 생산현장 정보 수집 시스템을 소개하고 제안한 비가동 시간 수집 및 분석 방안에 대하여 소개한다.

3.1 생산현장 정보 수집 시스템

선행연구를 통하여 구축된 생산현장 정보 수집 시스템은 기업의 작업지시부터 작업실적보고까지의 생산현장 정보를 실시간으로 수집하기 위하여 개발되었으며, 제조시스템의 특성을 고려하여 구성된 생산현장 모니터링을 포함하고 있다[10].

생산현장 모니터링은 설비와 작업자로부터 발생하는 정보의 실시간 수집을 통하여 생산현장 정보의 무결성, 신뢰성 보장을 목적으로 한다. 생산현장 모니터링은 <Fig. 2>와 같이 설비 인터페이스를 이용한 설비 모니터링, 생산공정 시작, 중지, 종료시간의 정확한 수집을 위한 RFID, 바코드 등의 자동인식 시스템 인터페이스, HMI를 통한 작업자 입력(key-in) 인터페이스로 구성된다. 구축된 생산현장 정보 시스템은 수집된 생산현장 정보를 가공하여 생산이력, 설비이력 등의 통계정보, 실시간 생산현장 모니터링, 공정추적 등을 제공한다[11].



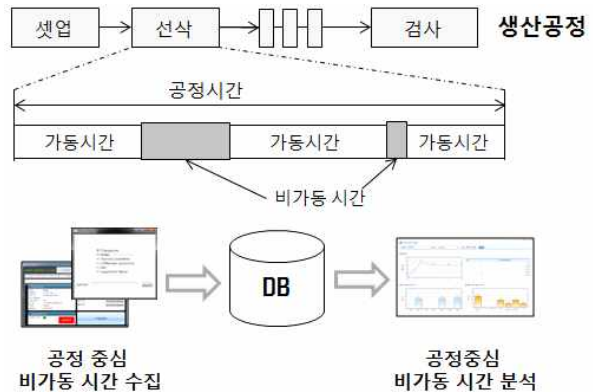
<Fig. 2> Information acquisition system

구축된 생산현장 정보 시스템을 이용하여 생산현장 정보의 수집 및 활용이 가능하였으나, 기업이 요구하는 설비, 공정의 이상활동 분석을 위한 기능이 요구되

었다. 이러한 요구에 따라 제안한 비가동 시간 수집 및 분석 기능을 탑재하여 중소 제조기업에서 쉽게 활용 가능한 비가동 손실 분석을 제공하고자 한다.

3.2 비가동 시간 수집 모듈

생산현장에서 발생하는 정지시간은 <Fig. 3>과 같이 각 공정별 작업시간 내에 다양한 원인의 비가동 시간이 존재한다. 공정시간과 연계한 비가동 시간의 수집 및 분석을 위해서는 공정 중에 발생하는 비가동 시간 검출 및 사유에 대한 기록이 이루어져야한다. 비가동 사유는 기업마다 분석하고자 하는 손실 원인에 따라 달라지며 분석을 위한 기초 데이터로 사용된다. 따라서 관리자가 비가동 사유 코드를 직접 관리할 수 있도록 데이터베이스 내에 코드 테이블을 유지하고 관리용 사용자 인터페이스를 제공한다.



<Fig. 3> Downtime collection and analysis

비가동 시간 수집 모듈에서는 각 공정별 비가동 시간 발생을 생산현장 모니터링을 통하여 수집한다. 작업자 key-in에 의한 입력 시간 오차, 작업자에 의한 설비 정지 시간, 기계고장/자재품질/공정대기 등에 의한 설비 가동 중지, 고장원인 진단에 의한 가동 중지의 정지 시점을 관리하고 저장한다. 수집된 정지시간 관련 정보들은 비가동 시간 분석 모듈을 통해 의미 있는 데이터로 분석된다.

