

PLC(Programmable Logic Controller)와 공중통신망을 이용한 하천수위감시시스템 구축 사례 연구

A Case Study on the Implementation of a River Water Level Monitoring System using PLC(Programmable Logic Controller) and Public Telecommunication Network

김석주(Seokju Kim)*, 김민수(Minsoo Kim)**

초 록

낙동강 하굿둑의 주요 기능인 염수피해 방지와 홍수 배제를 효과적으로 수행하기 위하여, 주요 지점의 하천 수위 변화를 감시하여 하굿둑 수문(水門) 운영에 신속히 반영할 수 있도록 하천수위감시시스템을 구축하였다. 하굿둑 운영에 직접 영향을 미치는 낙동강 분류 3개 지점에 PLC와 공중통신망을 이용하여 시스템을 구축하고, 하굿둑 통합운영시스템과 연계하였다. PLC를 활용하여 안정성과 범용성을 확보하고 유지관리의 편의성을 제고할 수 있었다. 전원 제어장치를 설치하여 경고장 발생 시 원격에서 신속히 조치를 취한 뒤, 초기화할 수 있도록 하여 현장까지의 출동 횟수를 대폭 감소시킬 수 있었다. 현장 데이터 저장 기능을 추가하여, 통신망 이상 등으로 데이터가 센터로 전송되지 못할 경우를 대비하였으며, 통신망은 공중 통신망인 ADSL(FTTH)을 이용하여 경제성을 고려하였고, CDMA(M2M)를 보조망으로 구성하여 이중화하였다. 공중통신망의 보안 취약성을 보완하기 위하여 전용망과 같은 효과를 볼 수 있도록 VPN을 각각 설치하고, 가상사설망을 통하여 센터와 관측국이 통신하도록 하였다. 일반적으로 하천 수위관측국에는 목적에 따라 전용의 원격터미널을 이용하고 있으나, 본 사례는 범용적인 PLC를 이용하여 개방적 구조의 시스템을 구축함으로써, 향후 유역통합물관리에 대비하여 여러 시스템간의 인터페이스와 유지관리의 용이성, 보안성, 경제성을 고려한 모델이라는 점에 의의가 있다.

ABSTRACT

A river water level monitoring system which prevents salt water damages and effectively excludes floods has been developed to contribute efficient operation of Nakdong river estuary barrage. The system can be used for monitoring upstream conditions more quickly and do appropriate responses over changes. Telemetry and telecontrols using PLCs have been built at the three sites that directly influence on the operation of barrage gates, and are

* First Author, Nakdong River Integrated Operation Center, Korea Water Resources Cooperation (ksjid@kwater.or.kr)

** Corresponding Author, Division of Systems Management and Engineering, Pukyong National University (minsky@pknu.ac.kr)

Received: 2015-04-01, Review completed: 2015-05-18, Accepted: 2015-10-11

linked to Nakdong river estuary barrage's IOS (Integrated Operation System) through public communication networks. By using PLC, the system can achieve even higher reliability and versatility than before as well as easy management. By power control devices, we can remotely control the power of PLCs to treat the minor troubles instantly without going on-sites. The power control devices also save data in preparation for the cases of communication failures. The system uses ADSL (FTTH) as a main network between SCADA server and PLCs, and CDMA (M2M) as a secondary network. In order to compensate security vulnerabilities of public communication network, we have installed the VPNs for secure communication between center and the observation stations, just like a dedicated network. Generally, river water level observations have been used custom-manufactured remote terminals to suit their special goals. However, in this case, we have established a system with open architecture considering the interface between different systems, the ease of use and maintenance, security, price, etc.

키워드 : 하굿둑, 홍수경보시스템, 수자원운영, 원격감시제어

River Estuary Barrage, Flood Warning System, Water Resources Operation,
Remote Monitoring & Control

1. 서 론

부산시 사하구 하단동과 강서구 명지동에 걸쳐 있는 낙동강하굿둑은 낙동강 상류지역에 안정적인 용수를 공급하고 염수의 침투를 막기 위한 핵심 시설로서, 평시의 효율적인 수문 운영과 홍수기의 급변하는 하천변화에 신속하게 대응하기 위해 상류 지역의 수위와 유하량 변화에 대한 실시간 감시능력이 매우 중요하다. 실시간 감시를 위한 주요 관측지점으로는 낙동강 삼랑진, 구포 수위관측국과 대동수문을 들 수 있겠다.

