그룹 생산설비에 대한 PLC 기반 감시시스템 개발

조용식^a, 안정환^{b*}

Development of Programmable Logic Controller-Based Supervisory System for Group Production Machine

Yongsik Cho^a, Junghwan Ahn^{b*}^a Department of Mechanical and Intelligent Systems Engineering, Pusan National University, Jangjeon 2-dong, Geumjeong-Gu, Busan, 609-735, Republic of Korea^b School of Mechanical Engineering, Pusan National University and ERC/NSDM, Jangjeon 2-dong, Geumjeong-Gu, Busan, 609-735, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 November 2013

Revised 6 January 2014

Accepted 4 February 2014

Keywords:

Monitoring

MES

HMI (Human Machine Interface)

PLC

Supervisory

ABSTRACT

The manufacturing equipment on most shop floors consists of numerical control machines, and the condition of each piece of equipment is monitored and controlled by an internal sensor or programmable logic controller (PLC). To control and monitor production lines that consist of an equipment or production module, a separate control and monitoring system such as a manufacturing execution system should be introduced. However, there is no standardized system, and it is costly and difficult to build a system for small or medium-sized plants. In this paper, a PLC-based supervisory system for operation control of a group of production machines is proposed, and the developed PLC-based system is evaluated by applying it to a computer numerical control machine.

1. 서론

대부분 생산 현장의 생산 설비는 주로 NC 장비로 자동화 되어있고, 개별 장비의 설비나 운전 상태는 각 장비에 부착되어 있는 센서와 PLC에 의해 감시·제어되고 있다. 그러나 이런 장비들이 그룹으로 구성된 생산 라인이나 생산 모듈 단위로 운전 상태를 감시하고 통제하려면 제조실행시스템(MES: Manufacturing Execution System)과 같은 별도의 시스템을 도입해야 한다^[1,2]. 실제 현장에서 제조실행시스템이 보급되고 있으나 다양한 생산 설비와 공정의 특성에 따른 상태 적합성이 분석되지 않은 상태로 운영되기 때문에 생산 현장에서 생산성이 떨어져 기업에서 필요로 하는 정보(기계

가동률, 생산량)를 적절히 제공하지 못하고 있는 실정이다. Mazak의 e-Tower나 Fanuc의 Climplyt 제품과 같이 내부에서 API(Application Program Interface)를 제공하는 경우 API 자체가 자사 제품만을 지원하기 때문에 범용성이 낮고 고가이다^[3,4]. 이처럼 다양한 설비에 맞게 표준화된 시스템이 없고, 경비가 많이 소요되기 때문에 대부분 중소규모의 공장에서는 활용이 잘 되지 않고 있다.

따라서 공장 전체의 생산설비 운전 상태를 한눈에 볼 수 있는 감시 시스템의 표준화, 저가화가 필요하다. 설비의 상태 정보를 얻기 위해서는 리미트 스위치, 릴레이 회로, 전자회로, 기계요소 등에 부착된 센서 등을 이용하여 설비로부터 나오는 전기적인 신호를 획득하여야 한다. 이러한 신호를 통해 얻을 수 있는 가동관련 정보는 정

* Corresponding author. Tel.: +82-51-510-3087

Fax: +82-51-581-3087

E-mail address: jhwahn@pusan.ac.kr (Junghwan Ahn).

상 운전, 비상정지, 작업 완료/대기, 고장(Alarm) 등이 있다^[5].

제조업에서 사용하는 NC 기계는 대부분 잘 알려져 있는 형식의 NC-data에 의해 동작된다. NC 기계에 NC-data를 공급하는 DNC 시스템은 이미 상용화된 기술이지만 NC 기계에서 NC-data의 가동 상황까지 모니터링 하는 것은 아직 관련 연구가 미비한 상황이다. 특히 컴퓨터로 이러한 신호를 받기 위해서는 Digital 신호를 컴퓨터가 받을 수 있는 신호로 바꾸어 주는 프로토콜 변환 장치가 필요하다^[6].

