

열 수축 튜브 자동 절단 장치를 위한 공정제어 및 감시 시스템에 관한 연구

김형석* · 이병룡† · 유호영**

(2007년 12월 28일 접수, 2008년 9월 1일 수정, 2008년 10월 21일 심사완료)

A Study on Manufacturing Process Control and Monitoring System for Heat-Shrink-Tube Cutting Machine

HyoungSeok Kim, ByungRyong Lee and HoYoung Yun

Key Words : LAN(랜), PLC, Process Control(공정제어), Process Monitoring(공정감시), Heat-Shrink-Tube(열 수축 튜브)

Abstract

In conventional cutting system of Heat-Shrink-Tube, workers operate cutting system after considering about length and quantity of heat-shrink-tube. So, not only work time and production cost is increased but also material is wasted because the data that workers have to consider is so much. In this paper, an effective cutting system of heat-shrink-tube was developed to reduce production cost, work time and waste of material.

The cutting system consists of a supervisory computer installed inside a control room, a on-site computer installed on the work area, and a PLC system. In the developed system, a supervisory computer send work order to the on-site computer using LAN and the on-site computer operates the cutting system of the heat-shrink-tube after it makes an array production order. Also, the on-site computer reports information to the supervisory computer when an accident happened.

1. 서 론

생산 시스템에서 정보의 효율적인 통제는 기업 경쟁력 향상의 중요한 부분이며 정보화 기술의 급속한 발전에 의해 CIM(Computer Intergrated Manufacturing)시스템과 같이 생산 활동의 필요한 정보를 효과적으로 관리하기 위한 정보화 시스템의 구축이 가속화되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 정보화 시스템을 구축하기 위해서는 CAN(Control Area Network), 필드버스(Field Bus) 그리고 네트워크 기술의 적용이 필수적이다. 첨단 생산자동화 시스

템을 구축하기 위해서는 각 공정에서 필요로 하는 정보를 적시에 제공할 수 있는 정보의 통합화를 구현하는 것이 중요하다. 따라서, 통신망은 자동화 요소들 간에 정보 교환을 가능케 함으로써 첨단 생산자동화 시스템에서 중추 및 신경 기능을 담당하고 있다.⁽²⁾ 네트워크 기반의 자동화 추세는 전자 산업과 컴퓨터의 급격한 발전으로 실제로 많은 자동화 생산라인에 적용되고 있다.⁽³⁾ 김기암과 홍승호는 자동화 장비들을 필드버스 네트워크에 접속 시키기 위한 핵심 기술인 필드버스 접속 소프트웨어의 구현 방법론을 제시하였다.⁽⁴⁾ 또한, 공장자동화는 공장 또는 공정을 무인화하는 것뿐만 아니라 공장시설의 운전상태 감시 및 제어, 이상여부의 진단 그리고 적절한 관리를 수행하는데 목적이 있다. 특히, 공장자동화 중 대부분의 생산공정제어 및 고장진단은 PLC (Programmable Logic Controller)를 이용한 시퀀스 제어로 이루어져 있다. 공정제

† 책임저자, 회원, 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail : brlee@mail.ulsan.ac.kr

TEL : (052)259-2861 FAX : (052)259-1680

* 울산대학교 기계자동차공학과

** 울산과학기술대학 디지털기계학부

어를 위한 PLC 는 프로그래밍이 컴퓨터에 비해 비교적 쉽고 고장이 적으며 유지보수가 쉽고 신뢰성 또한 높은 편이다. 최근에는 PLC 의 기능강화 및 보완, 사용편의를 위한 여러 장치들이 개발되어 사용되어 지고 있다. 그러나, PLC 는 프로그램 및 HMI(Human Machine Interface)를 위해 별도의 컴퓨터를 필요로 하며 간단한 업그레이드에도 많은 비용이 들고 표준의 하드웨어와 소프트웨어를 사용하지 않는 단점이 있으며 데이터의 처리도 쉽지 않다.^(5,6) 또한, 사무실과 생산현장 사이의 데이터 전송 및 공정 감시에 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 Zhang H. 외 2 명은 컴퓨터를 이용한 PLC 모니터링 프로그램을 개발하였다.⁽⁷⁾ 그러나 이와 같은 방식은 하나의 PLC 에 하나의 공정 감시용 컴퓨터가 필요한 단점이 있다.

