

## 멀티노드(공장자동화) 운영을 위한 네트워크에 관한 연구\*

백 우 진 · 박 경 섭  
전기 · 전자 및 자동화 공학부

### <요 약>

본 연구에서는 멀티노드 시스템의 자동화를 위한 네트워크를 구성하고, 지능형 범용 제어기를 개발하였다. 통신 프로토콜이 우수하고 경제성이 뛰어난 Echelon사의 LON(Local Operating Network) 기술을 이용해 네트워크를 구축하였으며, 개발한 제어기에서는 범용성과 기능의 확장을 위해 Intel사의 16Bit One Chip Microprocessor인 80C196KC를 이용하였다. LON 시스템과 프로세서와의 통신을 위해 Token Passing 프로토콜을 이용한 Firmware를 개발했으며 각 노드를 운용하기 위한 80C196KC용 운용 프로그램을 개발했다. 개발한 지능형 범용제어기의 실험을 위해 온도 및 레벨 제어가 가능한 소형 네트워크 시스템을 구축하고 시뮬레이션 하였다. 또한 시스템 상황을 제어하고 감시하기 위해 Windows 환경의 모니터링 시스템을 구축하였다.

## A Study on a Network for Multinodes Operation(FA)

Woo-Jin Baek Kyung-sup Park  
School of Electrical and Electronic Engineering and Automation

### <Abstract>

In this paper, we proposed a network for multi-node system automation, and developed intelligent universal controller. For this work, we used LON technique having powerful protocol and cost effective, and developed an intelligent universal controller with Intel One

\* 본 연구는 1997학년도 울산대학교 학술연구비(교비)의 지원으로 수행된 것임.

chip microprocessor 80C196KC to increase versatility and to guarantee reliability.

We developed firmware using token passing protocol for communication between LON system and intelligent controller, and built 80C196KC program to control each node. To evaluate the intelligent controller, we applied it to a small network system which is able to control the level and the temperature.

To control the system and to monitor its condition, we set up a monitoring system which is operated under Windows environment.

## 1. 서 론

현대 산업사회의 제어 시스템은 다량의 정보처리와 고속의 정보 통신 및 통합적인 정보관리를 요구하고 있다. 따라서 분산처리 시스템(DCS)이나 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)<sup>[1]</sup> 시스템과 같은 네트워크가 기반이 된 통합 관리 시스템의 수요가 늘어나고 있다. 이러한 시스템은 각각의 공정간에 유기적인 결합을 통해 점차적으로 지능화 및 자동화가 이루어지고 있다. 그러나 현재 산업현장에서 운영되고 있는 공장 자동화 설비들의 대부분은 외국에서 도입된 고가의 장비들로서 국내 기술이전 및 유지관리, 설비교체 등에 있어서 많은 문제점이 발생되고 있다. 국내에서 자동화를 위한 소규모 분산제어(DCS) 및 SCADA 시스템을 구현 할 수 있는 발판을 마련하기 위해서는 우선적으로 네트워크 기능이 장착된 저가의 고성능성 지능형 범용 제어기가 요구된다.<sup>[3]</sup>

