

상하수도 원격감시제어 시스템 구현을 위한 스마트 RTU의 개발 및 적용

(Development of Smart Remote Terminal Unit for Water Treatment SCADA System)

장상복* · 이호현 · 홍성택 · 전명근**

(Sang-Bok Jang · Ho-Hyun Lee · Sung-Taek Hong · Myung-Geun Chun)

Abstract

In this paper, a new remote terminal unit(hereafter RTU) is proposed to manage a wide range of applications and a variety of sensors (eg, , pressure, water quality, temperature and humidity sensors, the amount of pollutants, CO₂ , etc.) to monitor and control the facility such as water treatment plant, intake and effluent pumping station, water tank and distribution network. Fault status of local sensor devices and network are alerted by using the embedded fault handling capabilities of the RTU in the system and also sent to the fault handling server, by which fault can be easily monitored to users. The developed system was applied to one of K-water branch offices in Geoje city and improved its reliability and stability for controlling and monitoring water facility.

Key Words : Remote Monitoring And Control, RTU, Fault Detection, Water Treatment Plant

1. 서 론

최근 정부기관 및 지자체별로 다양한 개념의 U-city가 경쟁적으로 추진되고 있으며, 하드웨어, 소프트웨어 등 IT 기술 개념들의 융합이 요구되고 있다. 하지만 최첨단 기술이나 새로운 개념을 도입하는데 치중

한 나머지 플랫폼 및 시스템의 개발, 운영, 유지에 필요한 문제점 혹은 위험요소 분석 등은 간과하고 있는 것이 현실이다. 이러한 현실 속에서 정부기관이나 지자체에 산재되어 있는 시설물들을 원격으로 감시 및 제어하기 위한 원격감시제어 시스템인 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)가 요구되고, 아울러 시설물 및 네트워크의 장애를 사전에 방지 및 신속한 장애처리 가능한 기술이 요구되고 있다 [1-2].

또한 정부는 ICT 융복합 기술 활성화를 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), RFID, 자동감지 기술 등을 주요 기술로 선정 육성하고 있다[3]. 특히 수질 및 수량관측, 홍수와 같은 재해방지, 수력발전, 풍력 등의 SCADA에 융합 기술이 활용됨으로써 관

* 주저자 : 충북대학교 제어로봇공학과 박사과정
** 교신저자 : 충북대학교 제어로봇공학과 교수
* Main author : Chungbuk National Univ, Control and Robot Engineering, Ph. D Candidate
** Corresponding author : Chungbuk National Univ, Control and Robot Engineering, Professor
Tel : 042-629-3330, Fax : 042-629-3349
E-mail : jsbok0502@kwater.or.kr
접수일자 : 2013년 9월 9일
1차심사 : 2013년 11월 19일, 2차심사 : 2013년 12월 9일
심사완료 : 2014년 1월 2일

련 장비 및 기술개발에 대한 관심이 고조되고 있다 [4-5]. 이러한 기반 인프라를 안정적으로 관리하기 위해서는 하부 기계 및 센서단을 전기적 신호로 가변하고 이를 운영자용 컴퓨터에서 모니터링할 수 있는 RTU(Remote Terminal Unit)의 신뢰성이 담보되어야 한다[6]. 이에 따라 고 신뢰성을 보장하는 장애 처리 및 영상, 오디오 기술, 자동구성관리 기술 등을 실제 서비스 환경에 적용하여, 향후 U-city 환경하의 다양한 서비스 및 다양한 시설물을 효율적으로 관리하고 장애처리할 수 있는 차별화된 기술과 제품이 필요하다.

IT 기술이 접목된 현재의 네트워크는 PSTN, 인터넷, IPTV, WiBro 등의 서비스를 제공하고 있으며, 대부분의 장비 업체에서 TCP/IP기반의 데이터 통신을 수행하고 있어 보안상의 취약점이 있다[7].

