

버스시스템의 순환시간 측정 방법에 대한 연구

(The Study on the Method of Measurement for Cycle Time of Bus System)

박장환*

(Jang-Hwan Park)

요 약

이 논문에서는 버스시스템의 성능 평가를 위한 순환시간의 측정방법이 제안 되었다. 센서와 액츄에이터가 주를 이루는 생산시스템에서 순환시간은 버스시스템의 성능평가의 중요한 파라미터이다. 순환시간을 측정하기 위하여 제안된 방법은 간단한 알고리즘의 구성에 기반을 두었으나 주변기기나 PLC의 내부에 존재하는 지연요소들을 고려해야만 한다. 측정결과의 개선을 기하기 위해 시험방법은 최적, 최악의 경우로 나누어 이에 대응되는 파라미터를 구성하여 값을 설정한다. 수학적인 모델을 기반으로 필드버스 시스템의 순환시간에 대한 측정을 통해 제안된 방법이 효율적임을 입증하였다. 그 결과로서 제안된 방법의 간편성과 편리함으로 인해 순환시간의 측정에 요구되는 엔지니어링 비용과 시간을 절감할 수 있었다.

Abstract

The measurement method is proposed for performance-evaluation of bus system in this paper. The cycle time in manufacturing system that sensor and actuator play on the role is important factor for performance-evaluation. In order to measure cycle time, proposed method is based on simple algorithm. But it must consider delay elements in PLC and it's peripheral. The test of the cycle time is divided into the best case and the worst case and parameters are set corresponding to two cases for the improvement of measurement result. It is shown that the proposed method is efficient by measuring the cycle time of the fieldbus basing on the mathematics model. As a result, due to simplicity and convenience of proposed method, the engineering cost and time demanding for test of cycling time can much reduce.

Key Words : Cycle Time, Fieldbus, PLC

1. 서 론

산업자동화의 기반을 이루는 PLC(Programmable Logic Controller)와 DCS (Distributed Control System) 도입으로 산업자동화의 괄목할 만한 발전이 시작되었다. 신속한 공정이 요구되는 자동화 설비에서 프로세스 데이터, 동기화 메시지, 상태정보들

* 주저자 : 한경대학교 전자공학과 부교수
Tel : 031-670-5192, Fax : 031-670-5015
E-mail : jhpark@hankyong.ac.kr
접수일자 : 2004년 9월 2일
1차심사 : 2004년 9월 9일
심사완료 : 2004년 10월 4일

버스시스템의 순환시간 측정 방법에 대한 연구

을 실시간으로 전송하는 것이 PLC에 의해 가능해졌다. 반도체 기술과 부품산업의 발전을 기반으로 소프트웨어 기술이 가미됨으로서 자동화의 기술도 현저하게 발달하게 되었다. 한 설비에 대한 제어과제가 오직 하나의 제어노드에 집중하지 않고 네트워크에 연결된 다수의 제어노드에 분산하는 것이 가능해짐으로서 분산제어의 아이디어가 기술적으로도 가능하게 되었다. 자동화의 구조와 분산제어가 서로 맞물리게 됨으로서 구조에 적합한 역할분담에 따른 기능들로 인해 데이터 교환 요구에 차별이 발생하게 되었다. 즉 서로 다른 버스 시스템을 응용하게 되므로 공정을 위한 물리적 인터페이스의 레벨로 센서 및 액츄에이터가 주를 이루는 센서/액츄에이터 레벨(필드레벨)과 바로 상위에는 실시간 제어가 주를 이루는 제어레벨, 그리고 가장 상위에는 데이터 관리가 요구되는 관리레벨로 구분되는 버스구조가 탄생하게 되었다[1-2].