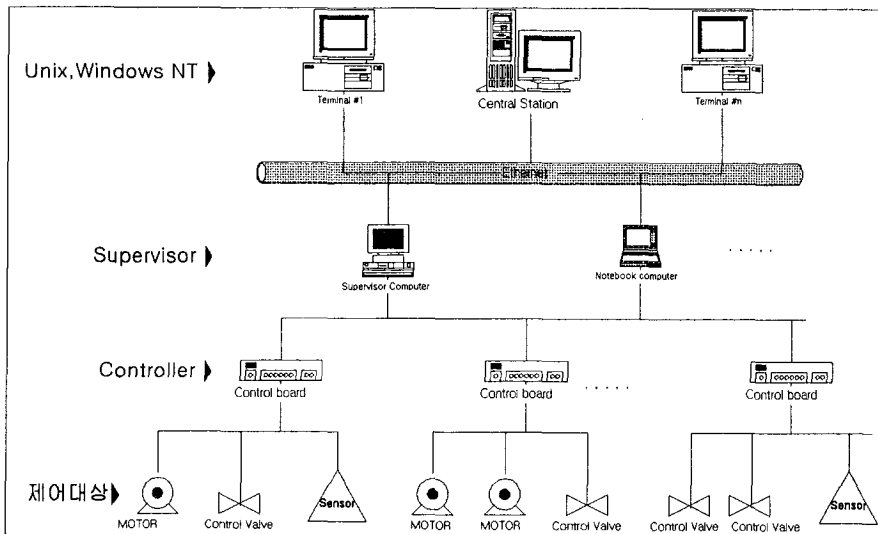


그림 1 분산 제어 시스템 구성도

분산제어 시스템이란 데이터 처리부, 제어기 및 각종 센서, 액츄에이터들이 지역적으로 분산되어 한 시스템내의 고유 기능을 수행할 뿐만 아니라 동시에 시스템간에 관련된 데이터를 전달하고 더 확장되어 보다 상위계층으로의 데이터를 전달하기 위해 조직간의 관련정보를 처리하고 정보교환을 위하여 상호 네트워크 상으로 결합된 계층적인 시스템을 말한다. 그림1은 일반적인 분산제어시스템<sup>[4][5]</sup>의 구성도이다. 먼저 시스템 전반을 스케줄링하고 통합적인 데이터 베이스를 운용하는 Unix, WindowsNT 기반의 호스트가 있다. 또한 센서 및 액츄에이터 등의 제어대상을 총괄하는 Supervisor가 있고, 제어대상을 관리하는 제어기가 있다.

각종 작업을 각 노드에 분산시킴으로써 각 프로젝트의 특성에 적합한 시스템 체제를 이룰 수 있고, 각 노드간의 신속한 정보교환 및 중앙 호스트의 고장으로 인하여 발생될 수 있는 모든 시스템 마비상태를 보완할 수 있게 되어 중앙 집중 시스템이 가졌던 문제점이 보완될 수 있게 되었다.<sup>[2]</sup> 호스트 컴퓨터에서 네트워크를 통해 하부 노드의 응용 프로그램을 수정 관리하게 함으로써 사용자가 직접 현장에 가지 않고도 유지 보수가 가능하도록 하며 시스템의 유지 보수에 있어서도 획기적인 해결책을 제공하도록 한다. 이를 위해 통신 프로토콜이 우수하고 경제성이 뛰어난 Echelon사의 LON 테크놀을 이용해 네트워크를 구축하고자 한다.<sup>[7]</sup>

따라서 본 연구에서는 멀티노드 시스템의 자동화를 위한 네트워크를 구성하고 이를 위한 지능형 범용 제어기를 개발하는 것을 목표로 한다.

## 2. LON 시스템의 구축

현재 각광 받고 있는 분산형 지능 제어 네트워크 구축의 기술로 LON(Local Operating Network)<sup>[8]</sup>이 있다. 분산형 지적 네트워크 자체는 이전부터 연구, 응용되고 있던 기반인데 미국의 Echelon사에서 새로운 기법으로 이것을 실현했다.

분산제어 시스템의 가장 기본적인 기술은 노드들간의 연결이다. 그러므로 시스템간의 연결을 확장시켜 나가기 위해서는 각 노드간의 연결이 가장 큰 문제가 된다. 이를 위해 많은 기관에서 표준제안을 설정, 독립적으로 개발된 노드간의 상호연결이 가능하도록 한다. 대표적으로 ISO에서 OSI 모델을 설정하였으며 CCITT 및 IEEE에서도 통신 매체 및 통신 프로토콜에 대한 권고안이 작성되었다.<sup>[9]</sup>

LON 시스템은 기본적으로 OSI 7-Layer 모델을 기본으로 하고 있으며 이는 다른 기업의 LON 시스템끼리도 상호 정보교환 및 시스템 구성이 가능하도록 하기 위함이다.

본 연구에서는 각 제어대상을 로컬 네트워크(Local Network)를 통해서 유기적으로 결합하고 외부의 도움 없이도 각 대상을 독립적으로 제어할 수 있는 지능형 범용 제어기를 개발하고자 한다.

### 2.1. LON 시스템에 관한 고찰

LON(Local Operating System)과 일반적인 LAN(Local Area Network)을 비교해 볼때 모두 CSMA(Carrier sense multiple access) 프로토콜을 사용하는 네트워크이지만 목적은 다르다.<sup>[7][8][10]</sup> LAN은 컴퓨터의 문서나 이미지등 대용량의 데이터를 처리를 위한 것을 목

적으로 하지만 LON은 노드의 명령어나 상태등 소량의 데이터를 고속 송수신하여 고도로 조직화된 일을 제어하는 것을 목적으로 하는 시스템이다. 이것의 구현을 위해 Neuron (3150B1AF,10MHz)<sup>[6]</sup> 칩을 사용하였다.