현장에서 사용하고 있는 기존방식은 작업자가 작업지시서를 받아 열 수축 튜브의 길이, 수량을 각각의 생산라인에 설치된 입력장치를 통해 입력 후 생산하게 된다. 만약, 원자재 열 수축 튜브가 소멸되면 절단된 열 수축 튜브의 수량을 제외한 나머지를 계산하여 길이에 따른 열 수축 튜브의 수량을 다시 생산라인의 입력장치를 통해 입력해야 하는 반복적인 작업을 해왔다.

본 논문에서는, 이와 같은 생산 방식의 단점을 보완하기 위하여 현장에 설치된 PLC 에 컴퓨터를 연결하여 열 수축 튜브의 자동 절단 시스템의 공정을 제어하고 감시하도록 함으로써 작업자의 반복된 작업 및 생산 시간을 줄이고 생산성을 향상시킬 수 있는 자동절단 및 공정 제어 시스템을 개발하였다. 작업현장에 설치된 컴퓨터와 PLC 는 직렬 통신과 DIO(Digital Input /Output)를 이용하여 데이터 통신을 구축하였다. 또한, 이미 설치된 LAN(Local Area Network)을 이용하여 작업현장의 컴퓨터와 사무실의 관리자 컴퓨터를 연결하여 사무실내의 관리자가 직접 작업현장의 작업지시 및 실시간 공정 감시가 가능하도록 하였다.

2. 열 수축 튜브의 절단 시스템

2.1 기존의 열 수축 튜브 절단 시스템

현재 사용 중인 자동차용 브레이크 튜브는 표면에 부식이 발생하기 쉽고 운행 중 노면으로부터 튀어 오르는 이물질들로부터 충격을 받기 쉽다. 또한, 차체와의 간섭에 의하여 튜브가 손상을 받기가 쉽다. 이러한 문제점들로부터 브레이크 튜브를 보호하기 위하여 열 수축 튜브를 브레이크 튜브에 끼워서 코팅하게 된다.

Table 1 The lengths and numbers of heat-shrink-tube according to vehicle models

차종	열 수축 튜브의 길이(mm)	수량(EA)
A	70	1
	75	1
	190	1
B	60	1
	90	1
	270	1
	305	2
C	3230	1

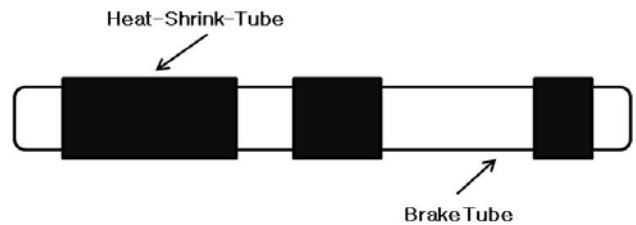


Fig. 1 An example of brake tube insertion in heat-shrink-tube

Figure 1 은 절단된 열 수축 튜브에 자동차용 브레이크 튜브가 삽입된 모습을 보여준다. Table 1 에서 보는 바와 같이 차종에 따라 열 수축 튜브의 절단 길이와 개수가 다르며 같은 차종에서도 여러 종류의 길이로 절단된 열 수축 튜브가 사용되고 있다.