현재의 자동화는 분산 제어를 기반으로 하는 필드버스에서 많은 발전을 가져왔다. 필드버스는 케이블의 절감과 더불어 지능성을 지니는 필드기기들의 활용을 최적화시키는 버스 시스템으로 복잡한 제어과제의 해법을 가능하게 하고 벤더 독립의 개방화를 촉진시켰다. 그러나 필드버스는 응용 특화된 기술로서 서로 다른 프로토콜로서 구성되어 있다. 즉 현재 시장상황에서 구축되는 필드버스는 서로 다른 물리적인 전송방식으로 동작되며 이는 버스 특화된 인프라구조 요소들이 필요하고 상위의 버스네트워크와의 연결을 위해 게이트웨이를 필요로 한다. 새로운 통합솔루션의 등장에 대한 요구가 따르게 되어 산업용 이더네트(Industrial Ethernet)가 나타나게 되었다. 다양한 기능을 지닌 필드기기들 중에서도 특히 PLC는 생산자동화에 가장 핵심을 이루는 중요한 제어설비이다. 현재의 PLC에는 필드버스와 산업용 이더네트의 프로토콜이 펌웨어로 구성되어 통합되어 있다. 생산 공정에 따라 특정프로토콜을 요구하는 버스 시스템이 자주 사용된다. 이 경우 최종 사용자가 간단하게 시스템의 성능을 시험 할 수 있는 방법은 없을까? 하나의 자동화 기기가 생산되기 까지는 In-Circuit 시험, 기능시험, 시스템 시험 등을 통해 제품의 내부 상태를 점검하여 자동화 설비에 투입된

다. 이미 이러한 시험 등을 거쳤기 때문에 내부적인 문제점, 즉 기술적인 에러가 있는 경우는 드물다 [3,4].

응용에 대한 적합성의 부합여부를 시험하는 것은 간단하지가 않다. 필드레벨에서는 이진코드의 센서와 액츄에이터가 거의 80% 이상을 차지하고 있으며 PLC와 입·출력 모듈을 통해 연결되어 순환적으로 지속적인 데이터를 교환한다. 이러한 경우 즉 생산자동화 분야에서는 순환시간(Cycle time)이 성능을 나타내는 중요한 파라미터가 된다. 버스시스템에 대한 성능분석 방법은 벤치마크 방법이 가장 적합하다. 여러 버스 시스템의 성능 파라미터를 비교분석함으로써 응용에 적합한 시스템을 선택하는데 도움을 준다. 벤치마크 방식에 의한 필드버스의 성능평가 방식이 참고문헌에 소개되었다[5]. 정교한 방법으로 여러 가지 성능파라미터의 평가가 가능 하지만 높은 수준의 기술이 요구되어 전문적인 기술을 가진 숙련된 기술자에 의해서만 가능하다. 이 논문에서는 엔지니어링 비용과 시간의 낭비 없이 간단하게 효율적으로 시험할 수 있는 방법을 제안한다. 여기서 제안된 방법은 별도로 전문화된 지식과 많은 전문툴(패키지) 등을 필요로 하지 않고 PLC와 연결된 입·출력 모듈의 간단한 순환 프로그램과 PLC와 그 주변기기들의 지연시간을 고려하여 파라미터들을 정의한다. 객관성을 위해 최적의 경우 (best case)와 최악의 경우(worst case)로 분류하여 정의된 파라미터에 해당되는 설정값을 할당한다. 시험대상과 오실로스코프, 그리고 함수발생기를 연결하여 오실로스코프를 통해 입·출력신호의 왜곡을 관찰한다.

2. PLC와 순환시간

PLC의 중요한 특성중의 하나가 순환적인 프로그래밍이다. 한 개의 사이클은 기본적으로 3개의 처리 단계로 이루어진다. 출력상태와 연결이 이루어진 후에 첫 번째 단계로 CPU안에서 실제상태의 이미지가 만들어진다. 이에 따라 연결 상태에서 한 개의 프로세스 크기가 변화한 경우 실제적인 사이클에서는 더 이상의 영향이 없다. 두 번째 순서로는 프로그램을 순차적으로 처리 한다. 프로그램이 처