Neuron (3150B1AF,10MHz) 칩은 통신이나 제어를 목적으로 하는 응용을 보다 효율적으로 실현하기 위해 필요한 기능을 하드웨어 화하여 VLSI화 한 것이다. LON을 구성하기 위해 필요한 기능은 대부분 Neuron 칩 내에 포함되어 있기 때문에 저 가격으로 고신뢰성의 LON 노드<sup>[10]</sup>를 개발 할 수 있다. 이 시스템의 통신 프로토콜 처리는 고유의 프로토콜인 Lontalk를 사용하며, LON 규격에 맞는 전송 매체로서 Twisted Pair, 전력선, 적외선과 무선방식 등을 모두 적용할 수 있다. 이렇게 사용할 수 있는 Neuron 칩은 많은 수의 센서와 액츄에이터의 정보처리 능력과 제어기능이 있고 데이터 처리속도가 1 Mbps 대의 폭 넓은 시스템<sup>[6][10]</sup>을 구축 할 수 있다.

## 2.2 LON 노드의 구조

그림 2 는 기본적인 LON 노드의 구조를 설명하고 있다. 기본적으로 Neuron 칩과 응용 프로그램을 저장하기 위한 외부 메모리 그리고 생성된 데이터를 네트워크로 전송하기 위한 트랜시버로 구성되어 있다.

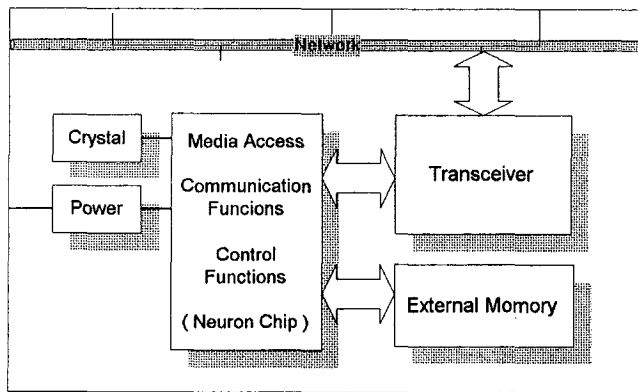


그림 2 기본적인 LON 노드의 구조

## 3. 지능형 범용 제어기의 개발

### 3.1 지능형 범용 제어기의 하드웨어 구성

제어기의 개괄적인 그림 3을 통해서 알 수 있듯이 지능형 범용 제어기는 주 마이크로프로세서와 외부와의 인터페이스를 위한 주변소자들로 구성되며 중요 부분들은 다음과 같다. 범용 제어기는 지능형 시스템의 유연성과 기능의 확장을 위해 Intel사의 싱글 칩 마이크

로프로세서인 80C196KC(20MHz)를 CPU로 사용하였다. 80C196KC는 16비트 프로세서로써 8채널의 AD변환기, 모터 제어를 위한 PWM, 시리얼 채널을 포함한 마이크로 프로세서이다. LON(Local operating Network) 구축을 위해 네트워크 통신용 칩으로 개발된 도시바사의 뉴런(Neuron)칩인 3150B1AF(10MHz)을 사용하였다. 통신 미디어로는 Twisted pair 라인을 사용하였으며, 1.25Mbps의 전송 속도를 갖는 트랜시버를 사용하였다. 또한 릴레이 구동과 디지털 입출력 포트의 확장을 위해 8255를 사용하였다.

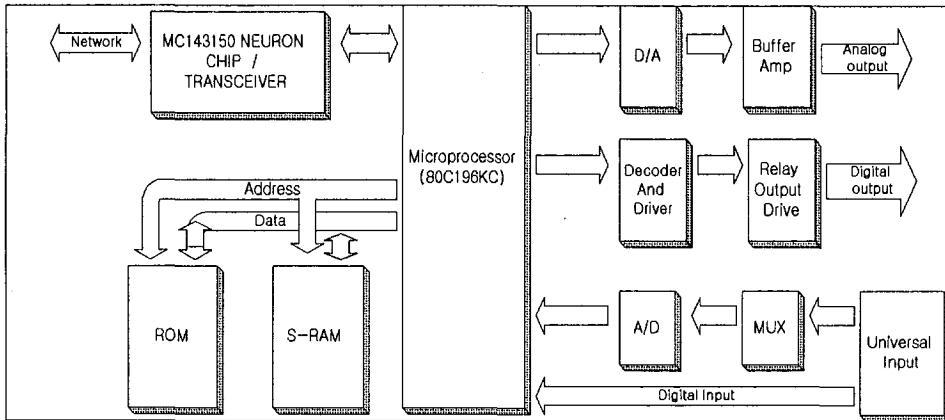


그림 3 지능형 범용 제어기의 구성도

개발된 지능형 범용 제어기는 아래와 같은 구성과 기능으로 구현되었다.