설비에서 발생하는 비가동 시간 수집을 위해 (1) 설비 상태정보 수집, (2) 설비 정지 이벤트 감지, (3) 설비 상태진단 순으로 처리하여 비가동 시작시간, 원인을 기록한다.

- (1) 설비 상태정보 수집: 생산현장 정보 수집 시스

템의 설비 인터페이스를 통해 실시간 설비 현황 정보를 수집한다. 설비 모니터링을 통해 수집되는 설비 정보 수집 시작시점, 모니터링 주기별 설비 현황 정보, 비상정지 시점, 작업자에 의한 가동 중지 시점, 설비 정보 수집 종료 시점 등의 각 시점 정보를 저장한다. 저장된 설비 상태정보 및 각 시점 정보를 활용하여 공정별 가동시간, 설비별 가동시간 등의 통계 데이터로 가공할 수 있다.

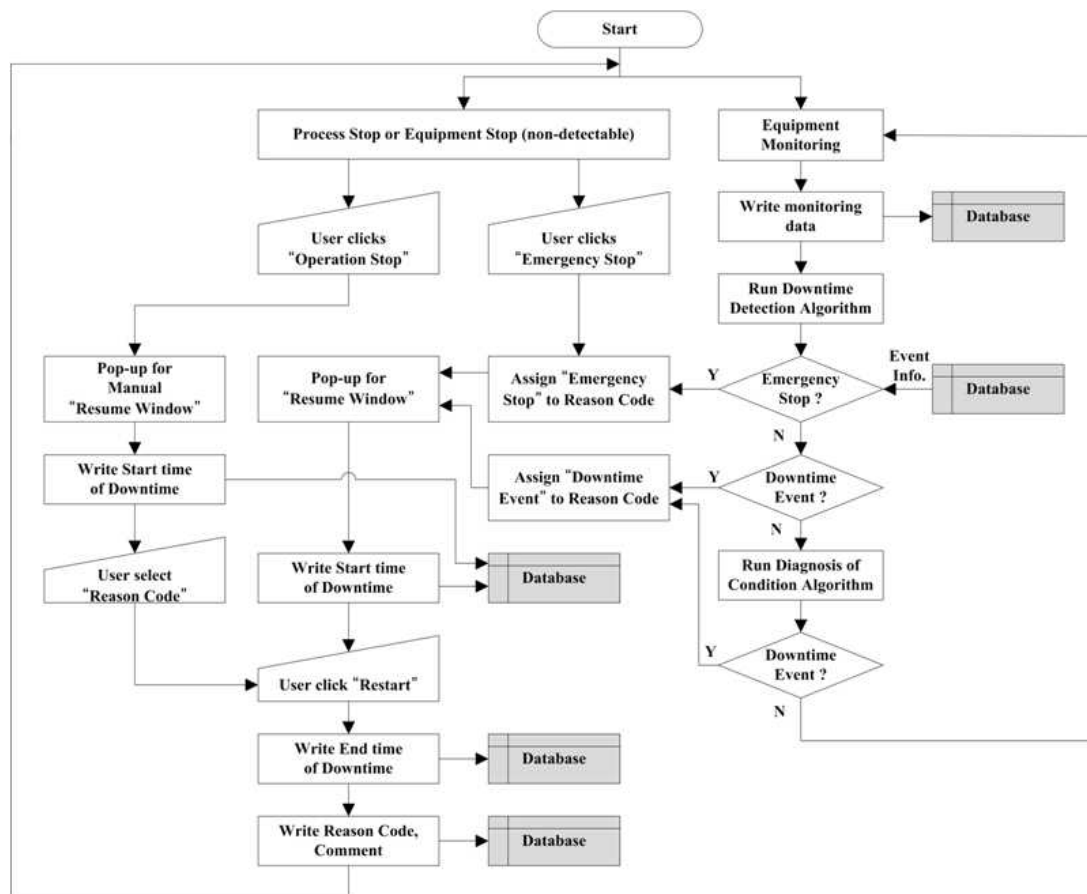
(2) 설비 정지 이벤트 감지: 설비가 제공하는 점점 정보 중에서 비상정지, 공기교환 등의 신호를 검출하여 정지시점과 사유를 관리한다. 관리자는 설비별 점점정보를 분석하여 검출을 원하는 정지 이벤트와 사유를 생산현장 정보 수집 시스템의 데이터베이스에 등록하며 HMI는 이를 참조하여 실시간으로 감지한다.