리되는 동안 CPU안에 있는 입력이미지는 일정하다. 마지막 단계로는 프로세스에 출력이미지가 전송되어 연속적으로 입력이미지의 갱신되는 읽기가 만들어지며, 그다음의 사이클로 지속된다. 한 프로그램 명령어의 처리를 위해 프로세서도 0.5~1[ms] 정도가 요구된다. 1000개의 프로그램 명령어를 처리하는 시간은 1~10[ms]이고 완전한 프로그램 사이클의 운용시간(run time)은 평균 1~100[ms] 정도이다. 물론 실시간능력과 100[ms] 이상의 순환시간이 요구되는 화학공정에 가능한 프로세서도 존재한다. 일반적으로 센서신호에 대해 신호는 논리적으로 1, 또는 0 으로 간주되는 경계값 범위에 있다. PLC의 순환시간은 실행되는 명령어의 수에 비례한다. 한 프로그램의 어떤 부분들이 운용되는 가에 따라 여러 개의 다른 순환시간이 만들어진다. 최대반응시간을 찾아내고자 할 때는 최대 순환시간이 기반이 된다. 응용 프로그램에 대해 PLC는 CPU의 성능과 프로그램 명령 수에 종속되는 정해진 순환시간을 가지고 있다. 일반적인 경우 PLC와 버스시스템의 순환은 상호 독립적이며 비동기적이다. 버스시스템의 순환시간은 호스트에 연결된 모든 스테이션의 데이터를 읽고 넘겨주는데 필요한 시간으로 스테이션의 수, 데이터의 양, 각각의 스테이션의 처리시간, 전송속도와 시스템의 크기에 종속 된다. 버스시스템의 순환시간은 PLC 프로그램의 시간보다 가능한 적어야만 한다. 즉 버스시스템에 연결된 지능형 필드기기들에서 순환되는 버스 사이클들이 PLC내부에서 처리된다. 이를 PLC 사이클과 버스 사이클로 분류하여 그림 1로 표시하였다[6]. PLC

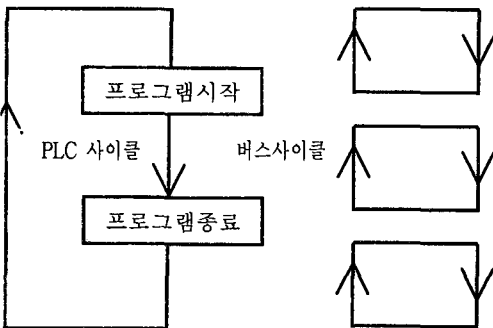


그림 1. PLC 사이클과 버스 사이클
Fig. 1. The Cycle of PLC and Bus

사이클은 지속적으로 순환되는 동안 버스 사이클도 충분히 순환되므로 다만 전송여가 좋지 않은 영향을 PLC에 주지 않도록 보장되는 것이 중요하다.

3. 성능측정

필드버스 시스템의 성능계측을 위해 널리 사용되는 방법으로 이미 기술한 바와 같이 벤치마크(Benchmark)가 있다. 벤치마크에 의한 성능측정은 다양한 시스템을 상호 비교할 수 있는 장점이 있다. 참고문헌[5]에서 제시한 벤치마크에 의한 성능계측 시나리오는 아래 그림 2와 같다.

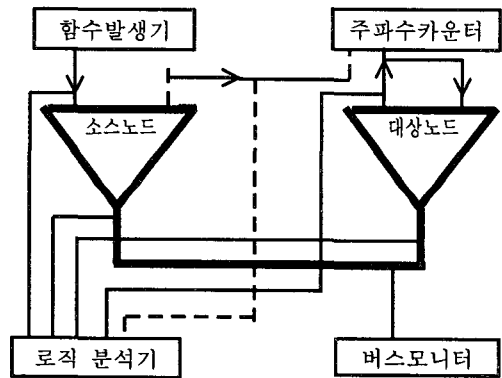


그림 2. 계측시스템의 구성
Fig. 2. The construction of Measurement system

여기서 점선으로 표시는 선택적임을 의미한다. 즉 로직분석기에 주파수 카운터가 반드시 필요한 것은 아니다.

위에 구축한 모델로부터 최대 입력/출력 갱신 비율(Maximal Input/Output Update Rate), 노드 사이의 길이에 의한 입력/출력 갱신 비율(Input/Output Update Rate at different distance between nodes), 최대 카운트 출력 갱신 비율(Maximal Counter Output Update Rate), 하드웨어 피드백에서의 최대 응답 갱신비율(Maximal Response Update Rate at Hardware Feedback) 그리고 소스와 대상(파트너) 노드의 부하(Load of source and Target node)에 대한 값들을 구할 수가 있다. 소스노드의 출력을 함수발생기에 연결하고 주파수를 높이면서 관찰한다. 입력에 양(Positive)과 음(Negative) 신호 변환 시에