이에 본 연구는 원격지의 시설물 관리 장비에 원격 장애처리 프레임워크 기술을 적용함으로써 최소의 인력으로 시설물의 운영 및 각종 제어 알고리즘을 구현하여 신속한 장애원인 파악과 문제해결을 하여 효율적인 관리를 도모하고자 한다

2007년도 K 통신사에서 발생하는 2,000여건의 장애 발생 사례를 그림 1과 같이 분석한 결과 H/W 불량(31%), S/W 에러(22%), 정전 및 장비 외부 요인 등 다양하게 나타나는데, 장비 외적인 장애, 정전에 의한 장애, 천재지변에 의한 장애 등은 원인이 분명하여 그에 대한 조치를 취하면 되지만, H/W나 S/W 불량은 장애 원인을 정확히 알 수 없다[8]. 이러한 장애에 대한 신속한 대응과 조치가 필요하며 일부 시스템에 대해서는 원격제어 조치를 취하고 있지만 근본적으로 장애 원인을 감지하고 사전에 장애를 조치하는 경우는 없는 상태이다.

본 연구 개발을 통하여 상하수도 시설의 원격 고장 진단 및 장애처리가 가능하고, 임베디드 방식의 확장성과 멀티 네트워크 통신방식 지원 등 고성능의 스마트 RTU를 개발하였다. 이를 한국수자원공사 거제권 관리단 3개 가압장에 설치하여 운영한 결과 시설물에 대한 안정적 운영과 근무자의 원격지 출동 등을 대폭 감소시킴으로서 신뢰성 있는 시설물의 관리가 가능하게 되었다.

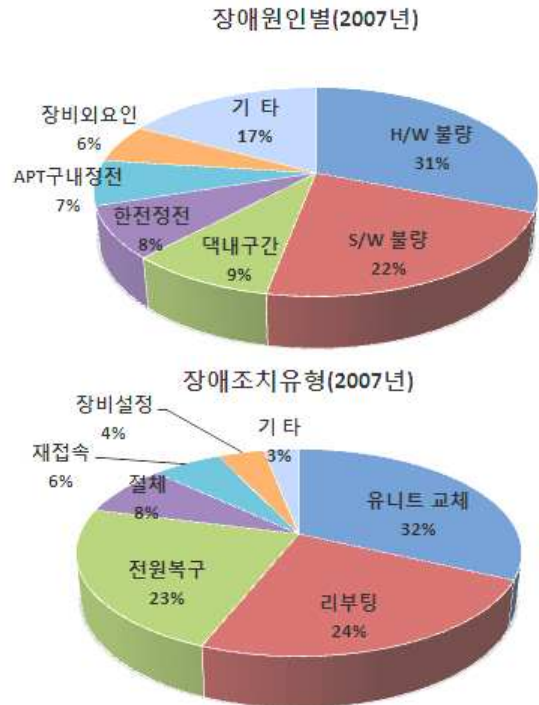


그림 1. K사 장애 유형분석
Fig. 1. Trouble Analysis of a Company K

2. 원격 감시 시스템 구성 및 기능

2.1 RTU 개발 배경

SCADA시스템은 특정 산업현장 전체, 또는 지리적으로 넓게 퍼져있는 산업 현장을 전체적으로 감시·제어하는 집중화된 시스템을 말하며 대부분의 제어 동작은 RTU에 의해 자동으로 이루어진다. RTU는 물리적인 장비와 연결되어 해당 장비가 인지하거나 출력할 수 있는 전기 신호를 컴퓨터가 이해할 수 있는 디지털 신호로 상호 변환하는 역할을 한다. 스위치나 밸브의 개폐상태, 압력 측정값, 액체 등의 흐름, 전압, 전류 등을 상위 컴퓨터가 인식할 수 있도록 하고 반대로 상위 컴퓨터에서 지시하는 디지털 신호를 적절한 전기 신호로 변환하여 밸브나 스위치를 여닫거나 펌프의 속도를 조절하고, 액체의 흐름을 제어 하는 등 산업현장에서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다[9-10].

최근 추진 중인 U-city 사업 분야의 원격에 산재되

어 있는 상·하수도 등의 시설물 관리 분야, 4대강 유역 원격, 영상 환경감시 장치 등의 요구가 확대되고 있다. 특히 2009년 9월 북한의 황강댐 불시 방류로 임진강 수위가 상승하였으나 RTU의 고장(홀딩상태)으로 수위 상승 데이터가 상위 시스템으로 전송되지 못하였고 이로 인해 홍수위와 연계되어 작동하는 홍수예·경보 시스템도 작동하지 못하였으며, 하류에서 야영하던 6명의 인명피해가 있었다. 본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위해 하드웨어 및 소프트웨어적 장애처리 기능과 함께 RTU의 성능을 표 1과 같이 개선하였다.

