

論文2002-39TE-2-16

인터넷 기반 제어 시스템 구현에 관한 연구

(A Study on Control System Implementation based on Internet)

林承宇*, 文庸善**

(Seung-Woo Lim and Yong-Seon Moon)

요 약

오늘날 제어시스템들은 자동화가 요구되는 분야가 날로 광범위해지고 기능도 전문화됨에 따라서 제어 시스템 통합을 단순화할 수 있는 개방형 시스템이 등장하고 있다. 본 연구에서는 제어시스템의 개방화, 즉 HMI, 제어기, 그리고 제어 통신망의 인터넷 도입 경향에 따라 HMI는 제어용 언어 SFC와 Visual C++, OS는 소프트웨어 실시간을 보증하고 네트워킹에서 가장 안정적인 Window NT, 제어기는 펜티엄 PC, 통신망은 산업용 인터넷을 이용한 개방형 제어시스템(OCS)을 설계하고 구현한다. OCS는 FA과 PA에서 많이 이용되고 있는 레벨제어 시스템과 온도제어 시스템으로 구성되며, 제안된 제어구조의 유효성을 나타내기 위하여 제어알고리즘과 실험적 결과를 제시한다.

Abstract

These days, most of control system requires automazation in the all fields. Therefore OCS which can simplify control system integration is appearing. In this study, OCS consists of HMI, OS, Controller, and Communication network. (SFC and visual C++ are used as HMI, window NT is used as OS, pentium PC is used as Controller, and industrial Ethernet is used as Communication network.) Finally, We applied OCS to Level control system and Temperature control system, and verified its efficiency.

Keyword : Internet, OCS, Level control system, Temperature control system

I. 서 론

오늘날 제어시스템들은 고속의 순차제어를 담당하는

* 正會員, 東岡大學 電子情報課

(Dongkang College Department of Electronics and Information)

** 正會員, 順天大學校 工科大學 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering Sunchon National University)

接受日字:2002年1月8日, 수정완료일:2002年5月30日

PLC(Programmable Logic Controller), 저속의 루프제어를 담당하는 DCS(Distributed Control System), 그리고 정보관리 등을 담당하는 공정 컴퓨터로 구성되어 있으나 자동화가 요구되는 분야가 날로 광범위해지고 기능도 전문화됨에 따라서 제어 시스템 통합을 단순화할 수 있는 개방형 시스템이 등장하였다.^[1-2]

개방형 시스템은 여러 벤더들의 하드웨어와 소프트웨어를 사용자가 쉽게 통합할 수 있도록 하는 기능을 표준사양으로 한다. 표준사양으로 OS는 Windows NT,

하드웨어 플랫폼은 PC와 VME 시스템, 네트워크로서는 이더넷 및 필드버스, 그리고 소프트웨어와 관련한 사항으로서 OPC(OLE for Process Control)등이 있다. 현재 산업 자동화에서 개방화는 최상위 계층의 사용자와 그 아래 계층 제어기 사이의 HMI(Human Machine Interface), 생산 공정에서 로봇이나 PLC, CNC(Computerized Numerical Controller), DCS등의 기능을 포함할 수 있는 제어기, 그리고 제어시스템과 정보 시스템과의 제휴에 의한 고효율 통합생산시스템의 실현을 제어 LAN등 크게 3 분야에서 활발히 진행되고 있다.^[3-8]

본 연구에서는 이더넷을 산업용 제어 네트워크로 도입하려는 노력의 일환으로 제어시스템의 개방화, 즉 HMI, 제어기, 그리고 제어 통신망의 개방화경향에 따라 HMI는 제어용 언어 SFC(Sequential Function Charts)와 Visual C++, OS는 소프트웨어 실시간을 보증하고 네트워크에서 가장 안정적인 Window NT, 제어기는 펜티엄 PC, 통신망은 산업용 이더넷을 이용한 개방형 제어시스템(OCS: Open Control System)을 설계하고 구현한다.^[9-10]

OCS에서는 FA(Factory Automation)과 PA(Process Automation)에서 많이 이용되고 있는 레벨제어 시스템, 온도제어 시스템으로 구성되며, 제안된 제어구조의 유효성을 나타내기 위하여 제어알고리즘과 실험적 결과를 제시한다.