작업자가 차종 별 작업지시서를 받으면 절단된 열 수축 튜브의 길이를 자동차의 종류 및 수량, 원자재 열 수축 튜브의 길이 등을 모두 고려하여 작업해야 한다. 따라서, 생산에 많은 시간이 소비되며 원자재 열 수축 튜브의 소비도 최소화 할 수 없으므로 기업의 경쟁력을 저하할 수 있다. 또한, PLC 에만 의존하는 공정 제어는 생산수량, 불량데이터, 고장 점검 등의 데이터를 보관 및 활용하기가 힘들어 차후 기업의 데이터 베이스 구축에도 한계가 있다.

2.1 제안된 공정 제어 및 공정 감시 시스템

기존의 자동화 생산 라인과 작업 현장의 PLC 를 별도로 교환하지 않고 그대로 사용함으로써 공정 개선 비용을 최소화 하도록 시스템을 구축하였다. PLC 를 제어하고 감시할 컴퓨터를 연결함으로써 PLC 가 가지는 한계점을 보완하였다.

Figure 2 는 관리자 컴퓨터, 작업자 컴퓨터 그리고 자동화 설비의 대략적인 구조이다. 특히, 작업 현장의 컴퓨터는 사무실의 관리자 컴퓨터와 LAN 통신을 이용하여 사무실에서 작업 현장으로 작업 지시를 내리고 작업 현장의 데이터를 실시간 수집할 수 있다. 따라서, 관리자가 사무실에서 여러 생산 라인을 원격으로 생산량을 제어할 수 있고, 동시에 생산현장의 생산진도 및 문제점등을 감시할 수 있는 시스템이라 할 수 있다.

3. 장치 구성

본 논문에서 제안한 실험 장치의 구성은 사무실에 설치된 관리자용 컴퓨터와 작업 현장에 설치된 작업자용 컴퓨터는 LAN 을 이용한 통신을 하고 작업자용 컴퓨터와 PLC 는 DIO 를 이용하여 공정 제어 및 공정감시를 할 수 있도록 연결하였다.

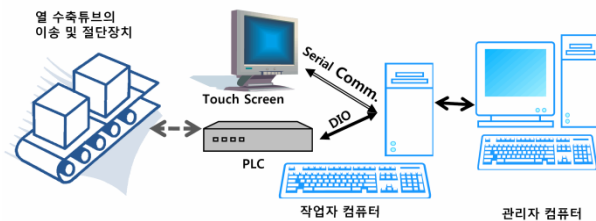


Fig. 2 Overall configuration of proposed system

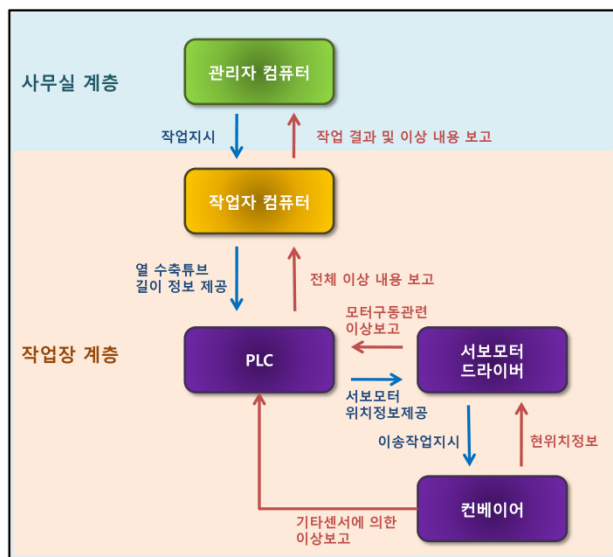


Fig. 3 Signal flow of overall system

PLC 는 서보모터 시스템을 이용한 컨베이어 컨트롤과 기타 센서를 이용한 고장점검 및 이상 내용의 보고를 받도록 하였다.