표 1. 스마트 RTU 주요성능 개선
Table 1. Major Performance Improvement of Smart RTU

구 분	유사규모 RTU	스마트 RTU
CPU, 전원	단일	이중화
주통신망	· 두 가지 지원 (이더넷, Serial) · 자동절체 안됨	· 삼중화 (이더넷, Serial, WiFi) · 자동절체
데이터 취득방식	디지털, 아날로그, 유선통신	· 디지털, 아날로그, 유선통신 · 무선통신(Zigbee, Bluetooth, Wifi)
주요 장애처리	· 자체기능없음 - Relay 보조 설비를 구성하여 원격에서 공급 전원제어	· 데이터 또는 I/O 카드 holding시 self reset · 메모리 또는 CPU이상시 1차 소프트웨어적 리셋 · 2차 하드웨어적 리셋 · 원격 수동 리셋 지원 · 데이터 저장 및 Trend 지원 (액정디스플레이)
기 타	IEC61131-3지원 (IL, LD, SFC)	· C++등 범용 언어 · 영상취득, 외부 SD카드 지원

그림 2는 시스템의 전체 구성도이며 현장 계측기 및 영상자료를 개발된 RTU를 통하여 전송되는 과정을 표현한 것이다.

연구 개발된 RTU는 소형 단말기임에도 불구하고 CPU와 전원모듈의 이중화, 상위 네트워크의 다중화(유·무선 3중화)가 가능하고 영상감시와 장애처리

알고리즘 구현 등 다양한 기능상의 특징을 가지고 있으며 세부 기능 등은 다음과 같다.

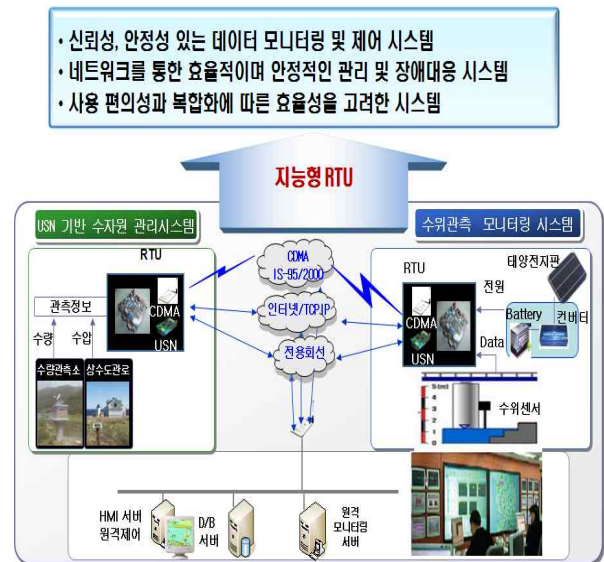


그림 2. RTU 개발 개념도
Fig. 2. Configuration for RTU Development

2.2 원격 고장진단 및 장애처리

Embedded 기반의 RTU 장치 내에 장애처리 기능을 탑재하여 센서 소자 및 네트워크의 이상 유무를 실시간 로그 파일로 생성하고, 상위 시스템에서 원격지 RTU에 펌웨어의 원격 업데이트뿐만 아니라 원격 리셋, 자가진단을 통하여 현장요원의 현장 출동 횟수를 줄일 수 있다.

- 원격 고장부위 진단 기능 : RTU/Network
- 자체진단 및 복구기능(자기 진단기능) 구현
- 원격설정 및 운영 소프트웨어의 원격 업데이트 기능
- 원격 서버로부터의 펌프 등 주변 시설물 제어 기능 구현
- 원격 리셋 기능

그림 3에서와 같이 I/O 카드에서 장애가 검출되었을 때, CPU는 해당 I/O 카드를 리셋 시키는 명령을 수행한다. 리셋 후에도 장애가 계속되면, 해당 I/O 카드에 장애라는 표식을 달고 서버에서 그 상태를 확인한다.

시스템이 경고를 보내도록 설정되어 있으면 장애와 관련된 경고를 자동으로 전송하여 RTU의 가용성을 최대화하였다.