- External Memory with EPROM/RAM
- Communication Controller(3150B1AF(10MHz), 트랜시버(1.25Mbps))
- Universal Analog Input Port(8 Ch)
- Universal Digital Port (8255)
- Relay Output Drive (접점출력)
- Analog Output Port

기본적으로 네트워크 통신기능<sup>[10]</sup> 및 데이터 획득기능, 접점 출력을 가지도록 구성되어 있으며 마치 소형 PLC와 같은 기능을 가지고 있다.

### 3.2 Token-Passing Protocol Firmware 개발

80C196KC와 네트워크 통신용 Neuron 칩 사이의 데이터 송수신을 위해 병렬 데이터 통신 구조를 채택하였다. 이를 운용하기 위한 알고리즘으로 Token-Passing 프로토콜을 사용하였다. Token-Passing 프로토콜은 Common Bus에 여러 개의 소자들이 동시에 존재할 수 있도록 하는 프로토콜 방식중 하나이다. 이 방식에서는 어떤 주어진 시간에 단지 하나의 소자만이 버스에 쓸 수 있는 권리가 주어진다. 가상 토큰(Virtual Token)이 마스터(80C196KC)와 슬레이브(Neuron) 사이를 계속해서 Ping-pong 방식으로 돌아다닌다. 모든 권리는 토큰을 가진 소유권자에게만 주

어지고, 토큰을 가진 소유권자가 읽기를 하기 위해서는 데이터 없이 토큰만 넘긴다. 토큰은 읽기 사이클 후에 얻고 쓰기 사이클이 끝난 후 넘겨주게 된다. 다시 말해서 마스타(80C196KC)가 데이터를 쓰기 위해서는 마스타 (80C196KC) 자신이 토큰을 가지고 있어야되고 읽기를 할 때는 슬레이브가 토큰을 가지고 있어야 한다. 이 프로토콜은 슬레이브가 다중으로 존재할 때에도 적용할 수 있다. 이럴 경우에는 마스타가 토큰의 경로를 확인하고 그에 따라 적절히 버스의 Traffic을 조정한다. 이번 연구에서는 Neuron 칩과 80C196KC가 Token-Passing