Figure 3 은 공정제어 및 감시를 위한 시스템의 신호 흐름을 나타내고 있다. Fig. 3 에서의 PLC 는 기존의 현장에 설치된 PLC 를 의미하며 PLC 의 래더(Ladder) 프로그램에서 이미 저장된 튜브의 길이 정보를 제거 하고 여분의 접점을 이용하여 튜브의 길이정보를 컴퓨터의 DIO 를 통해 입력 받을 수 있는 하드웨어 시스템을 구축하였다. 그리고 근접 센서 및 서보모터 시스템에서 발생되어 PLC 로 보고되는 고장점검 및 이상 내용도 DIO 를 이용하여 현장의 작업자 컴퓨터가 획득하도록 구성하여 기존의 시스템에서 장치의 수정 및 추가 없이 시스템을 구축 하였다.

4. 공정제어 및 공정감시 알고리즘

공정제어 및 공정 감시의 전체 흐름은 Fig. 5 에 나타나 있으며 관리자와 작업자용 프로그램의 기능과 작업지시 내용, 고장 점검 내용을 보여주고 있다. 관리자 및 작업자용 공정제어 및 감시 프로그램은 Visual C++로 개발되었다. 우선 관리자가 관리자용 프로그램을 이용하여 원자재 열 수축튜브의 길이, 열 수축 튜브의 길이 및 수량, 생산 라인, 작업자 등을 작업지시서로 작성하고 각 해당 생산 라인의 컴퓨터로 전송시키게 된다. 작업 지시를 전송 받은 현장의 작업자용 컴퓨터는 작업내용을 작업자에게 Touch Screen 을 통해 작업내용을 확인시키고 절단할 열 수축튜브의 길이를 모두 정렬시켜 작업 순서를 정한다.

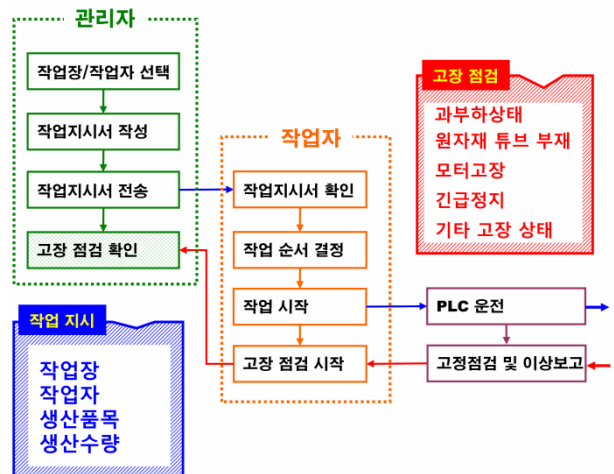


Fig. 4 Flow of process control and monitoring

Table 2 The example of the proposed sorting algorithm

60 (mm)	90 (mm)	270 (mm)	305 (mm)	L_i (mm)	S_i (mm)
1	1	1	1	725	-25
1	1	1	0	420	280
1	1	0	1	455	245
1	1	0	0	150	550
1	0	1	1	635	65
1	0	1	0	330	370
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Table 3 The average error of experiment

차종	열 수축튜브의 길이(mm)	오차(mm)
A	70	0.1
	75	-0.3
	190	-0.35
B	60	-0.05
	90	0.1
	270	-0.25
	305	0.65
C	3230	0.5