II. 이더넷 TCP/IP기반 제어시스템

제어시스템의 개방화에 따라 개방형 제어시스템(OCS)은 다음과 같이 설계되었다. OCS에서 제어기는 펜티엄 PC를 기반으로 하였으며, HMI는 IEC1131-3의 제어 표준언어인 SFC 및 Visual C++를 사용하고, OS는 소프트웨어 실시간을 보증하고 네트워크에서 안정적인 Window NT를 사용한다. 또한, 필드버스는 성능 측면에서는 공정의 네트워크 구성에 적합하도록 전송 속도, 전송 거리, 전체 노드 수 등을 고려하여 선택하여야 하지만 본 연구에서는 개방성에 가장 중점을 두어 산업용 이더넷을 이용한다.

OCS에서는 FA(Factory Automation)과 PA(Process Automation)에서 많이 이용되고 있는 레벨 제어시스템, 온도 제어시스템으로 구성되며 블록선도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 레벨 제어시스템은 개방화 경향에 따라

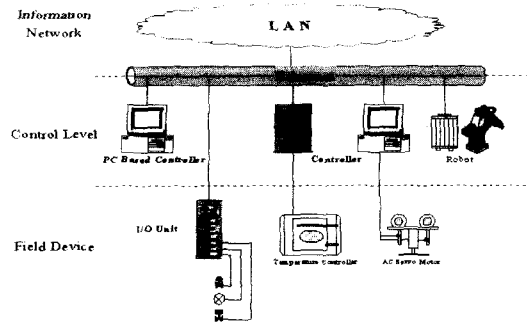


그림 1. 이더넷 기반 제어 시스템 개요
Fig. 1. Ethernet based control system overview.

Window NT에서 실행되는 HMI 프로그램을 이용하며, 제어기는 Opto22 LCM4 실시간 제어기, 레벨 검출을 위한 트랜스미터, 그리고 액추레이터로 구성된다. 제어 프로세서와 입출력 모듈 사이에 데이터 교환은 이더넷 통신에 의해서 이루어지며 제어 동작을 위한 알고리즘은 그림 2와 같다.

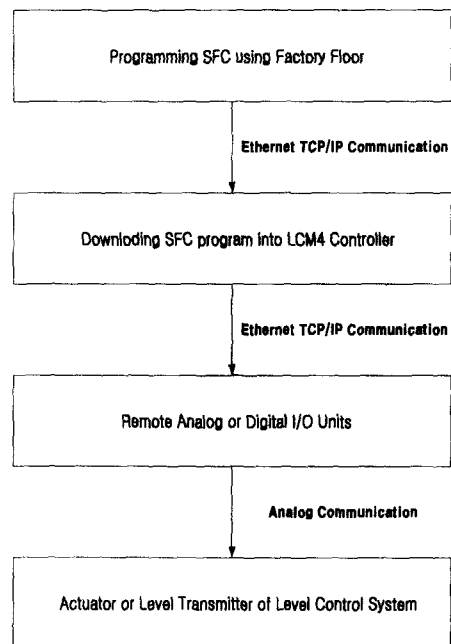


그림 2. 레벨 제어시스템 동작 구성도
Fig. 2. Scheme diagram of level control system operation.

온도제어시스템은 전용제어기 및 실시간 OS를 배제하고 벤더가 제공하는 DLL(Dynamic Linked Library), Visual C++ 그리고 Window NT Socket에 의한 TCP/

IP통신 등을 이용하여 제어 프로그램을 작성한다. 그림 3은 제어 동작을 나타내는 블록선도이다.

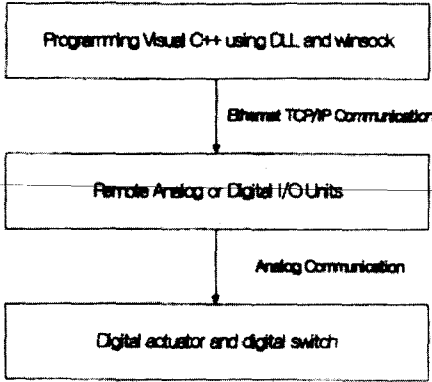


그림 3. 온도 제어시스템 동작 구성도
Fig. 3. Scheme diagram of temperature control system operation.