(3) 설비 상태진단: 설비 점점정보 만으로 검출이 어려운 이상상태 검출 및 고장진단을 위해 수행된다. 설비 상태진단은 각 설비마다 특성을 고려한 적합한

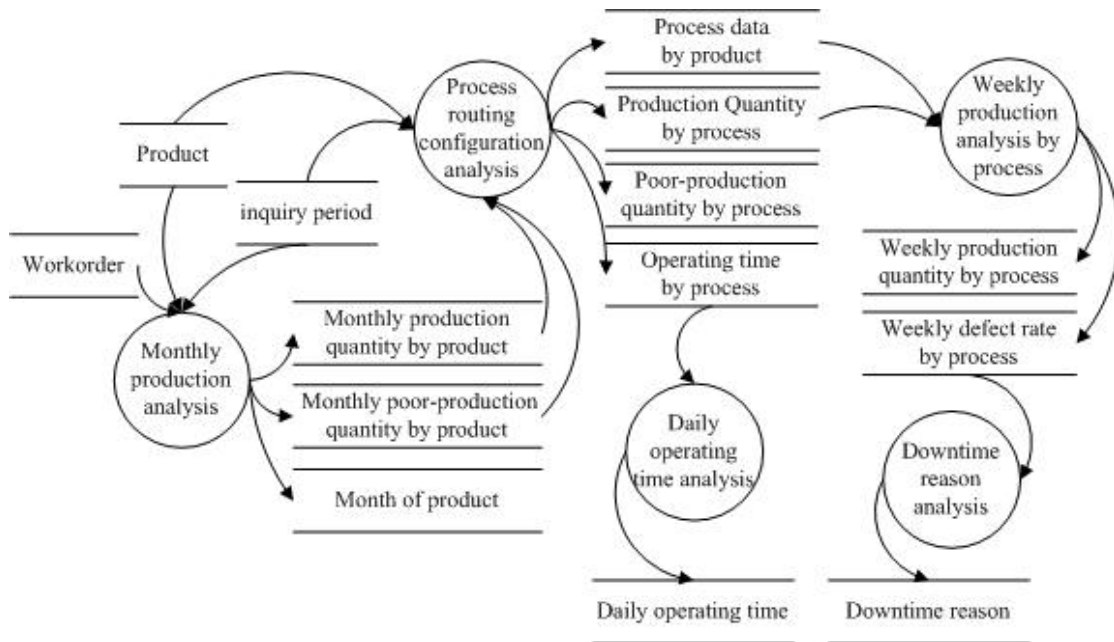
알고리즘이 필요하다. 하나의 설비 상태진단 알고리즘을 모든 설비에 적용할 수 없으며, 생산현장의 HMI에 설비 특성화된 개별 알고리즘을 탑재한다. 본 연구에서는 제안된 방법의 효율성 확인을 위해 Fanuc의 Oi 시리즈 제어를 탑재한 터닝머신의 분석을 통해 상태진단 알고리즘을 개발하여 적용하였다.

공정 중에 발생하는 비가동 시간의 수집은 자동으로 검출하기가 어렵다. 또한 이벤트 감지나 상태진단 알고리즘 구현이 어려운 설비, 설비 인터페이스를 통한 모니터링이 불가능한 생산설비(점점정보 제공이 어려운 선반 등의 범용설비)가 존재한다. 자동화된 비가동 시간 수집이 어려운 경우에는 작업자가 HMI의 key-in 인터페이스를 통하여 수작업으로 비가동 시간 및 원인을 기록한다.