버스시스템의 순환시간 측정 방법에 대한 연구

소스노드는 데이터 교환 서비스를 통해서 실제적인 상태를 대상노드에게 송신한다. 대상 노드의 출력에서는 주파수 카운트로 함수발생기의 주파수를 비교하여 오차를 발견한다. 두 개의 주파수가 일치할 때, 함수발생기의 주파수는 최대 입력/출력 갱신 비율이 된다. 서로 다른 노드 사이의 거리를 각각 10, 100, 1000[m]에서 측정이 가능하게 한다. 최대 카운트 출력 갱신 비율은 다음과 같이 측정한다. 소스노드 안의 응용 태스크는 최대 주파수로 파트너 노드의 디지털 출력을 토글(Toggle)하게 하도록 한다. 이 태스크는 한 변수의 조그마한 변화가 있을 때 비트 정보를 생성하고 파트너 노드에게 가능한 신속히 데이터 교환 서비스로 송신한다. 여기서 디지털 출력에 LSB (Least Significant Bit)가 발생 됨으로서 주파수 측정으로 최대 카운트 출력 갱신 비율에 대한 주파수 값의 발견이 가능하게 한다. 내부나 외부에서 발생된 이벤트를 전송할 때 서로 다른 시간관계를 정하기 위해 이 최대 카운트 출력 갱신 비율에 대한 결과를 최대 카운트 입력 갱신 비율과 비교할 수 있다. 그리고 하드웨어 피드백에서의 최대 응답 갱신 비율은 최대 입/출력 갱신 비율을 구하는 것과 비슷하나 다음과 같은 점에서 차이가 있다. 파트너 노드의 디지털 출력은 같은 노드의 입력과 연결되어 있으며, 실제적인 상태를 다시 소스노드에 재 지시하게 된다. 여기서 주파수 카운터와 함수 발생기를 통해 발생하는 주파수를 비교하여 일치하면 구하고자 하는 값이 된다. 여러 파라미터들의 측정값은 주파수 측정을 통해 발견될 수 있다. 이 방법은 신속하게 여러 개의 파라미터 값들을 구해서 비교할 수 있으므로 성능측정에 강력한 방법이다. 그러나 한편으로는 버스모니터의 사용과 논리분석기 사용이 뒤따르게 전문적인 지식이 필요로 하게 되는 점이 있다. 이미 서론에서 기술한 바와 같이 생산자동화 분야에서 센서와 액츄에이터의 사용이 많은 부분을 차지한다면 순환시간이 성능측정에 중요한 요인이 될 수 있다.

4. 계측시나리오의 제안과 순환시간 계측

순환시간을 효율적으로 측정하기 위해 다음과 같

은 방법을 제시한다. 본 논문에서 제시하는 순환시간에 대한 측정은 몇 개의 일반적인 실험도구와 간단한 PLC 프로그램 지식만으로도 가능하다. 순환시간의 계측을 위해 함수발생기로부터 사각파형을 시험하고자 하는 대상의 입력에 인가하고 호스트와 슬레이브를 연결하는 순환시간의 프로그램은 시험 대상의 입력과 출력을 연결하고 IEC 61311-3 PLC 언어에서 제공되는 변수를 정의한다. 즉 변수를 선언한다. 입력과 출력을 연결하는 프로그램은 단순히 변수 선언을 활용하여 래더(ladder)언어, 지시언어(IL), 또는 구조언어(STL, Structured Text language)등을 활용하여 주소화 함으로서 가능하다. 이것으로 단순히 순환시간의 프로그램을 제작하여 측정이 가능하나 시험의 적합성을 위해 보편적인 결과를 확보하는 것이 필요하다. 필드기기들은 지능성을 지니게 됨으로서 내부에 저역필터가 구성되어 있어 특히 저항성분 R과 커패시터 성분 C로 인한 지연시간이 존재한다. 또한 PLC내부에 샘플링시간, PLC 사이클, 연결된 필드기기와의 전송시간을 고려해야 한다. 이러한 파라미터들은 시험에 직접적으로 영향을 주는 요소이기 때문에 강력한 제한이 따르는 조건으로서 이를 최저의 경우(Worst case) 그리고 제한적인 조건이 거의 없는 최적의 경우(Best case)로 분류한다. 필드버스의 순환시간 측정을 하기 위한 예로 자동차 산업 및 기계 제어 등에서 널리 사용되는 인터버스 시스템을 그림 3과 같이 구성하고 이를 블록다이어그램으로 그림 4에 표시하였다. 시험 환경은 인터버스 마스터로 원격필드제어기(Remote Field Controller) 타입 RFC 430 ETH를 응용하고 슬레이브는 리모트 버스스테이션 타입 IB IL 24 DI DO 32 그리고 프로그램 환경은 PCWORX 2.01을 응용했다. 전송속도는 산업에서 표준으로 사용되는 500[kbit/s]로 하여 운용하였다.