III. 제어 시스템 구현 및 실험

본 연구에서 설계한 PC기반 레벨 제어시스템은 그림 4와 같다. 그림 4에서 알 수 있는바와 같이 레벨 제어 시스템은 HMI를 위한 PC와 실시간 제어를 위한 전용 제어기, 액츄레이터, 트랜스미터, 그리고 입출력 모듈로 구성된다.

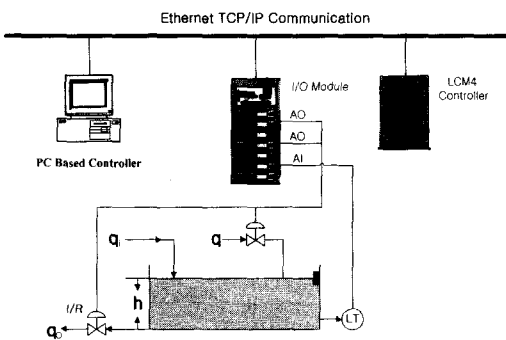


그림 4. 레벨 제어시스템 개요
Fig. 4. Level control system overview.

1. 레벨 제어시스템

기상, 농업, 환경, 토목 등 물과 직접적으로 관계가 깊은 분야에서는 수위의 정확한 측정에 관한 관심이 높아가고 있으며, 이러한 레벨의 측정은 공장에 설치되어 있는 각종 유체 저장 탱크에 채워져 있는 양과 상태를 원거리에서 연속적으로 즉시 파악하고 원하는 양

으로 자동으로 조절 할 수 있는 공장자동화시스템에 이용되어 진다.

1-1. 레벨제어시스템 구조

용기나 탱크 등 유체가 일시적으로 모이는 곳의 액면의 높이를 측정하여 높이가 일정하게 되도록 유입량과 유출량을 조절하는 것을 레벨제어라고 한다. 레벨제어에 있어서 그림 5와 같이 용기에 물질의 유입량 q_i 와 유출량을 q_o 와의 차가 레벨의 시간변화가 되므로 용기의 단면적을 A 라 하면 레벨 h 는 유입출량의 차의 적분치에 비례하므로 식 (1)으로 표현된다.

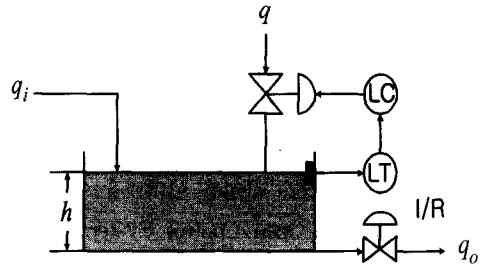


그림 5. 레벨 제어시스템
Fig. 5. Level control system.

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - q_o, \quad h = \frac{1}{A} \int (q_i - q_o) dt \quad (1)$$

그림 5에서 LT와 LC는 레벨 트랜스미터와 레벨 제어를 나타낸다. 유출량 q_o 는 레벨 h 에 비례하므로 비례상수를 R 이라 하면 $q_o = \frac{h}{R}$ 이고 또한 액체의 밀도가 일정하다면 그림 4의 레벨 제어시스템은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$A \frac{dh}{dt} = q_i + q - \frac{h}{R} \quad (2)$$

정상상태에서 식(2)은 식 (3)과 같다.

$$A \frac{dh_s}{dt} = 0 = q_{is} + q_s - \frac{h_s}{R} \quad (3)$$

식 (2)과 식 (3)으로부터 식 (4)가 얻어 진다.

$$A \frac{dH}{dt} = Q_{i+} Q - \frac{H}{R} \quad (4)$$

식(4)에서 $H = h - h_s$, $Q_i = q_i - q_{is}$, $Q = q - q_s$ 이며 식 (4)을 라플라스 변환하면 식(5)가 된다.

$$H(S) = \frac{K_p}{\tau S + 1} Q_A(s) + \frac{K_f}{\tau S + 1} Q(s) \quad (5)$$

식(5)에서 $\tau = AR$, $K_p = R$ 이다. 레벨 트랜스미터와 컨트롤밸브 동특성을 무시하고 제어동작을 비례제어기로 가정하면 식 (5)에 대한 전달함수 블록선도는 그림 6과 같다.