설비 및 공정의 비가동 상태에서 가동 상태로의 전이, 즉 비가동 시간의 종료는 HMI 작업자 key-in을 통하여 기록한다. 작업자는 재가동에 필요한 조치를



<Fig. 4> Downtime collecting algorithm



<Fig. 5> Data flow for downtime analysis

수행한 후 작업재개를 입력하여 비가동 시간의 종료 시점을 기록한다.

본 논문에서 제안한 생산현장 모니터링을 이용한 비가동 시간 수집 알고리즘은 <Fig. 4>와 같으며 HMI에 탑재, 운영되며 수집된 관련정보는 데이터베이스에 저장된다.

3.3 비가동 시간 분석 모듈

비가동 시간 수집 모듈을 통해 수집된 관련 정보들은 분석 모듈을 통해 기업의 효율성 향상을 위한 비가동 시간 분석 및 원인 분석 데이터로 가공된다. 수집된 비가동 시간 관련정보를 이용한 생산현장의 손실 분석은 비가동 손실이 발생하는 공정을 중심으로 수행한다.

전체 제품 및 작업지시서를 통해 월별 생산량 분석을 거치면 월간 생산량 추이, 작업시간, 불량률 등의 데이터를 확인할 수 있다. 제품의 공정구성별 분석 프로세스를 거쳐 제품을 구성하는 공정정보, 공정별 생산량, 공정별 불량수량, 공정별 가동시간 정보가 분석된다. 가공된 데이터는 다른 분석 프로세스를 위한 입력 데이터로 사용된다. 기 분석된 가공 데이터들은 공정별 주간 생산량 분석, 일간 가동시간 분석, 비가동 시간 및 원인 분석 프로세스의 입력 데이터로 활용되

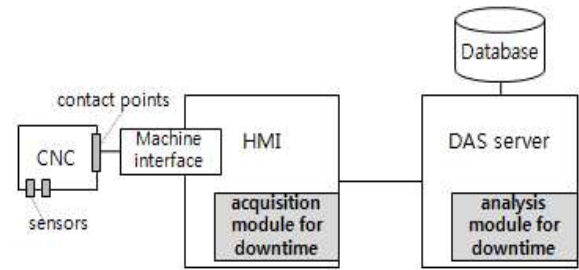
어 공정 가동시간 및 비가동 시간/사유 정보를 가려낸다. 비가동 시간 분석을 위한 데이터 흐름을 <Fig. 5>에 표현하였다.

데이터 흐름도의 각 프로세스를 중심으로 장소나 기기에 구애받지 않고 기업의 생산성 및 비가동 시간 분석이 가능하도록 웹 기반의 분석 모듈을 구현하였다. <Fig. 6>은 구현된 제품 단위의 분석용 사용자 인



<Fig. 6> Procedure for downtime analysis

터페이스에 의한 비가동 시간 분석 절차이다. 제품별 월별 생산량 그래프를 중심으로 생산수량, 불량률을 표현하였다. 분석을 수행하고자 하는 제품을 선택하면 해당 제품의 공정 가동시간, 생산수량, 불량 수량을 확인하여 이상 활동이 예상되는 공정을 선택할 수 있다. 이때 공정 가동시간은 비가동 시간이 제외된 실 가동 시간이다. 공정 분석을 위해 주 단위 생산량을 중심으로 이상 활동이 예상되는 주별 공정 가동시간, 비가동 사유의 확인이 가능하다.



<Fig. 8> System configuration

4. 적용연구

개발된 시스템을 가공시편 및 부품을 가공하는 소규모 기계부품 가공기업에 시범적용 하였다. 적용기업은 5축 가공기를 비롯한 약 20대의 공작기계를 보유하고 있으며 대상설비는 인장시편을 가공하는 CNC 선반으로 하였다. 대상설비는 <Fig. 7>과 같이 화천기공에서 생산된 CNC 선반(Cutex-160)으로 Fanuc사의 Oi-TC 제어기가 장착되어 있다.