설비 정보를 얻기 위해 NC 설비의 I/O 인터페이스 모듈을 설계하고 제작하려면 설비마다 별도의 I/O 인터페이스 모듈이 필요하므로 경제적으로 부담이 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 설비의 출력선과 감시용 PLC의 I/O 접점을 직접 연결하여 여러 설비의 정보를 획득하고 통제할 수 있는 PLC 기반 감시 시스템을 개발하였다.

PLC는 산업현장에서 널리 사용되고 있으며 간단한 프로그램으로 제어로직을 쉽게 변경할 수 있고, 가격이 싸고 신뢰성이 높아 확장성이 뛰어나기 때문이다. 또한 일반적인 회로에 비해서 구조가 간단하고 시간에 대한 변화량을 1/1000초까지 비교적 정확하게 측정할 수 있기 때문이다^[7].

이 방법은 NC기계에 범용적으로 사용되는 I/O 접점의 정보(Lamp, Emergency Stop)를 사용하여 설비의 확장성을 높임으로써 다양한 설비로 구성된 그룹 생산 설비에 적용할 수 있는 장점이 있다. 이 방법에 의한 감시 시스템을 서로 다른 가공방식의 실가공 설비에 적용하여 설비의 상태정보를 확인하고 설비의 작동 시간, 생산량 등을 추정할 수 있음을 확인하였다.

2. PLC 기반 감시시스템

2.1 시스템 구성

Fig. 1은 PLC 기반 감시시스템의 구성을 나타낸다. 다양한 설비의 가동상태는 각 설비에 내장된 설비 PLC의 출력 접점에서 확인

Fig. 1 Diagram of PLC based production supervisory system

이 가능하므로 이를 감시용 PLC에 연결해서 모든 설비의 가동상태 정보를 취합한다. 감시용 PLC는 RS232 통신을 통해 감시용 PC로 정보를 보낸다. 감시용 PLC는 베이스에 2개의 64점 D/I 모듈을 탑재하였고 각 모듈에는 적용하고자 하는 설비마다 8개의 접점을 이용하여 4대의 설비에 감시 시스템을 적용할 수 있도록 구성하였다.

2.2 설비 상태 정보 수집

Fig. 2는 감시용 PLC가 입력받은 설비정보를 PC로 전송하기 전에 시행하는 신호처리 과정을 나타낸다. 설비의 PLC 접점에 연결된 D/I 모듈을 통해 받은 Binary Code 형태의 설비정보를 ASCII Code로 변환 후 통신모듈을 통해 정해진 프로토콜을 이용해 PC로 전송한다.

Fig. 3은 설비의 상태 정보를 PC로 전송하기 위한 프로토콜 구조이다. PC가 데이터 수신 준비가 된 상태에서 감시용 PLC에 송신 요청신호를 보내면, PLC는 데이터 셋(Dataset)에 설비의 번호와 상태정보를 실어 PC로 보낸다.

2.3 감시용 Human Machine Interface 구성

감시용 HMI는 Fig. 4처럼 설비선택 화면과 모니터링 화면으로 구성되는데 실제 장치의 상태정보를 감시용 PC에서 한 눈에 볼 수 있다. Fig. 4(a)는 전체 감시중인 설비를 나타낸 것이다. 그래프는 가공 중, 대기 중, 고장의 상태를 나타낸다. 설비를 선택하면, Fig. 4(b)의 설비정보와 작업정보(작업 명, 가공물, 작업자)를 볼 수 있다. 설비정보는 가공 상태(가공 중, 대기, 가공완료), 완료된 가공물의 개수, 공정시간, 운전시간, 가동률 등의 상태를 나타낸다.