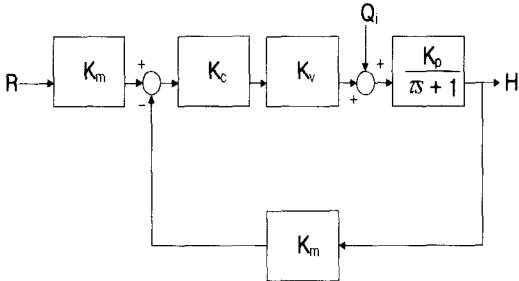


그림 6. 레벨 제어시스템의 블록 다이어그램
Fig. 6. Block Diagram of Level Control System.

1-2. 컨트롤밸브

제어시스템에서 액추에이터는 여러 가지 있지만 유체통로의 면적을 가감하는 컨트롤밸브가 가장 많이 이용되고 있으며 컨트롤 밸브의 종류에는 Global Valve, Angle Valve, Butterfly Valve, Diaphragm Valve, Ball Valve, Gate Valve 등이 있다. 컨트롤밸브의 크기와 형태를 결정하는 데에는 유체의 특성과 함께 밸브계수 C_v 가 중요한 요소가 된다. 밸브계수 C_v 는 1 psi의 압력 차에서 밸브를 완전히 개방했을 때 흐르는 물의 유량(Gallon/min)으로 정의된다. C_v 는 식 (6)에서와 같이 유량과 밸브 Stem의 이동거리 x 을 관련지어 주는 비례상수이다.

$$q = C_v f(x) \sqrt{\frac{\Delta P_v}{g_f}} \quad (6)$$

식(6)에서 q 는 유량, $f(x)$ 는 흐름 특성함수, ΔP_v 는 밸브를 통한 압력차, 그리고 g_f 는 유체의 비중이다. 위의 특성함수는 선형밸브는 레벨제어계, 또는 밸브를 통한 압력강하가 거의 일정한 공정에 많이 사용하며 유량은 밸브의 Stem의 위치 x 에 비례한다.

1-3. 레벨검출 방법

레벨의 검출에는 대표적으로 Bubbler, Differential Pressure, Displacers, Radar, RF Admittance, ultra-

sonic 등의 방법이 있으나 레벨의 변화범위, 물질의 성질, 탱크의 형태 등을 고려하여 Differential Pressure 방식을 선택한다.

1-4. 레벨 제어시스템 설계

본 논문에서 지향하고 있는 개방형 시스템 설계를 목적으로 설계한 레벨 시스템의 Layout 및 실제 사진은 그림 7, 그림 8과 같다.

그림 7에서 레벨은 차압에 의해서 그림 8과 식 (7)과 같이 측정된다. 식 (7)에서 G_L 과 G_S 는 각각 탱크와 연결 도압관 내부의 물질중력을 나타낸다. 차압트랜스미터는 YOKOKAWA사의 모델명 UNE11로 100~21000 mmH₂O 측정 범위를 갖고 있으며, 차압에 따라 4~20 mA 가 출력된다.

$$\begin{aligned} \text{Span} &= x G_L \\ \text{Zero Suppression} &= y G_L + z G_S \end{aligned} \quad (7)$$

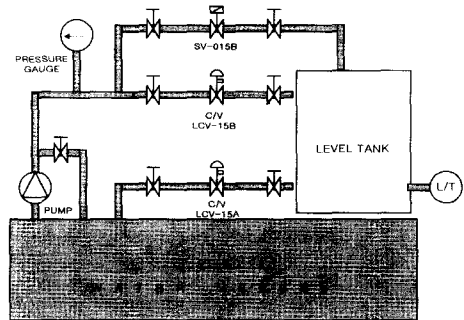


그림 7. 레벨 제어시스템 설계
Fig. 7. Level control system design.

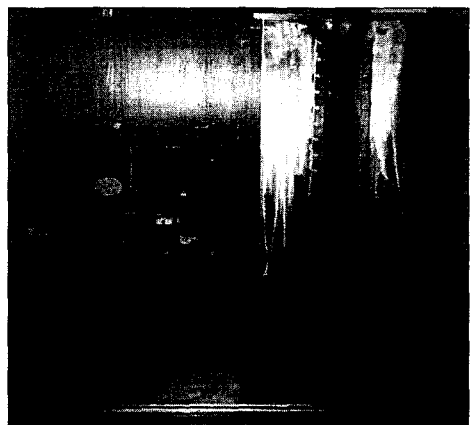


그림 8. 설계된 레벨 제어시스템 사진
Fig. 8. Picture of the designed level system.