주변기기(입력모듈)들과 호스트에서 발생하는 지연시간을 고려해서 필터지연시간은 최적의 경우 0 [ms], 최저의 경우 3[ms]로 설정을 한다. 최저의 경우는 대개 제품 규격에서 표기 되어있다. 지능형 카드 또는 펌웨어에 의한 구현화로 샘플링에 의한 지연시간은 최적의 경우 0으로 설정하고 최저의 경우 버스 사이클을 임의로 1버스 사이클로 한다. 이를 다음

의 표 1로 나타냈다.

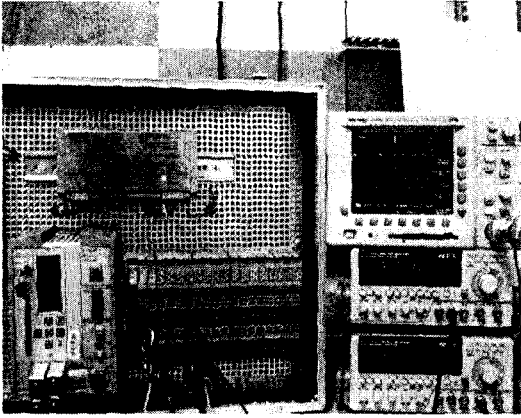


그림 3. 순환시간 시험을 위한 시스템의 구축
Fig. 3. The construction of system for the test of cycle time

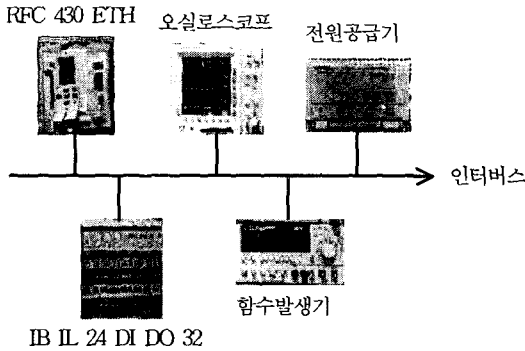


그림 4. 시험시스템의 블록다이어그램
Fig. 4. The block diagram of test system

표 1. 순환시간에 대한 최적과 최악의 경우의 파라미터 설정

Table 1. The setting of parameters on cycle time in the best and the worst case

	최적의 경우	최저의 경우
필터지연 시간	0[ms]	3[ms]
샘플링 시간	0 버스 사이클	1 버스 사이클
전송시간	1 버스 사이클	1 버스 사이클
PLC사이클	1 사이클	2 사이클
샘플링 시간	0 버스 사이클	1 버스 사이클
전송시간	1 사이클	1 사이클
출력	0	0

여기서 최악의 경우는 4개의 인터버스 사이클, 2개의 PLC사이클, 3[ms]로 구성되고 최적의 경우는 두개의 인터버스 사이클과 1개의 PLC 사이클로 구성된다. 최적의 경우 순환시간의 흐름을 관측하기 위해 주파수 발생기를 통해 클럭신호를 입력에 인가하여 오실로스코프로부터 입력과 출력신호 사이에 왜곡을 관찰한다. 인터버스의 순환시간(T_c)은 다음과 같이 구할 수 있다[7]. 여기서 $t_{software}$ 는 케이블의 길이가 짧기 때문에 무시 가능하다.

$$T_c = [1.15 \times 13 \times (8+n) + 3 \times m] \times t_{bit} + t_{phy} + t_{software} \quad (1)$$

$t_{bit} = 500[\text{kbit/s}]$ 에서 $2[\mu\text{s}]$

t_{phy} = 케이블에 의해 진행되는 시간

$t_{software}$ = 인터버스 마스터의 펌웨어로 네 번째 개 발된 인터버스 칩(G4)에서는 $450[\mu\text{s}]$, G3에서는 $700[\mu\text{s}]$

n = 유저 바이트의 수로 레지스터의 길이.

m = 리모트버스 스테이션의 수
= $0.874[\text{ms}]$

여러 번의 시도를 통해 계산에 근접된 순환시간은 $0.96[\text{ms}]$ 로 설정되어 이론적인 값과 거의 근접해 있다. 이를 그림 4에 나타내었다.