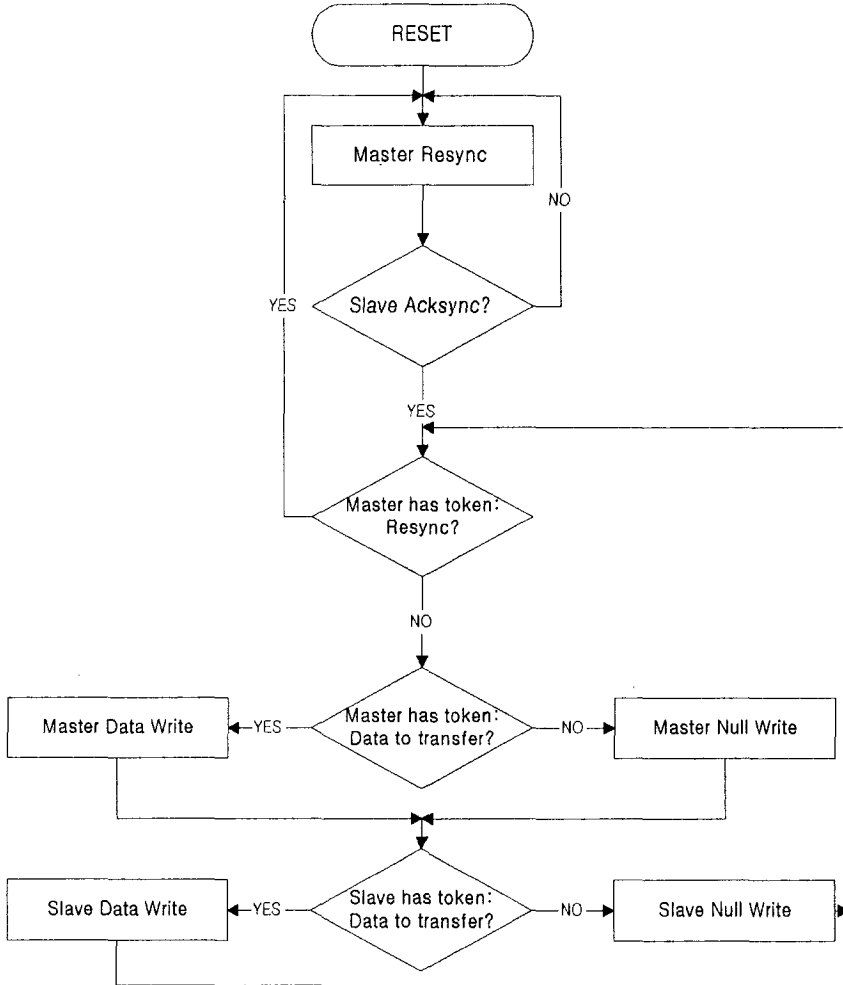


그림4 Token-Passing Protocol Sequence Between Master(80C196KC) & Slave(Neuron chip)

방법으로 서로 상호간에 병렬통신을 하게 되는데 기능의 확장과 범용성의 확보를 위해 80C196KC가 마스터가 되고 Neuron 칩이 슬레이브가 되도록 설계를 하였다.

그림 4는 Neuron 칩과 80C196KC의 Token-Passing 흐름도 이다.

초기 상태에는 마스터가 토큰을 가지고 있고 슬레이브에게 Ready-신호(Resync)를 보낸다. 이때 token도 같이 보내진다. 만약 슬레이브가 준비되어 있으면 Acknowledge(Acksync)를 보낸다. 이때 마스터가 토큰을 다시 가지게 된다.( 콜론(:) 앞부분은 그 상태에서의 토큰의 소유 권자를 가리킨다.)

### 4. 실험

실험은 본 연구에서 개발한 네트워크 및 제어를 산업공정 프로세서(Model : Feedback)에 적용하여 노드를 구성하고 중앙의 모니터링 소프트웨어를 개발하여 통합관리 할 수 있도록 하였다.

#### 4.1 산업공정 프로세서

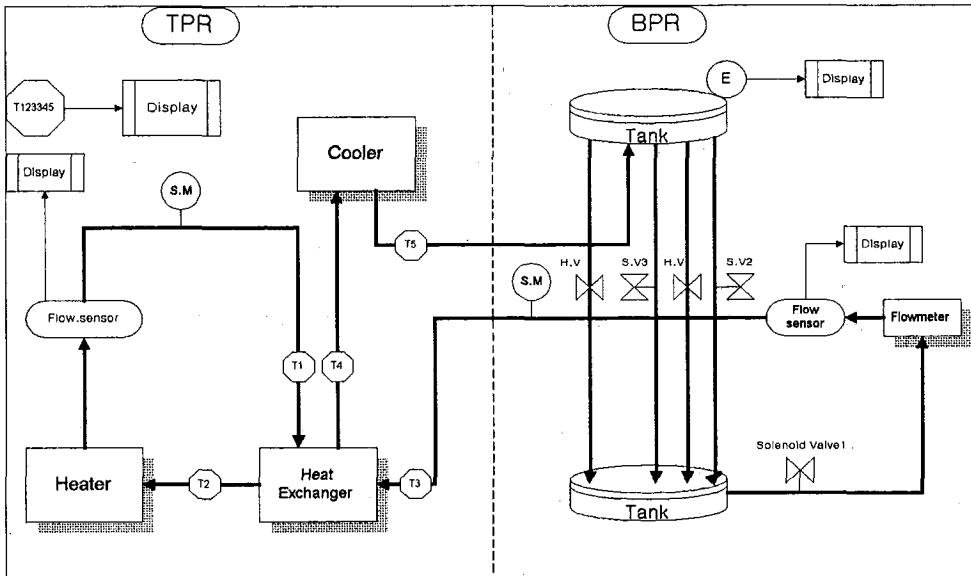


그림 5 Simulation Target

그림 5는 적용한 제어대상의 구성도 이다. 실험대상은 물의 수위를 제어할 수 있는 BPR(Basic Process Rig)과 수온을 제어할 수 있는 TPR(Temperature Process Rig)로 나누어져 있다. BPR(Basic Process Rig)은 기본적으로 물의 레벨을 제어하기 위한 것으로 물의 양을 감지하기 위한 엔코더와 물의 흐름을 알 수 있는 유량계로 구성되어 있고, 수위를 제어하기 위해서 서보 밸브와 3개의 솔레노이드 밸브가 있다. 설정 값과 엔코더로부터 피드백 되는 값을 받아서 PD 제어를 한다. 물의 양이 설정치에 도달하게되면 솔레노이드 밸브 2, 3을 통해서 물을 빼내고 서보 밸브를 통해서 미세 조절을 하게 된다.