Fig. 2 PLC signal processing

Fig. 3 Communication protocol between PC and PLC

(a) Machine selection

(b) Monitoring screen

Fig. 4 HMI for production monitoring

구현 환경은 Microsoft Windows 운영 체제이고 개발 언어는 Microsoft의 객체 지향 개발언어인 .Net Framework 3.5 기반, Visual Studio 2010 C#이다^[8].

3. 기계 동작상태 및 가동률 추정

기계의 동작상태와 가동률을 추정하는 방법은 설비의 확장성과 범용성을 높이기 위하여 최소의 정보를 이용하였다. 대부분의 NC 장비에서 적용할 수 있는 점점인 Lamp 정보와 Emergency Stop 정보를 적용하였다. Lamp 신호의 변화를 이용하여 Lamp를 사용하는 자동화 설비들은 모두 감시가 가능하다.

3.1 기계 동작상태 감시

통신선을 통해 설비 정보- Power (P), Yellow Lamp (YL), Green Lamp (GL), Red Lamp (RL), Emergency Stop (ES)등 -가 PC로 입력되면 논리연산을 통해 구동상태가 결정된다.

Table 1 Data arrangement of input signal

I/O Pin connector Information					Machine Status	Time
P	GL	YL	RL	ES		
0	×	×	×	×	Machine Rest	t_R
1	0	×	0	0	Machine Standby	t_S
	1	0	0	0	On Process	t_P
	0	0	1	×	Machine Failure	t_F

0 : OFF, 1 : ON, × : Don't care

Table 1은 설비정보에 따라 논리연산을 통해 출력된 기계 동작 상태 결과표이다. 0은 점점에서 나오는 신호가 OFF 상태이고 1은 점점 신호가 ON 상태, 그리고 ×는 ON/OFF 모두 가능한 상태이다.

기계 동작 상태는 4가지로 기계정지, 기계대기, 작업 중, 고장으로 나뉘어 기계 가동률 및 생산량을 추정하는데 이용된다.

기계정지 상태는 설비의 전원(Power)이 없는 상태이다. 기계대기 상태는 세부적으로 2가지의 상태로 나타나는데 Yellow Lamp가 ON 상태와 OFF 상태가 있다.

ON인 상태는 공정이 종료된 상태이고 OFF상태는 기계 초기상태와 고장상태 해결 두 가지 상태이다. 작업 중인 상태는 Green Lamp가 ON인 상태이며, Red Lamp가 ON인 상태는 고장상태이다. 고장상태에서 부가적인 정보는 ES, Door, Tail, Chuck을 이용하여 판단할 수 있다. 세부적인 점점정보를 이용하면 비상정지 버튼 작동, 공정 중 문 열림, 테일의 초과이동, 척 고정 불량 등의 세부정보를 알 수 있다^[9].

3.2 기계 가동률 및 생산량 추정

설비에서 획득한 기계 상태정보를 이용하여 대기시간, 운전시간, 생산량을 추정할 수 있다. 기계정지시간(t_R)은 작업 중 기계가 휴식하는 시간이고, 기계대기시간(t_S)은 기계가 공정을 위해 대기하는 시간이다.

공정시간(t_P)은 한 사이클 동안 걸린 시간으로 공정 중 기계가 고장을 일으킨 경우는 제외한다. 공정시간이 끝날 때 생산량이 1개 추가된다. 설비의 운전시간(Operating Time: OT)은 각 생산량에 대한 공정시간을 더한 시간으로 식 (1)와 같다.

$$OT = \sum_{i=1}^N t_P(i) \quad (1)$$

N : 총 생산량

기계 가동률(Machine Utilization: MU)은 작업자가 주어진 작

업을 수행하기 위하여 공장에 제공하는 시간(작업자시간) 중에서 실제 작업시간과 작업에 종사하지 못한 시간(대기·준비·휴식시간 등)이 어느 정도의 비율인가를 나타낸 것으로 운전시간에 1일 근무 시간을 나누어 준 식으로 식 (2)와 같다^[10].