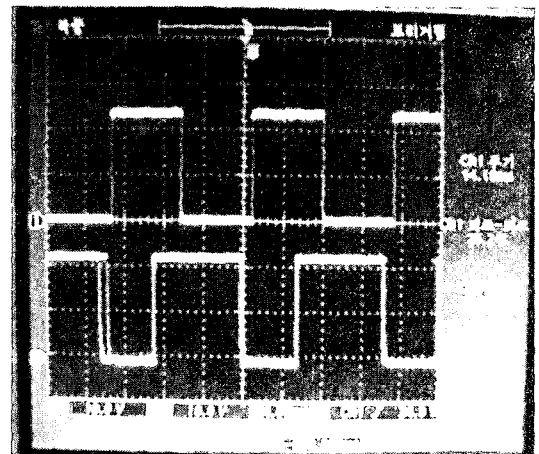


그림 4. 마스터와 슬레이브 사이의 입·출력의 왜곡
Fig. 4. The skew of input and output channel between master and slave

5. 결 론

앞에서 기술한바와 같이 PLC 및 버스시스템의 성능을 측정하는데 높은 수준의 기술과 엔지니어링의 비용이 요구된다. 필드레벨 즉, 센서나 액츄에이터가 많이 연결되어 사용되는 생산자동화에서는 데이터의 순환이 많이 필요하기 때문에 순환시간이 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 단지 함수 발생기, 오실로스코프, 주파수 카운터와 같은 일반적인 실험기기를 사용하여 순환시간을 측정할 수 있음을 보였다. 이를 위해 다음과 같은 두 가지 방법을 제시하였다. 한 가지는 PLC 프로그램 부분으로 PLC의 입력과 출력을 상호 연결하고 변수를 정의함으로써 PLC와 그 주변기기를 상호 연결하여 계측이 가능하게 하였다. 다른 또한 가지는 계측에 중요한 요소들을 필터의 시간, 샘플링, 전송시간, PLC 사이클, 출력에서 요구되는 시간을 정의하였다. 정확도를 기하기 위해 이러한 요소들을 다시 최적 조건과 최저 조건으로 분류하여 파라미터에 적절한 값들을 할당하여 이를 시험을 통해 그 타당성을 제시하였다. 순환시간이라는 요소만을 측정할 때 참조문헌[5]에서 제시한 방법에 비해 최소한의 시험절차로 시스템의 성능을 시험할 수 있음을 제시하였다.

References

- [1] Frank J.Furrer, "Industrieautomation mit Ethernet -TCP/IP und Web-Technologie," Hüthig Verlag Hidelberg 2003.
- [2] Matthias Seitz, "Speicher programmierbare Steuerungen," R. Fachbuchverlag Leipzig, 2003.
- [3] Michael Hertweck, "Prüfverfahren für die Serienfertigung feldbusfähiger Automatisierungs-komponenten," Herbert Utz Verlag Wissenschaft 1997.
- [4] Birgit Vogel-Heuser, "Auswahl von Feldbussystemen und Remote I/o-Systemen-kriterien und Systematik," atp, Oldenbourg, Heft 5, pp. 87-95, 2004.
- [5] Dietrich, Loy, Schweinzer, "LCN-Technologie Verteilte Systeme in der Anwendung," Hüthig Verlag Hidelberg, 2003.
- [6] Alfredo Baginski, Martin Müller, "INTERBUS-S Grundlagen und Praxis," Hüthig Verlag Hidelberg 1994.
- [7] Alexander Büsing, Holger Meyer, "INTERBUS-Praxisbuch Projektierung, Programmierung, Anwendung, Diagnose," Hüthig Verlag Heidelberg 2002.

◇ 저자소개 ◇

박장환 (朴奘煥)

1957년 11월 10일생. 1980년 동국대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업. 1993년 오스트리아 Graz 공과대학 전기전자공학 졸업(박사). 자동화/제어 전공. 현재 한경대학교 전자공학과 부교수.