TPR(Temperature Process Rig)은 수온을 제어하기 위한 것이다. 물의 온도를 제어하기

위한 장치로 히터와 냉각기, 열 교환기가 있다. 온도를 제어하기 위해 히터와 열 교환기가 순환 모터를 이용해 물을 계속 순환시키면서 온도를 설정치 까지 올린다. 이 순환 경로에도 물의 흐름을 알 수 있는 유속 센서가 있으며 물의 이동통로에는 온도 센서가 있어 각 점의 온도를 알 수 있고 냉각기와 히터를 통해 수온을 제어하였다. TPR 역시 설정한 값과 온도 센서로부터 피드백 되는 값으로 PD 제어를 하였다.

## 4.2 LON 시스템 구성

중앙에 네트워크 전반을 관리할 수 있는 호스트 컴퓨터가 있고 Twisted pair 라인을 이용하여 1.25Mbps의 전송속도를 갖는 LON을 구축하였다.

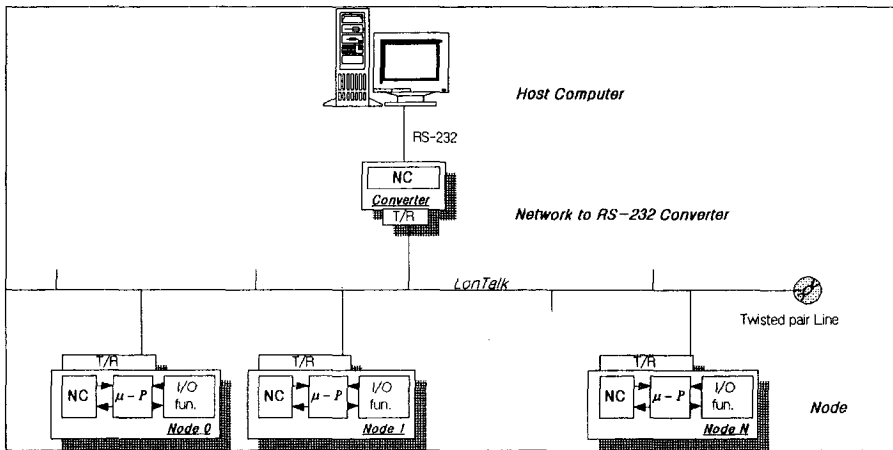


그림 6 시스템 구성도

노드는 BPR과 TPR에 각각 접속되어 호스트 컴퓨터에 의해 각 노드를 제어하고 모니터링 할 수 있는 통합 프로그램을 제작하였다. 또한 네트워크 상에 호스트 컴퓨터를 접속하기 위해 Network to RS-232C 변환기를 제작 설치하였다.

## 4.3 산업공정 프로세서와 연결을 위한 Signal Conditioner

두 제어 대상의 분산제어 시스템(Distributed Control System)의 구현을 위해 각 노드에서 제어를 전담하게 했다. 따라서 제어대상에 대한 모든 정보의 관리와 제어하기 위해 필요한 데이터는 80C196KC가 담당하게 하였다. 제어기는 먼저 호스트 컴퓨터와의 직렬통신을 위해서 통신 포트를 초기화하고 입출력포트로 사용한 8255를 초기화한다. 제어 대상이 물의 수위와 온도제어이기 때문에 범용 제어기를 2개 개발하였으며 각각 독립적으로 동작할 수 있게 하였다. 제어기와 제어대상을 인터페이스 하기 위해 그림 7과 같은 Signal conditioner를 개발해 연결하였고 제어대상 입출력신호가 4-20mA이기 때문에 DA 변환기와 V-I 변환기, 솔레노이드 밸브를 제어하기 위한 접점출력, 피드백을 받기 위한 I-V Converter들이 Signal conditioner에 포함되어 있다.