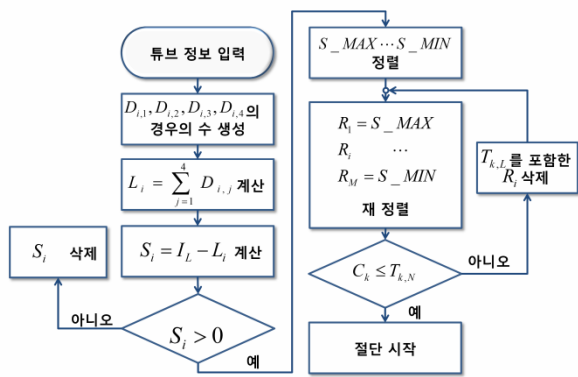


Fig. 5 Proposed sorting algorithm for tube-cutting length sort

Figure 5는 열 수축튜브의 폐기량을 최소화하기 위하여 제안된 절단 순서 결정 알고리즘의 플로우 차트이다. 여기서, i 는 절단될 순서이고 j 는 열 수축 튜브의 길이 별 종류이다. $T_{i,L}$, $T_{i,N}$ 은 i 번째로 절단될 열 수축튜브의 길이와 수량을 각각 나타낸다. $D_{i,j}$ 는 i 번째로 절단될 j 번 종류의 열수축 튜브의 $T_{j,L}$ 이 저장된 배열의 이름이며 I_L 은 원자재 열 수축튜브의 길이를 나타내고 C_k 는 $D_{i,k}$ 의 카운터 값을 나타낸다. 그리고 S_{MAX} , S_{MIN} 은 S_i 의 최대값, 최소값을 나타내고 M 은 S_i 의 최대값에서 최소값으로 정렬된 R 의 총 개수이다. 순서결정은 원자재 열 수축튜브의 길이에 따라 버리는 양이 최소화하는 열 수축튜브의 길이 조합으로 결정하게 된다. 예를 들어, 원자재 열 수축 튜브의 길이가 700mm 이고 길이가 60mm, 90mm, 270mm, 305mm 인 열 수축 튜브를 각각 1 개씩 절단할 경우 16 개의 경우의 수가 발생하며 이를 Table 2에 나타내었다. 여기서 $S_i < 0$ 인 첫 번째 줄은 삭제가 되고 버려지는 열 수축 튜브가 가장 작은 $S_i = 65$ 인 다섯 번째 줄의 60mm, 270mm, 305mm 순서대로 우선 절단된다. 그리고 Fig. 5와 같이 재정렬하여 수량을 맞추게 된다.

Table 4 The comparison of manufacturing cost

	일일 총 생산량 (P)	23,000(m)
기존의 시스템	재료비 (C_M)	0.7(천원/m)
	일일 생산시간 (T)	8(hr)
	일일 버려진 량 (W)	230(m)
	시간당 비용 ($C_W=P \times C_M/T$)	2,013 (천원/hr)
	손실 비용 ($C_L=W \times C_M/T$)	20.1 (천원/hr)
제안된 시스템	일일 총 생산량 (P^*)	23,000(m)
	일일 생산시간 (T)	8(hr)
	일일 버려진 량 (W^*)	69(m)
	시간 당 비용 ($C_W^*= P^* \times C_M/T$)	2,013 (천원/hr)
	손실 비용 ($C_L^*=W^* \times C_M/T$)	6.0 (천원/hr)
절감 비용 ($C_S=C_L-C_L^*+ C_W- C_W^*$)		14.1 (천원/hr)

결정된 생산 순서에 따라 PLC로 명령을 내리면 PLC는 생산 공정을 진행 시키게 된다. 생산 공정 중 발생하는 서보모터 시스템의 과부하, 입력되는 원자재 튜브의 부재, 기타 고장상태 신호를 PLC가 입력을 받게 된다. 이 때 작업자용 컴퓨터는 고장 점검 및 이상 내용을 획득하여 작업자에게 알리고 LAN 통신을 이용하여 관리자 컴퓨터로 그 내용을 전송하고 파일로 저장시켜 데이터로 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 관리자 컴퓨터는 전송 받은 고장 점검 및 이상 내용, 작업 상태를 관리자에게 알리고 고장 점검 및 이상 조치 상태를 파일로 저장하도록 하였다.

Table 3은 공정제어 알고리즘을 이용한 100회 반복 실험의 평균 오차를 나타내고 있으며 허용 오차는 $\pm 1.5mm$ 이다.

제안된 시스템에 의한 절감된 생산비용은 Table 4와 같이 환산할 수 있으며 약 14.1 천원/hr을 절감할 수 있다.