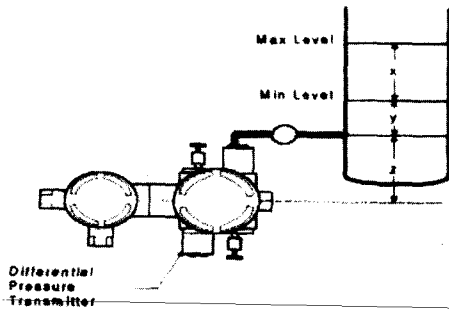


그림 9. 차압 트랜스미터를 이용한 레벨 측정
Fig. 9. Level measure using differential pressure transmitter.

1-5. 레벨 제어시스템 동작 알고리즘

레벨 제어시스템의 동작을 위한 알고리즘은 Opto 22社의 HMI 프로그램인 Factory Floor를 프로그램을 이용하여 작성하고, 작성된 프로그램은 인터넷 통신에 의

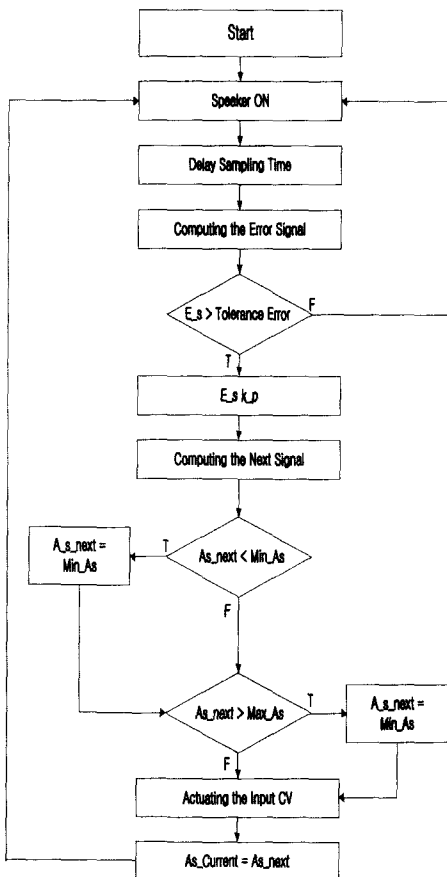


그림 10. 레벨 제어시스템을 제어하기 위한 SFC
Fig. 10. Flowchart for controlling the level control system with SFC.

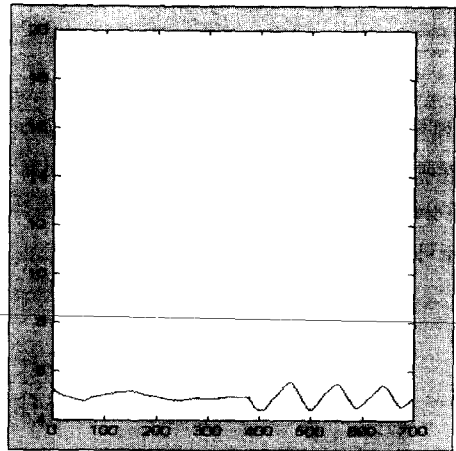


그림 11. 레벨 트랜스미터로부터 측정된 출력값
Fig. 11. Output values measured from the level transmitter.

해서 SNAP LCM4 실시간 제어기에 다운로드되며, LCM4 실시간 제어기는 인터넷 통신을 의해서 Remote I/O 모듈과 데이터를 주고받음으로써 제어를 행하게 된다. 그림 10은 레벨 제어시스템 제어를 위한 흐름도를 나타냈다.

그림 10에서 나타난 제어동작에 따라 샘플링 속도 10sec, 기준 신호 5 mA, 허용오차 범위 ± 0.2 mA, 그리고 비례제어계수 $K_p=8$ 을 정하였을 때 레벨 제어시스템의 출력신호는 그림 11과 같다. 그림 11에서 알 수 있는 바와 같이 비례제어 특성에 따라 현탕이 ± 2 mA 정도 발생하지만 제어 목적을 달성하고 있다.