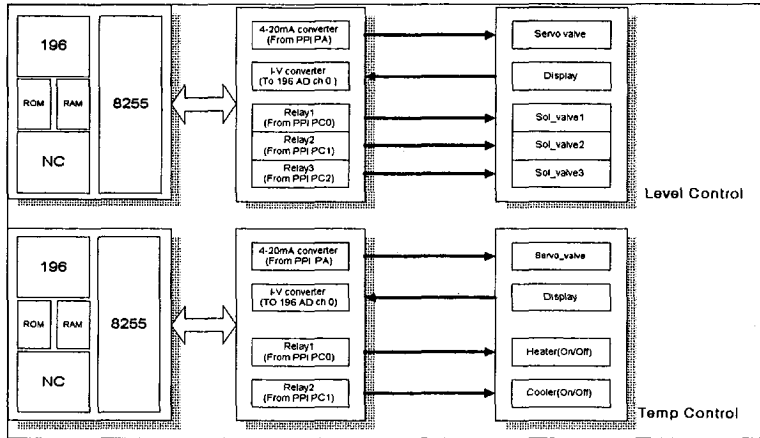


그림 7 제어 및 Signal Conditioner

#### 4.4 제어 및 모니터링을 위한 소프트웨어

호스트 컴퓨터에서 네트워크 전반을 제어하고 모니터링하기 위해 Windows 환경의 소프트웨어를 구현하였다. 이를 구현하기 위해 Borland사에서 제공하는 Windows Compiler인 Borland C++ Builder를 사용하였다. 제어방식은 PD-Control을 사용하였다. 기본적으로 통신상태, 슬레노이드 밸브의 ON/OFF 상태, 서보 밸브의 개폐 정도 등을 그래픽 상태로 표시해 관리자가 쉽게 정보를 관독할 수 있도록 구현하였다.

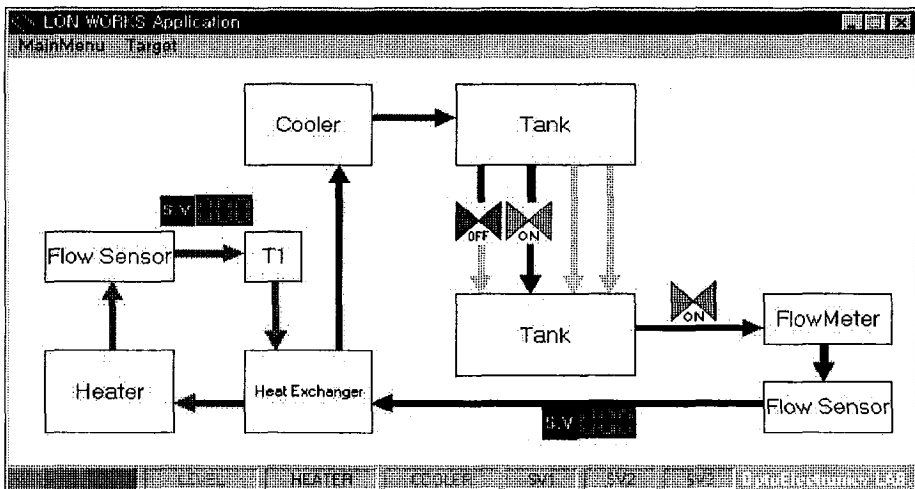


그림 8 통합 관리 프로그램

### 4.5 실험결과

#### 4.5.1 온도제어

호스트 컴퓨터로부터 설정 값을 입력받아 시뮬레이터를 제어하였다. 히터와 냉각기를 사용하여 제어하였으며 PD제어를 통하여 설정치를 추적하게 프로그램 하였다. 아래 결과는 온도를 21℃로 설정하였을 때의 결과를 보여준다.

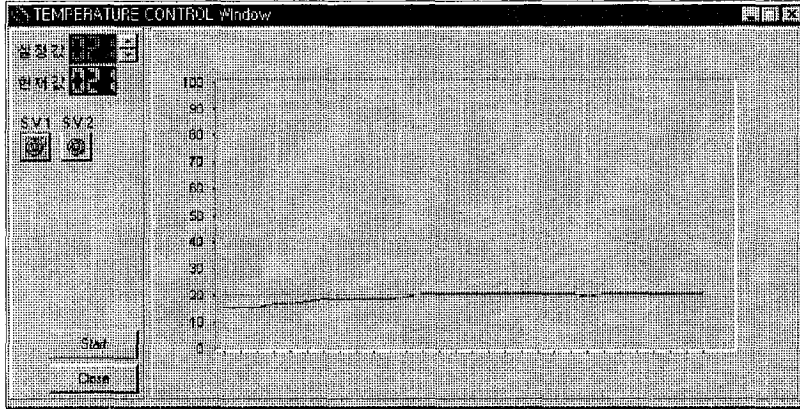


그림 9 온도(Temp) 제어 실험 결과

#### 4.5.2 레벨 제어

아래 결과는 수위 값을 30으로 설정했을 때의 제어 결과를 보여준다. 장착된 엔코더를 통하여 피드백을 받아 솔레노이드 밸브를 PD 제어기를 이용하여 제어하였다.