Table 5 Manufacture order and report contents

종류	내용
작업지시	작업자 ID
	작업라인 No
	원자재 열 수축 튜브 길이
	원자재 열 수축 튜브 수량
	생산할 열 수축 튜브 길이
고장점검	생산할 열 수축 튜브 수량
	이상 발생 시간
	이상 발생 작업라인 No.
	이상 내용 코드
	점검 및 수정 상태

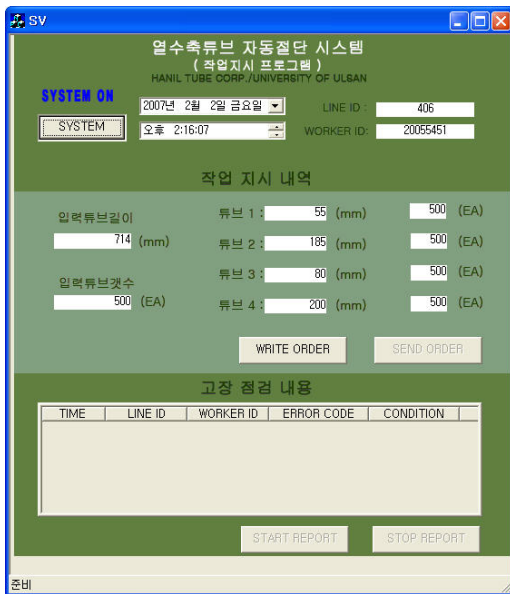


Fig. 6 GUI program for supervisory computer

5. 작업자 및 관리자용 프로그램 개발

Figure 6 은 본 연구에서 개발한 관리자용 GUI 프로그램으로써 작업자와 작업 라인을 지정할 수 있으며 작업 라인이 지정이 되면 작업 라인의 각 컴퓨터의 IP 주소에 따라 작업 지시내용이 전송되도록 되어 있다.

프로그램 하단의 창을 통해 고장 점검 내용을 보고 받을 수 있으며 기타 현장의 데이터를 전송 받아 저장하도록 개발하였다. 관리자 프로그램은 각 작업장의 고장 점검 내용을 보고 받아야 하기 때문에 통신 프로그램 중 서버용 소켓 프로그램이 탑재되어 있어 작업라인의 각 컴퓨터가 전송하는 모든 내용들을 받을 수 있다. Table 5 는 관리자용

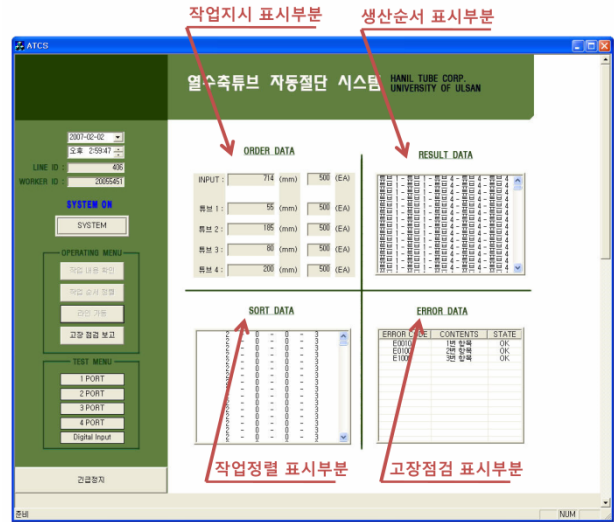


Fig. 7 GUI program for on-site computer

프로그램에서 작성할 수 있는 작업 지시 내용과 고장 점검 내용을 보여주고 있다.

Figure 7 은 생산 현장의 작업자용 컴퓨터를 위한 GUI 프로그램으로써 관리자 컴퓨터에서 전송된 작업지시를 확인 할 수 있으며 작업지시의 내용에 따라 절단 될 튜브를 길이를 정렬하여 PLC 에 순서대로 명령을 주게 된다.