<Fig. 7> Target equipment : Cutex-160

대상설비는 전원, 설비상태, 알람 등 영역별로 I/O 접점이 구분되어 있으며, 적용을 위한 시스템을 <Fig. 8>과 같이 구성하였다. 실시간 설비 모니터링을 제공하는 HMI에 개발된 비가동 시간 수집 모듈을 실장하여 비가동 시간 관련정보를 수집하고, 생산현장 정보 수집 시스템 서버에 비가동 시간 분석 모듈을 실장하였다.

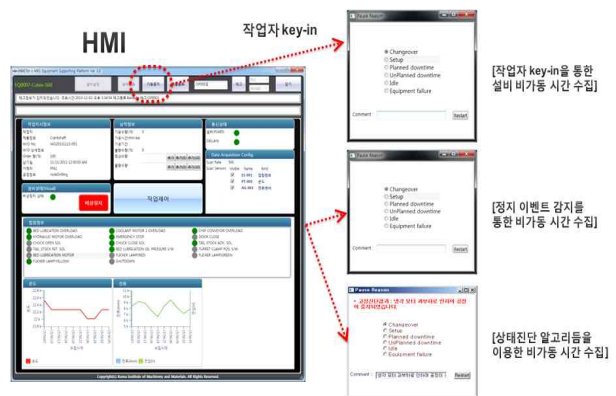
설비 상태정보는 설비의 PMC(Programmable Machine Controller)에서 나오는 디지털 출력접점 16개와 별도 장착한 아날로그 센서 2개(센서, 전류)로부터 수집한다. 수집된 디지털 출력 접점의 정보를 모니터링 하여 설비 정지 이벤트를 검출하기 위해 <Table 1>과 같은 정지 사유를 설정하였으며 해당 출력접점의 상태

<Table 1> Equipment downtime event

접점번호	접점이름	정지사유
1	Bed Lubrication Overload	
2	Coolant Motor 1 Overload	
3	Chip Conveyor Overload	
4	Hydraulic Motor Overload	
5	Emergency Stop	O 비상정지
6	Door Close	
7	Chuck Open Sol.	
8	Flicker Lamp(RED)	O 비상정지

(on)를 감지해 비가동 시간을 검출한다. 설비 상태진단 알고리즘은 출력접점들과 아날로그 센서 값을 이용하여 비상정지, 공정 중 문 열림, 공구교환, 테일(tail)의 초과이동, 척(chuck) 고정불량, 각종 구동모터의 오버로드 등의 세부진단 기능을 제공한다. 이를 이용하여 공정중지, 가공 중, 가공종료, 비상정지 등에 설비 비가동 사유 및 시작시간을 검출하였다.

비가동 시간 수집 모듈이 탑재된 HMI는 <Fig. 9>



<Fig. 9> HMI for downtime collection

와 같다. 설비 비가동 시작시간의 검출은 설비 정지 이벤트 감지 및 설비 상태진단 알고리즘을 통하여 수행된다. 공정 중에 발생하는 비가동 시간의 관리는 작업자가 HMI에서 “가동중지”를 선택하여 수행된다.

수집된 비가동 시간의 분석 모듈을 통한 결과는 <Fig. 10>과 <Fig. 11>의 웹 기반 사용자 인터페이스를 이용하여 확인할 수 있다. 대상 공정은 “roughness”로 기존 작업자가 수기로 작성하던 작업일지 기반의 관리방식에서는 어려웠던 공정 단위의 실 가동시간, 비가동 사유 분석 등이 가능하였다.