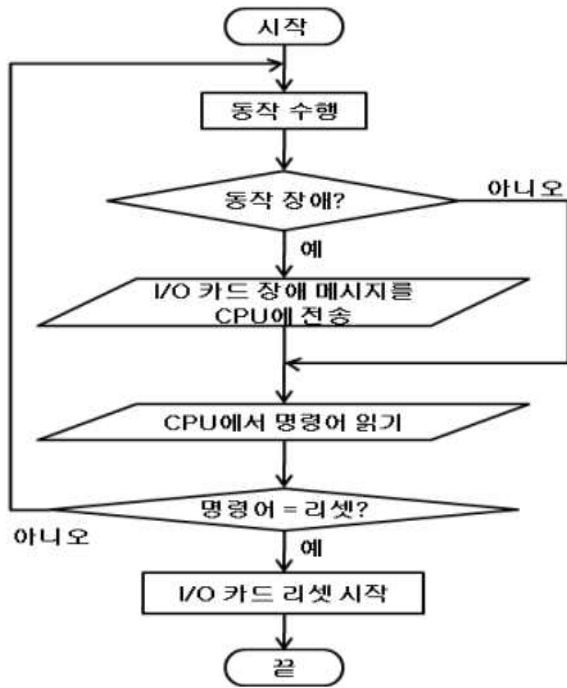


그림 3. I/O카드 장애처리 흐름도 예
Fig. 3. Troubleshooting Flowchart of I/O Devices

그림 4에서는 원격에서 운영자가 스마트 RTU의 장애상황을 모니터링하고 원격설정 및 운영소프트웨어 Download를 통하여 최신버전으로 관리하고 문제발생 시 자동으로 Reset되도록 구현하였다.

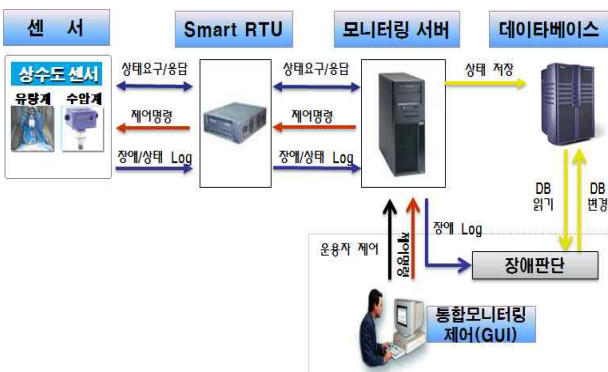


그림 4. 원격장애처리 개념도
Fig. 4. Configuration of Remote Troubleshooting

2.3 임베디드 방식의 확장성 및 고성능 구현

고성능 ARM11 Processor 및 WinCE OS 기반의 Embedded 기술을 통해 기능별 모듈화를 하였다. 또한 CPU와 전원 이중화를 구현하여 개별 CPU나 전원 장치의 고장 발생 시에도 자동으로 예비 모듈로 절체되어 시스템이 안정적으로 운영되도록 하였다.

센서 소자와의 인터페이스는 16 비트 마이컴 적용을 통해 데이터의 신뢰성을 높이고 아날로그 신호나 디지털신호, 통신신호, 무선신호등 다양한 하부 디바이스와 인터페이스 가능토록 모듈을 개발하였다.

또한 네트워크 Fail에 대비하여 로컬 SD 카드 내에 데이터를 저장하였다가 네트워크 복구시 자동 전송 가능하도록 다음과 같은 기능을 구현하였다.

- ARM11 Processor & WinCE 6.0 RTOS Platform 기반
- Analog/Digital Interface
- 마이컴 적용을 통한 신뢰성 있는 Data capturing 기능
- 데이터 저장기능(네트워크 Fail 시 로컬 SD 카드에 데이터 저장 및 자동 전송)
- 로그 collection 및 전송
- Modbus RTU Protocol, RS-232C, RS-485 등
- 무선통신기능(Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth등)[11]
- Analog(4~20mA) 및 Digital(접점, Tr)

2.4 멀티 네트워크 통신방식 지원

다양한 망 인터페이스가 가능하도록 공용 인터넷 망과의 연동 및 Modbus 통신, 유선망의 장애 등의 비상 상황에 대비한 CDMA 1x 의 통신 연동기능이 가능하도록 개발하였다. 또한 RTU 마스터는 1:N 통신을 통해 다수의 슬레이브 RTU 상태를 확인하거나 제어할 수 있도록 하였다[12].

- TCP/IP, CDMA 1x, Modbus RTU protocol
- RS-232 Modem 통신

네트워크 장애 최소화를 위하여 그림 5의 알고리즘

그림 7에서는 완성된 RTU의 모습을 보여주고 있으며 좌측에 이중화 전원 및 CPU를 장착하여 장애요인을 최소화하였고 외부 LCD 인터페이스모듈 과 I/O모듈이 구성되어 있다. 이러한 슬림한 구조를 통하여 저전력으로 안정적인 데이터를 상부시스템에 제공할 수 있게 되었다.