작업자 프로그램은 작업자가 원자재 열 수축튜브와 절단할 열 수축튜브의 길이, 수량을 고려하여 작업 순서를 결정하는 방식의 단점인 작업 시간과 원자재의 낭비를 최소화 할 수 있다. 그리고 작업자 프로그램은 관리자 컴퓨터에서 작업지시서를 전송 받아 자동으로 정렬, 작업 시작을 하는 자동모드와 작업자가 정렬 및 작업 시작 버튼을 눌러 작업을 선택할 수 있는 수동모드로 나누어져 있다. Fig. 6 과 같이 관리자용 프로그램에서 입력된 원자재 열 수축튜브의 길이와 수량, 생산할 튜브의 길이 등이 Fig. 7 에서 보는 바와 같이 작업자용 프로그램의 작업지시 표시부분에 동일하게 나타나 있다. 그리고 작업정렬 표시 부분을 통해 열 수축튜브의 절단을 위한 최적 정렬상태를 볼 수 있으며 생산 중인 튜브의 종류를 생산순서 표시부분에서 볼 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 기존의 PLC 와 서버모터 시스템, 컨베이어 장치들로 이루어져있는 생산시스템에서

컴퓨터를 이용하여 PLC 를 직접 제어하도록 하였다. 우선 관리자 컴퓨터에서 생산관리자가 작업 지시서를 작성하여 작업장에 위치한 작업자 컴퓨터에 전송을 하면 이 작업지시서의 내용을 작업자가 컴퓨터를 통해 작업내용을 확인 후 작업시작을 명령하게 된다. 작업자로부터 명령을 받은 작업자 컴퓨터는 PLC 에 명령을 내리고 PLC 는 서보모터를 구동하여 컨베이어를 가동시킨다. 또한 이 과정에서 고정점검내용이 발생 시 PLC 는 작업자 컴퓨터를 통해 고장점검내용을 보고하고 작업자 컴퓨터는 관리자 컴퓨터로 고장내용을 전송하여 관리자가 작업장에서 발생하는 모든 상황을 알 수 있도록 시스템을 구축하였다. 제안된 시스템은 기존의 자동화 장비를 모두 사용함으로써 시스템 구축에 큰 비용이 들지 않으며 재료의 손실을 최소화하여 생산비용을 줄일 수 있고 관리자는 사무실에서 생산작업을 제어하고 감시할 수 있어 업무의 효율을 높여 생산성을 향상시킬 수 있다.

후 기

본 논문은 2006년 울산대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Jung, T. S., Yang, M. Y. and Byun, C. W., 2003, "The Development of Distributed Tool Management System tailored for Injection Mold Production," *Trans. of the KSPE*, Vol. 20, No. 4, pp. 118-127.
- (2) Piementel, J., 1990, "Communication Networks for Manufacturing", Prentice Hall.
- (3) Ko, D. K. and Lee, S. G., 2000, "Remote Monitoring and Control of PLC using TCP/IP Communication," *Conf. of KSPE*, pp. 140-143.
- (4) Kim, K. A. and Hong, S. H., 1998, "A Case Study on the Implementation and Performance Evaluation of Profibus Network in Automation Systems," *Trans. of Control ·Automation ·System Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 113-122.
- (5) Kim, H. M., 2003, "A Study on Fuzzy Temperature Control for the Barrels of Injection Molding Machine using PC based PLC," *Trans. of Control ·Automation ·System Engineering*, Vol. 9, No. 10, pp. 768-773.
- (6) Kim, J. W., 1990, "PLC and Factory Automation," *Trans. of Mechanical Science and Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 17-21.
- (7) Zhang H., and et al., 1996, "On-line PLC Monitoring and Network Administering System for Steel Tube Mill," *Proc. of IEEE on Industrial Technology*.