2. 온도 제어시스템

공장이 정상적으로 동작하는지의 여부는 플랜트 각 부분 온도의 변화를 살펴보면 알 수 있으며 실제의 공정감시 루프 중에서도 온도감시는 대체적으로 50% 이상을 차지하고 있을 뿐 아니라 플랜트 요소 요소의 온도가 확실하게 지시하고 있으면 플랜트의 운전상태는 정상이라고 볼 수 있을 정도로 플랜트에서 온도 감시 및 제어는 중요하다.

2-1. 온도 전달특성

열 프로세서는 열 저항과 열 용량에 기인하는 전달 특성을 가지고 있으므로, 온도의 전달에는 지연을 수반한다. 그림 12와 같이 액체 중에 물체를 가만히 넣어두면 열량의 이동은 양쪽의 온도차에 비례하여 행해진다.

액체의 온도를 T_1 , 물체의 온도를 T_2 ($T_1 > T_2$) 라 하면 단위 시간에 이동하는 열량 q 는 식 (12)과 같다.

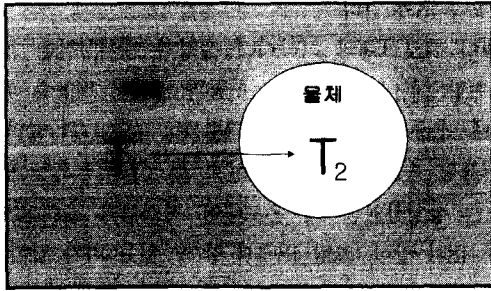


그림 12. 온도 전달 과정
Fig. 12. Temperature Transfer Process.

$$q = hA(T_1 - T_2) \quad (12)$$

식 (12)에서 A 는 전열 면적, h 는 전열계수이며, 이들이 큰 만큼 이동열량이 많아진다. 물체의 온도는 이 물체에 유입하는 열량과 유출하는 열량과의 차의 적분으로 주어지므로 식 (13)이 된다.

$$T_2 = \frac{q}{Cs} \quad (13)$$

C 는 열용량 정수로 열용량이 큰 만큼 그 물체의 온도 상승은 낮다. 식(12)과 식 (13)으로부터 T_1 과 T_2 의 관계를 구하면 식(14)가 얻어진다.

$$T_2 = \frac{1}{1 + \frac{C}{hA}s} T_1 \quad (14)$$

따라서 물체의 온도 T_2 는, 시정수 $\frac{C}{hA}$ 의 시간이 지나면 액체의 온도 T_1 과 같게 된다.

2-2. 온도제어

온도 제어방식은 주로 피드백(Feedback) 제어와 시퀀스(Sequence)제어가 주로 이용되고 있으며, 피드백 제어는 제어결과를 항상 검출하고 목표치와 비교하여 수정동작을 자동적으로 행하는 제어이며, 시퀀스 제어는 미리 결정한 순서에 따르고 정해진 순서에 따라 제어의 각 단계를 순차적으로 행하는 제어 방식이다. 피드백 제어는 온도를 재 설정하여 새로운 목표치로 바로 제어할 수 없고, 일반적으로 응답을 빠르게 하려면 제어계는 오버슈트(Overshoot)나 헌팅(Hunting)이 생기고 이것을 없애려고 하면 응답이 느리게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하고자 PID제어가 이용된다.

2-3. 온도 제어 시스템 설계

OCS에서 온도제어를 목적으로 구성된 온도제어시스템은 온도를 측정하기 위한 열전대(Thermocouples), 열전대에서 측정한 온도를 입력하기 위한 열전대 전용 AI 모듈로 구성된다. 그림 13과 그림 14는 온도 제어시스템의 구성도 및 사진을 나타낸다.

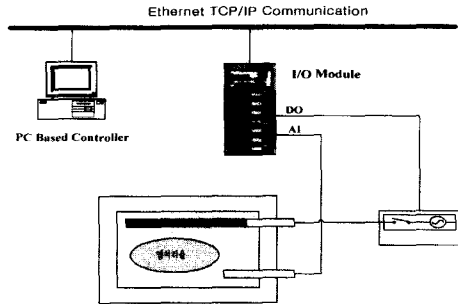


그림 13. 온도 제어시스템 구성도
Fig. 13. Schematic temperature control system.