3. 시스템 구성 및 적용

개발한 RTU를 한국수자원공사 거제권관리단 3개 가압장(와현, 수창, 여차)의 원격설비제어(펌프, 밸브) 및 감시(압력, 설비상태)를 위하여 적용하였다.

그림 8과 그림 9는 현장 가압장에 실제 설치된 RTU와 RTU를 통하여 중앙조정실에 설비상태 및 데이터 값을 실시간으로 표현해 주고 있다.



그림 8. 와현가압장에 설치된 스마트 RTU
Fig. 8. Smart RTU installed in Wa-hyun Pump Station

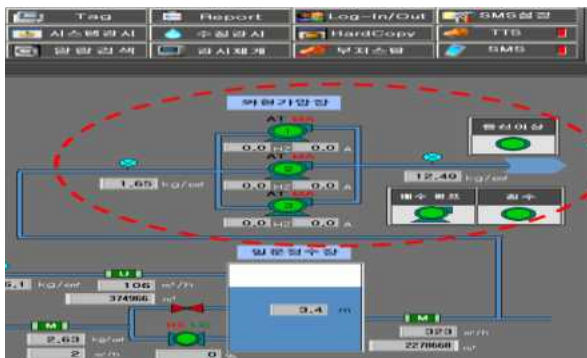


그림 9. 중앙조정실의 와현가압장 MMU
Fig. 9. MMU in Wa-hyun Pump Station

그림 10은 와현가압장의 2013. 7.1~7.31간의 전송된 실시간 데이터 중 시간단위 데이터 값들을 보여주고 있으며 그림에서 알 수 있듯이 데이터가 안정적으로 전송되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 하부의 I/O 카드 Holding 발생시 장애처리 알고리즘에 의해 자동으로 Reset이 이루어짐을 확인하였다.

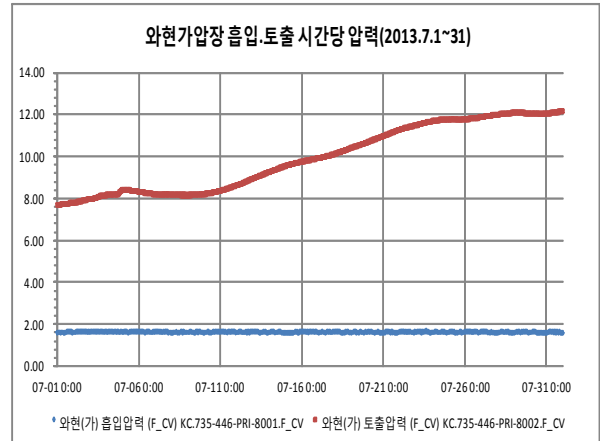


그림 10. 와현가압장의 전송된 흡입토출 압력 데이터
Fig. 10. Pressure Data in Wa-hyun Pump Station

개발된 RTU의 적용분야로는 원격 장애처리 기능이 부가된 원격감시제어 시스템을 이용하여 수문관측분야, 밸브/펌프/기타 제어분야, 수처리 시스템 분야, 대기/수질 측정분야, 용수관리 자동화 분야, 기상측정 분야, 에너지 절약형 냉난방 환기제어 분야, 빌딩의 지능형 트래킹 전기화재 검출을 통한 원격관리 분야 등 다양한 분야에 적용하여 사용할 수 있고, 통신망 또한 위성, CDMA, VHF, 전용선, 인터넷 등 다양한 통신망을 이용할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 상·하수도 시설의 원격지에 설치된 시설물(펌프, 밸브, 압력계, 유량계, 수질등)의 감시제어를 위한 핵심요소인 RTU의 기능과 안정성을 향상시키기 위하여 하드웨어와 장애처리 알고리즘개발 및 USN기능을 개발 적용하였다. 소형 RTU이면서 CPU의 이중화와 통신네트워크의 다중화(RS-232, Wifi,

Ethernet 등)를 구현하였고, 최근 각광받고 있는 USN 구성이 가능하도록 여러 무선통신 카드도 개발하였다.