<Fig. 10> Analysis interface for product



<Fig. 11> Analysis interface for process

5. 결론

본 논문에서는 생산현장 모니터링을 이용한 비가동 시간의 수집과 분석 모듈을 소개하고 적용연구를 수행하였다. 개발 모듈은 비가동 시간에 대한 정확한 시

점관리와 원인 분석 기능을 제공한다. 설비 인터페이스에서 수집되는 설비 상태정보를 이용한 정지 이벤트 감지, 상태진단 알고리즘을 HMI에 탑재하였다. 공정 중에 발생하는 비가동 시점 및 사유는 작업자가 HMI에서 입력하여 관련정보를 데이터베이스에서 저장한다. 수집된 실가동 시간, 비가동 시간, 사유에 대한 공정 중심의 분석 기능을 제공한다.

생산현장 모니터링을 이용한 비가동 시간 수집 및 분석 모듈을 통해 수집되는 생산현장 데이터의 효율성 및 활용성이 증대되었다. 개선된 생산현장 정보 수집 시스템은 중소 제조기업이 가지고 있는 생산현장에서의 문제점 파악 및 생산성 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 추후에는 다양한 생산설비 지원을 위한 상태진단 알고리즘 개발과 함께 작업자 입력력을 최소화 할 수 있는 인터페이스 개발을 수행하여 생산현장에서의 시스템 활용성을 높이고자 한다.

References

- [1] P. Muchiri and L. Pintelon, “Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion,” *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 13, pp. 3517-3535, 2008.
- [2] A. K. S. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic, “A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance,” *Mechanical systems and signal processing*, Vol. 20, Issue 7, pp. 1483-1510, 2006.
- [3] J. Lee, J. Ni, D. Djurdjanovic, H. Qiu, and H. Liao, “Intelligent prognostics tools and e-maintenance,” *Computers in Industry*, Vol. 57, Issue 6, pp. 476-489, 2006.
- [4] D. Bulent, T. Phil, and G. Richard, “Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement - a practical analysis,” *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20, Issue 12, pp. 1488-1502, 2000.
- [5] F. Ferraz Jr and R. T. Coelho, “Data acquisition

and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 26, Issue 1-2, pp. 90-97, 2005.

- [6] B. C. Shin, S. J. Ha, M. H. Kang, Y. M. Heo, G. S. Yoon, and M. W. Cho, “The cutting process monitoring of micro machines using multi sensor,” Transaction of Materials Processing, Vol. 18, No. 2, pp. 144-149, 2009.
- [7] G. Q. Huang, Y. Zhang, and P. Jiang, “RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 36, Issue 7-8, pp. 752-764, 2008.
- [8] S. Jo, T. Chang, K. Shin, H. Na, and J. Park, “Continuous improvement plan of manufacturing process through real-time data acquisition,” Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vol. 14, No. 4, pp. 75-90, 2009.
- [9] T. Kim, C. B. Moon, B. M. Kim, H. A. Lee, and H. Kim, “Construction of Information Management System for User Customized Manufacturing Process,” Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vol. 17, No. 2, pp. 45-55, 2012.
- [10] J. Lee, S. W. Lee, and S. J. Nam, “Design of Information Acquisition System for Equipments on Shop Floor,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 35, No. 1, pp. 39-45, 2011.
- [11] S. W. Lee, S. J. Nam, and J. Lee, “Acquisition System of Process Information Based on a Direct Equipment Interface,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 15, No. 2, pp. 381-87, 2013.



이재경 (Jai-Kyung Lee)

- 정회원
- 아주대학교 컴퓨터공학과 학사
- 아주대학교 컴퓨터공학과 석사
- 충남대학교 컴퓨터공학과 박사
- 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부 선임연구원
- 관심분야 : 설비 모니터링, 스마트 팩토리



이승우 (Seung-Woo Lee)

- 정회원
- 인하대학교 산업공학과 학사
- 인하대학교 산업공학과 석사
- 인하대학교 산업공학과 박사
- 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 책임연구원
- 관심분야 : 지능형 생산시스템, 스마트 팩토리

논문접수일 : 2014년 03월 24일
1차수정완료일 : 2014년 04월 25일
2차수정완료일 : 2014년 08월 01일
게재확정일 : 2014년 08월 04일