그림 14. 온도 제어시스템 사진
Fig. 14. Picture of the temperature control system.

표 1. AICTD 사양
Table 1. AICTD specification.

Input Range with ICTD Probe	-40 °C to + 100 °C
Resolution	0.017 °C
Accuracy with ICTD Probe	±0.8°C
Sensitivity	1.0 μA/°C
Maximum Operating Common Mode Voltage	750 Volts DC
Power Requirements	5 VDC (±0.15) @ 150 mA

AI 모듈은 산업표준집적회로 온도소자(ICTD : Industrial-standard Integrated Circuit Temperature Device)로부터 온도를 검출할 수 있는 2채널 모듈로서 표 1과 같은 사양을 갖는다.

2-4. 온도제어 알고리즘

온도제어시스템은 실시간 제어가 요구되지 않는다는 가정 하에 벤더가 제공하는 DLL(Dynamic Linked Library)과 Visual C++를 이용하여 제어동작을 구현한다. 그리고 Window NT Socket에 의한 TCP/IP통신 등을 이용하여 제어용 PC와 입출력 모듈사이에는 Winsock 2.0을 이용한 TCP/IP 통신에 의해서 액츄레이터 구동데이터 및 센서로부터 측정 데이터를 교환한다. 온도제어를 목적으로 개발한 프로그램의 메인 화면

은 그림 15와 같다.

메인 프로그램의 파라미터 설정과 제어동작을 조작을 위한 메뉴로 구성되며, 이들의 각각의 메뉴를 클릭할 때 나타나는 대화상자는 그림 16, 그림 17과 같다.

샘플링 속도 5sec, 기준 신호 75 °C, 허용오차 범위 ±1 °C 설정하였을 때 온도제어 시스템의 출력신호는 그림 18과 같다. 그림 18에서 알 수 있는 바와 같이 비례제어 특성에 따라 헌팅이 ±3 °C정도 발생하고 있으며, 온도제어시스템의 식 (14)에 의한 전달특성 때문에 오버슈트가 많이 발생하고 있다.

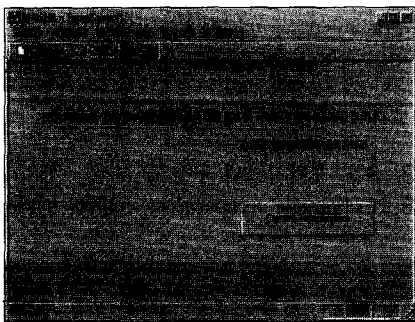


그림 15. 온도 제어 메인 프로그램
Fig. 15. Main program for the temperature control.

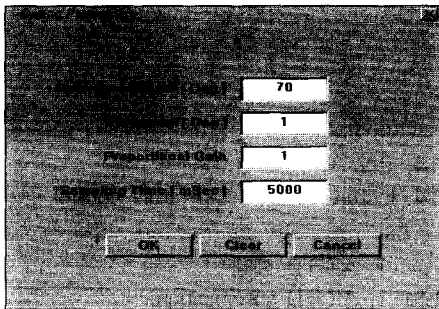


그림 16. 파라미터 설정 대화로그 박스
Fig. 16. Dialog box for setting the parameter.

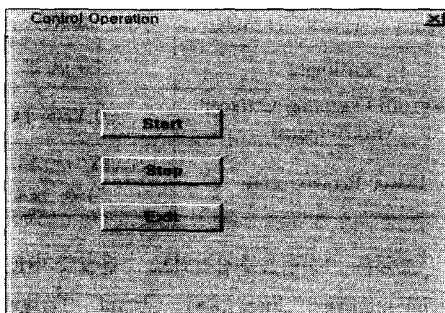


그림 17. 제어 동작을 위한 대화로그 박스
Fig. 17. Dialog box for the control operation.