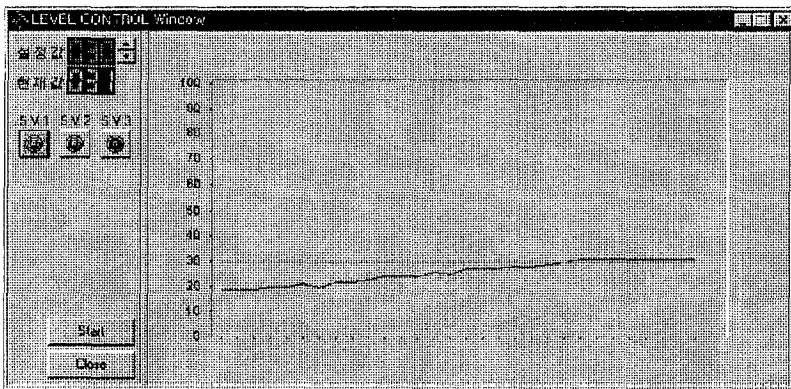


그림 10 레벨(Level) 제어 실험결과

## 5. 결 론

분산제어 시스템은 데이터 통신 및 컴퓨터 네트워크가 발전하는 가운데서 얻어진 interconnection 기술의 발전과 가격 성능면에서 급진적 발전을 해온 microelectronics의 기술 발전으로 가능해졌다. 본 연구에서는 자동화를 위한 소규모 분산제어(DCS) 및 SCADA 시스템을 구현할 수 있는 발판을 마련하기 위해 우선적으로 네트워크가 기본이 된 지능형 범용 제어기를 구현하였다. 실험을 통하여 제안된 제어기 및 소프트웨어가 안정적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통하여 제안된 네트워크 솔루션을 이용함으로써 대부분 수입에 의존하는 공장자동화용 제어기의 국산화를 통해 외화절감 및 생산성 증대 등 경쟁력 향상이 기대된다. 또한 추후 고성능 지능형 분산제어기를 개발할 수 있는 기반 기술이다. 응용분야로는 빌딩자동화(BA), 공장자동화(FA) 및 홈 오토메이션(HA), 멀티노드 DC/AC 모터 제어 등 다양한 분야에서의 적용이 가능하리라 본다. 따라서 소형이면서 네트워크 기반의 저 가격형 제어기의 구현이 가능함으로써 시스템의 유연성, 확장성의 증가 및 설치 유지보수에 용이함 등 많은 장점을 기대할 수 있다. 이것은 곧 기존의 자동화 시스템에서 주 제어기로 사용되어 온 PLC 기능도 구현이 가능해 대체 효과도 기대된다. 이런 PLC 기능의 대체는 FA 분야의 차세대 제어 방식인 PC based open Controller 구축을 위한 기반기술이다.

앞으로 향후과제는 본 연구를 기초로 하여 보다 시스템을 안정화시키며 또한 다양한 정보를 입력받을 수 있는 입력모듈의 개발 및 고도의 지능화를 위한 펌웨어 추가의 개발이 필요하다. 보다 더 효율적인 네트워크 및 정보의 관리를 위해 데이터 베이스와 연계도 수반되어야 할 연구 과제이다.

## 참고문헌

- [1] Gray B, Kerker, " Managing open system DCS/SCADA designs" Westin Engineering Inc.
- [2] Ren C. Luo, "A Hierarchical Multiprocessor Computer Architecture for Multi-sensor Based Robotic Tasks" in Proc. IEEE International symposium on Intelligent control,1989
- [3] Pradip Madan, " Overview of Control Networking Technology" Echelon Corporation.
- [4] ANTHONY HENDRIKUS OVERMARS, DARIO JOHN TONCICH, "A New FMS Architecture Based upon Networked DSP Servo Technology "International Journal of FMS System Vol 6, pp 311-331. 1994.
- [5] Salvatore Cavalieri, Antonella Di Stefano, and Orazio Mirabella, "Impact of fieldbus on Communication in Robotic Systems" IEEE transaction on robotics and automation Vol 13,1997
- [6] MOTOROLA LonWorks Technologe device data, Motorola, 1996
- [7] The '95-'96 Echelon LonWorks Products Databook, Lonworks, 1996
- [8] Echelon, LonBuilder User's Guide
- [9] Jean Walrand, "Communication Networks", Lonworks, 1997
- [10] 자동화 기술 8월호, "CIM/FA에 혁명이 기대되는 분산형 지적 제어 네트워크", 8월호, 1996