하굿둑 상류 약 45km에 위치한 삼랑진 수위관측국은 창녕·함안보의 방류량과 밀양강, 청도천 등의 지천의 유입량이 합류하는 지점으로, 낙동강하굿둑으로 유입되는 낙동강 본류의 유량을 실시간 감시하기에 적절한 위치이다. 하굿둑 상류 약 16km에 위치한 대동수문은 서낙동강으로 관개용수 공급을 위해 운영되는 시설로써, 수문을 개방할 경우 하굿둑 상류 수위에 영향을

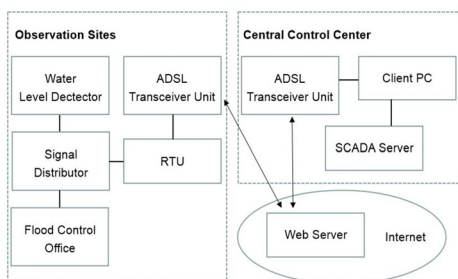
미치게 되어 수문 조작과 수위 변화 상황에 따라 적절한 대응을 위하여 실시간 감시가 필요한 지점이다. 하굿둑 상류 약 12km에 위치한 구포 수위관측국은 하굿둑 유입량의 상류 기준 수위가 되는 지점으로, 염분침투 차단을 위한 수문 조작 의사결정의 근거 데이터로 활용된다. 구포에 유입된 유하량은 30분 이내에 하굿둑에 도달하기 때문에 구포지점의 수위 변화로 유입량을 산정할 수 있다. 삼랑진 지점의 물량이 하굿둑에 도달하는 시간은 유량에 따라 다르지만 대략 8시간이 소요되며, 하류로 내려오면서 서서히 수위에 영향을 미치게 된다[15, 16].

K-water(한국수자원공사)는 하굿둑의 평시와 홍수기 수문 운영에 대한 보다 신속하고 정확한 의사결정을 위하여 상류 주요 지점의 수위에 대한 실시간 감시시스템을 구축하여 운영하고 있다[12]. 낙동강하굿둑의 하천수위감시시스템은 낙동강 삼랑진과 구포 지점의 수위, 대동수문의 수위 및 주수문의 상태 등 하굿

독 수문 운영에 직접 영향을 미치는 데이터를 낙동강하굿둑의 중앙조정실에서 원격으로 실시간 감시하여, 평시 하굿둑 상류 수위 조절과 홍수시 보다 신속하고 정확한 수문 운영에 대한 의사결정을 지원하는데 목적이 있다.

기존의 하천수위감시시스템은 <Figure 1>과 같이 하천수위 계측설비, 데이터 전송을 위한 RTU(Remote Terminal Unit) 설비, 통신망, 통제국(Central Control Center) PC, 외부 호스팅 업체의 웹 서버를 이용하여 구성되었다.

통제국 PC는 웹 서버가 ADSL망을 통해 취득한 수위관측국의 데이터를 전달받게 되는데, 수위관측국의 데이터는 통제국 PC에서 하굿둑 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템의 서버로 RS-232C 통신을 통해 전송되어, HMI(Human Machine Interface)의 각종 콘텐츠 형태로 사용자에게 제시됨으로써 실시간 하천수위감시가 가능토록 구현되었다. RTU는 원격지의 통제국과 통신을 하면서 수위계 등의 하천 수문관측기기에서 계측한 데이터를 로그에 저장한다. 로그에는 10분 주기로 취득되는 수위 및 우량 데이터가 최소 5개월 이상 저장될 수 있는 메모리 용량이 갖추어져 있다.



<Figure 1> Diagram of Previous River Water Level Monitoring System

하천수위 계측설비는 낙동강이 국가 하천이므로 수문관측 주무 관청인 낙동강홍수통제소의 수위계 신호를 분배기로 분기하여 RTU로 입력하도록 구성되었다. 대동 수문은 부산시 강서구청에서 운영하는 시설로서 기존 설비에서 병렬로 해당 신호를 분배하여 RTU에 입력하도록 구성되었다.

기존의 하천수위감시시스템은 제작사 외에는 RTU의 하드웨어와 소프트웨어에 대한 수리 및 변경이 불가능하고, 예비품이 확보되지 않는 등 유지관리에 많은 어려움이 있었다. 뿐만 아니라 하굿둑의 배수문을 감시·제어하기 위한 SCADA 시스템과는 별도의 시스템으로 구축되어 있어서 시리얼 통신으로 두 시스템을 연결하는 등, 전체 시스템의 통합 측면에서도 바람직하지 않았다. 특히, 수위관측국과 통제국 사이가 ADSL망으로 연결되고 외부 호스팅 업체의 웹 서버를 이용하여 데이터를 제공받는 구조를 지녀, 보안 측면에서도 높은 취약성을 지니고 있었다. 산업이 발달할수록 SCADA 시스템을 다른 네트워크와 연결하려는 요구가 커지게 되는데, 위와 같은 취약성은 심각한 보안 문제를 유발할 위험을 높이게 된다. 더구나 SCADA 시스템의 통신 프로토콜로 개방형 표준의 사용이 일반화되고 있고, 비용 및 시간을 절감하기 위한 COTS(Commercial Off-the-shelf) 기반의 시스템 설계가 늘어나고 있어서, 시스템 전반에 걸쳐 보안에 대한 보다 많은 고려가 필요해지고 있다[1, 3, 8, 23].