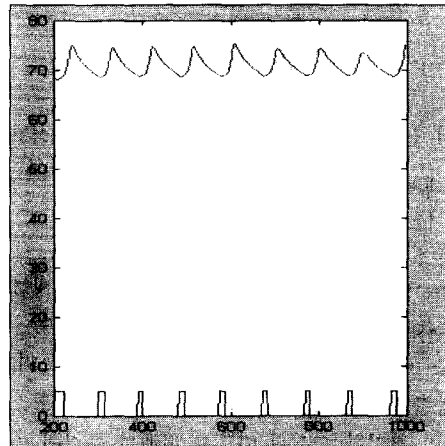
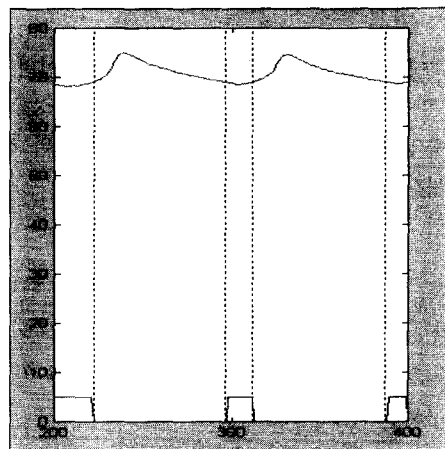


그림 18. ICTD로 측정된 출력값
Fig. 18. Output values measured from ICTD.

IV. 결 론

본 연구에서는 제어시스템의 개방화와 인터넷 도입 경향에 따라 PC를 기반으로 HMI는 IEC1131-3의 표준 언어인 SFC와 C++, OS는 Window NT, 그리고 공장

자동화 LAN은 이더넷 통신을 이용하여 개방형 제어 시스템을 설계하고 구현하였다. 설계한 PC기반 개방형 제어시스템은 레벨 제어 시스템, 온도 제어 시스템으로 구성되었으며, 설계된 제어시스템의 제어 동작을 달성함으로써 이더넷을 이용한 PC기반 제어 시스템에 대한 유효성을 확인하였다.

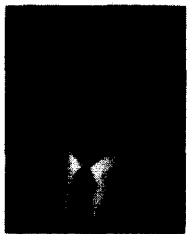
본 연구에서는 이더넷을 이용한 PC기반 제어 시스템 구현을 목적으로 하였지만, 앞으로 제어 시스템에 제어 성능 평가와 실시간 제어에 대한 정량적 분석에 대한 연구를 계속해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

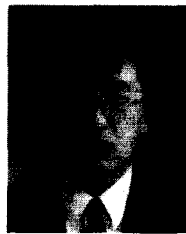
[1] W. Eversheim, F. Klocke, T. Pfeifer and M. Weck, "Open Systems in Manufacturing, In: Manufacturing Excellence in Global Markets," p. 135-167, Chapman & Hall, London, 1997.
 [2] Pritschow, G., Ch. Daniel, G. Junghans and W. Sperling, "Open System Controllers - A Challenge for the Future of the Machine Tool Industry," CIRP Annals 1993 Manufacturing

Technology, Vol. 42-1, p. 449 ff., Verlag Technische Rundschau, Bern, Stuttgart, 1993.
 [4] OSACA, Specification of Reference Architecture, 1993.
 [5] OMAC, Requirement of Open, Modular Architecture Controllers for Applications in the Automotive Industry, 1994.
 [6] Open Architecture Control Group, IP for Distributed Control, OACG, 1997.
 [7] Open Architecture Control Group, JAVA for Distributed Control, OACG, 1997.
 [8] T. Pfeifer, H. S. Park, and H.Thrum, "Flexible integration of various fieldbus and sensor/acuator bus system into machine tool control", Microsystem Technologies, Vol. 3, pp 191-198, 1997.
 [9] Gadi Kaplan, "Ethernet's Winning Ways" IEEE SPECTRUM January 2001.
 [10] Eric Byres, "Ethernet to link automation hierarchy" InTech, June 1999.

저 자 소 개



林承宇(正會員)
 1988년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사). 1990년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1996년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1991년 9월~2002년 현재 : 동강대학 전자정보과 부교수. <주관심분야 : FA Intranet, Micro-processor>



文庸善(正會員)
 1983년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사). 1985년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1989년 2월 : 1992년 3월~2002년 현재 : 순천대학교 전자공학과 부교수. <주관심분야 : Vision-based Robot Control, FA Intranet>