$$MU = \frac{OT}{t_w} \quad (2)$$

t_w : 1일 근무시간 ($t_w = t_R + t_S + t_P + t_F$)

4. NC선반(Cutex-160) 감시

4.1 상태 신호 접점

NC선반은 공작물을 회전시키면서 바이트를 이송 또는 절입시켜 바깥지름 절삭, 끝 면 절삭, 정면 절삭, 절단, 테이퍼 절삭, 곡면 절삭, 구멍 뚫기, 보링 및 널링 작업, 나사 절삭 등을 하는 공작 기계이다. Fig. 5는 감시시스템을 적용한 화천기계공업의 선반 (Cutex-160)이다.

NC선반에 감시 시스템을 적용하기 위하여 Table 2와 같이 상태 감시 접점을 선정하였다. 본 연구에서 제시했던 기계 동작 상태 감시 접점 4개와 추가적으로 설비를 감시할 수 있는 접점 4개를 사용하였다.

Fig. 5 CNC lathe (Cutex-160)

Table 2 Digital contacts at CNC lathe (Cutex-160)

IO Number	Equipment Status
01	Power (P)
X84	Emergency Stop (ES)
X87	Door (D)
Y24A	Chuck (C)
Y32A	Tail (T)
Y60	Red Lamp (RL)
Y61	Green Lamp (GL)
Y62	Yellow Lamp (YL)

4.2 선반 감시 HMI화면

Fig. 6은 선반을 대상으로 PLC 기반 감시 시스템을 적용하여 실시간으로 감시하고 있는 HMI화면이다. CNC 선반에 전원이 들어와 있는 상태에 작업 중이다. 장비의 총 가동시간은 2시간 4분 3초이고, 그 중, 가공 시간 1시간 10분 12초인 것을 알 수 있다. 본 논문에서 제안되었던 생산량과 가동률 추정 식에 의하면 현재 대상 설비의 가동률이 56%인 것을 알 수 있고, 총 제품의 생산량이 15개인 것을 확인할 수 있다. HMI 화면의 왼쪽에 작업번호와 그에 따른 작업물의 사진과 작업자의 정보를 확인할 수 있다.

5. NC밀링(Hi-Super) 감시

5.1 상태 신호 접점

NC밀링장비는 금형을 만드는 데 가장 많이 이용되는데, 금형과 공구의 상대적 이동에 의한 절삭가공으로 원하는 성형 부위를 만들어 내는 기계이다. Fig. 7는 감시시스템을 적용한 화천 기계공업의 밀링(Hi-super)이다. 밀링에 감시 시스템을 적용하기 위하여 상태

Fig. 6 Application of supervisory system to CNC lathe

Fig. 7 CNC milling (Hi-super)

Fig. 8 Application of supervisory system to CNC milling

Table 3 Digital contacts at CNC milling (Hi-super)

IO Number	Equipment status
214	Emergency Stop (ES)
173	Power (P)
K3	Red Lamp (RL)
K4	Green Lamp (GL)
N/A	Yellow Lamp (YL)

감시 접점으로 본 연구에서 제시한 기계동작 상태 감시 접점 중 Emergency Stop, Power, Green Lamp, Red Lamp를 선정하였다.

감시시스템이 적용된 밀링에서는 설비의 진단에 필요한 4가지 접점 중 1가지(Yellow Lamp)가 존재 하지 않기 때문에 그에 해당하는 접점은 대상 밀링에서 사용하지 않는다. Table 3은 동작 상태 감시를 위해 접점의 사용/미사용으로 구분하여 정리한 것이다. 이 접점은 감시시스템의 기계가동률과 생산량의 구하는 데에는 전혀 문제가 되지 않는다.