본 단말기를 원격지 시설물의 감시제어를 위하여 적용한 결과 데이터 값과 상태값 들의 안정적 전송을 확인하였고 장애처리 알고리즘의 개발 적용을 통하여 단말기나 센서의 오동작이나 Holding 등의 발생시 자동적으로 하드웨어적 또는 소프트웨어적인 리셋을 함으로써 시설물에 대한 안정적 운영과 운영근무자의 원격지 출동 등을 대폭 감소시킴으로서 신뢰성 있는 시설물의 관리가 가능하게 되었다.

향후 다양한 환경 및 시설물 자원의 효율적인 관리를 위해, 원격지에 위치하여 관리자의 접근이 쉽지 않은 지역의 시설물에 장애처리 기능이 부가된 원격감시제어 장치를 적용하여 신속한 유지보수가 가능하도록 하고 관리자 시설물 복구를 최소화할 것으로 기대되어 진다. 또한, 열악한 상하수도의 유량 데이터, 수압 데이터, 수질 데이터를 원격에서 관리 모니터링 하기 위한 사업에 적용 예정이며 휴대폰과의 연계함으로서 언제 어디서나 상하수도 시설물에 대한 감시 및 제어를 실시간으로 모니터링할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J.H Lee, S.J Lee, "Renovation of the Time Accuracy of collecting Status Event", Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 3, pp. 332~341, 2013.
- [2] Y.W Kim, K.B Lee, P.S Ga, S.W Lee, J.G Kim, "Improvement of Configuration of EMS RTU in Hydro Power Plant", Summer Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, 2011.
- [3] C.S Pyo, J.S Chae, "Prospect of RFID/USN Technology Development", Korean Institute of Communication and information Sciences, Vol. 4, No. 3, pp. 7~13, 2007.
- [4] S.Y Kim, S.H Kim, "Status Modeling based on Artificial Intelligence using Wind Power SCADA Data", Fall Conference of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 23, No 1, 2013.
- [5] D.H Baek, E.E Lee, "The Method of Technical Evaluation for SCADA System in Dam and Water Treatment Plant", Summer Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, 1998.
- [6] McGrew, R. and Vaughn, R. "Discovering vulnerabilities in control system human-machine interface software", Journal of Systems and Software. Volume 82, pp 583-589, 2009.

- [7] Luallen, Matthew E. Labruyere, Jean-Philippe, "Developing a Critical Infrastructure and Control Systems Cybersecurity Curriculum", System Sciences (HICSS), 2013 46th Hawaii International Conference, 2013.
- [8] "Report for Trouble Shooting about Communication System in KT" 2007.
- [9] S K Singh, "Industrial Instrumentation and Control" Second Edition, Tata McGraw-Hill,, 2003.
- [10] W.Bolton, "Programmable Logic Controllers", Fifth Edition, Newnes, 2009.
- [11] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [12] J.G Hwang, J.H Kim, G.H Yang, S.M Park, H.G Nam, "Development of Comm. Protocol between Solar Power Inverter and Remote Terminal Unit", Spring Conference of Korea Society of Manufacturing Technology Engineers, 2012.

◇ 저자소개 ◇



장상복(張相福)

1967년 4월 3일생. 1989년 영남대학교 전자공학과 졸업. 2003년 한밭대학교 제어계측공학과 졸업(석사). 2011년~현재 충북대학교 제어로봇 공학과 박사과정. 1992년~현재 한국수자원공사 수도개발처.



이호현(李鎬賢)

1972년 10월 2일생. 1998년 원광대학교 전자공학과 졸업. 2010년 KAIST 로봇학제 졸업(석사). 2013년~현재 충북대학교 제어로봇 공학과 박사과정. 1998년~현재 한국수자원공사 K-water연구원.



홍성택(洪性鐸)

1966년 1월 5일생. 1993년 한밭대학교 전자공학과 졸업. 1995년 한밭대학교 전자공학과 (석사). 2007년 충북대학교 전파공학과 박사수료. 1996년~현재 한국수자원공사 K-water연구원.



전명근(全命根)

1964년 7월 17일생. 1987년 부산대학교 전자공학과 졸업. 1989년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1993년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1993~1996년 삼성전자 자동화연구소 선임연구원. 2000~2001년 University of Alberta 방문교수. 2011~2012년 Temple University 방문교수. 1996년~현재 충북대학교 전자공학부 교수. 2008년~현재 TTA PG505 전문위원. 2007년~현재 ISO/IEC SC27 정보보호 표준화 전문위원.