5.2 밀링 감시 HMI화면

Fig. 8은 밀링을 대상으로 감시 시스템을 적용하여 실시간으로 설비의 운전 상태를 감시하는 화면이다. HMI 프로그램을 통해 NC밀링의 전원이 들어오고 현재 대기상태(Standby)에 가공 시간 1시간 15분 2초인 것을 알 수 있다. 대상 설비의 가동률이 55%인 것을 알 수 있고, 총 제품의 생산량이 17개인 것을 확인할 수 있다. HMI 화면 왼쪽에서 가공물의 형상과 작업자의 정보를 알 수 있다.

6. 결 론

현재 보급중인 대부분의 제조실행시스템은 표준화된 시스템이 없고, 생산 현장의 실시간 설비 상태 정보를 제대로 반영하지 못하고 있다. 본 논문은 이러한 단점을 보완하기 위해 현장의 다양한

생산 설비를 고려한 PLC 기반 인터페이스 모듈을 제안하고 이를 적용하고자 하였다. 적용 대상 설비를 선정하고 설비의 동작 상태 별로 출력접점에서 나오는 신호를 이용하여 PLC D/I모듈을 사용하여 각각의 NC설비 정보를 획득하였고, 이를 이용해 상태 감시를 위한 논리식을 도출하여 감시시스템에 적용하였다. PLC와 PC간의 통신 프로토콜을 설정하여 측정값의 신뢰성을 높였다.

공통적으로 적용할 수 있는 상태 감시 알고리즘을 개발하여 PLC 프로그램과 HMI를 평가하기 위해 CNC설비들을 PLC 기반의 감시시스템을 연결한 후, 설비를 구동하여 확인 가능한 운전 정보, 운전시간, 수량정보 등을 송수신하여 정보를 확인하고 각각 개별 동작 상태도 확인하였다. HMI에서는 설비 공통적으로 적용되는 정보들과 설비에 개별적으로 적용되는 정보들을 혼합하여 화면을 구성하였다.

후 기

이 연구는 생산기술원이 지원하고 있는 국가플랫폼 기술개발 사업 중 “c-MES 플랫폼 설비지원 기술” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] MESA, 1997, MES Functionalities & MRP to MES data Flow Possibilities, MESA INTERNATIONAL WHITEPAPER, 2 1-8.
- [2] Lee, K. S., Kim, S. H., 2004, Design and Implementation of Mes System in Manufacturing Process, Korea Information Processing Society, Spring Annual, 781-784.
- [3] Kim, D. H., 2005, Fault-Cause Detection and Remote Monitoring in PLC Controlled Machine-Tools with an Open Architecture CNC, A Thesis for a Doctorate, Kyungbook University, Republic of Korea.
- [4] Lee, S. W., Lee, J. K., Nam, S. J., and Park, J. K., 2005, Application of Data Acquisition System for MES, The Korean Society of Mechanical Engineers, 35:9 1063-1070.
- [5] Nam, S. J., Lee, J. K., Lee, S. W. and Park, J. K., 2011, Acquisition of Data of Equipments on Shop Floor using Interface between Various Equipments, The Korean Society of Mechanical Engineers, 35:2 149-156.
- [6] Park, G. R., Lee, C. S., 2004, A Development of Prototype System for Monitoring and Checking the Safety-Status of NC Machines, Korean Institute of Industrial Engineers, 17:1 13-21.
- [7] Jang, S. C., Hong, S. N., 2014, A Study on the Control Characteristics of By FHA by Using PLC, Korean Society of Manufacturing

- Technology Engineers, 22:2 331-336.
- [8] Sun, B. K., Han, K. R. and Rim, K. Y., 2005, Study on Development of Embedded HMI System for PLC Monitoring, Institute of Electronics Engineers of Korea, 42:7 219-228.
- [9] Cho, Y. S., 2013, Integrated Monitoring System Machine and Process Status Information in Awj for MES Application, A Thesis for a degree of Master of Science, Pusan National University, Republic of Korea.
- [10] Huh, S. K., Ha, J. C., 1993, Utilization Analysis by Tool Allocation Method of the FMS, Korean Operations Research and Management Science Society, 18:1 19-28.