기존의 하천수위감시시스템에서는 수위관측국에서 경고장이 발생할 경우 원거리의 현장으로 출동하여 조치해야만 하고, 통제국과 관측국간의 통신상태 점검이 불편한데다가, 관측국에서 보관하고 있는 데이터를 백업할 때

마다 노트북과 통신케이블 등의 보조 장치를 휴대해야만 하는 관리상의 비효율을 개선하고자 하는 요구가 지속적으로 있어 왔다[10].

이런 문제점을 개선하여 시스템의 범용성과 확장성 및 안정성을 높이고, 수문자료의 신뢰성 확보와 유지관리 효율성을 제고하기 위한 신규 시스템의 구축이 추진되었다.

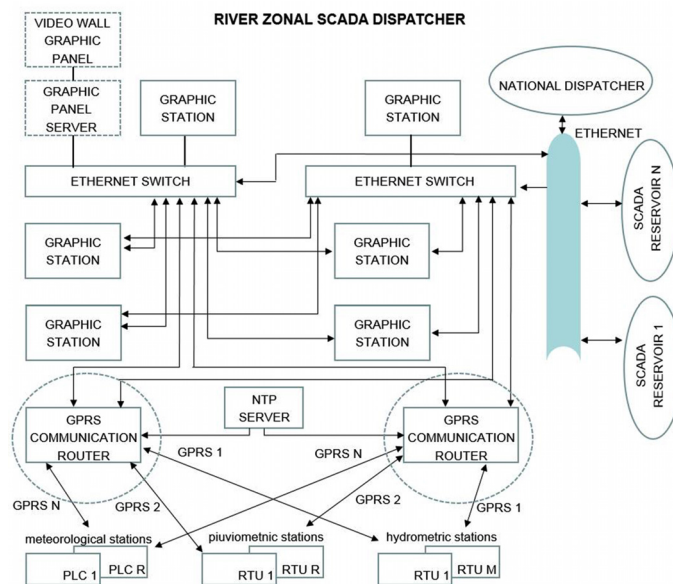
본 논문은 SCADA 시스템의 통합과 관련된 연구정보가 부족한 상황에서, 새로운 하천수위감시시스템의 구축 사례를 소개하여, PLC와 공중통신망을 이용한 SCADA 시스템의 구축 과정에 대한 이해를 돕고, SCADA 시스템의 통합과 관련된 유사 문제를 고민 중에 있는 기업과 기관에 참고가 될 수 있도록 작성되었다. 제1장에서는 기존 하천수위감시시스템의 개선 필요성에 대하여 설명하였고, 제2장과 제3장에서는 PLC를 활용한 신규 하천수위감시시스템의 설계와 구현에 대해 다루었다. 제4장에서는

신규 시스템의 구축으로 인한 개선효과를 다루었고, 마지막 제5장에서는 본 연구 내용의 요약과 결론을 제시하였다.

2. 하천수위감시시스템 설계

2.1 하천의 물관리를 위한 SCADA

하천의 물관리를 위한 SCADA 시스템은 <Figure 2>와 같은 구조로 구성할 수 있다. Graphic Station은 Server와 연결되어 전체 프로세스를 감시할 수 있도록 한다. SCADA Server는 유역의 주요 지점에 설치된 자동계측국(Automatic Measuring Stations)으로부터 수위, 유량, 유속, 수온, 강우, 강설, 기상 등의 필요 데이터를 수집한다. Database Server는 필수적인 데이터를 저장하고 장기적인 기록을 유지하며 Report를 생성하고 분석과 예



<Figure 2> SCADA Zonal Dispatching Unit for a Large River with Redundancy [24]

측에 사용되는 Trend를 만든다. SCADA Server와 관측국간의 통신은 유선, 무선 등 다양한 방식과 프로토콜(IEC 60870-5-104, IEC 61850, Modbus/TCP, EtherNet/IP, DNP3, OPC-UA 등)이 사용된다[24].

<Table 1> Sorraia Irrigation Project (Portugal) [22]

Purpose
- For appropriate and efficient control of the Sorraia River(near Lisbon in Portugal)'s conveyance and water delivery network - Provide reliable information about real-time hydraulic state
Architecture
Irrigation Canal SCADA - Master station: 1 station - RTUcm (Field stations with control and monitoring unit): 13 stations - RTUm(Field stations with monitoring unit): 10 stations - Communication: PSTN or GSM
Techniques Involved in Operation
- Direct controller: control actuators - Gate position controller: control gate position - Flow controller: control flow - water level controller: keep water level inside the canal

유역 SCADA 센터(River Zonal SCADA Dispatcher)는 수집된 데이터를 이용하여 분석, 진단, 예측하는 역할을 하고, 위험 상황이 예측되면 경보를 발령한다. 댐과 보의 최대방류량, 방류량의 증가 또는 감소의 최대 증분량, 방수로의 최대 깊이, 하류의 허용 최대량 등을 고려하여 하류에서 급격한 방류량의 변화가 없도록 하고, 주변의 토양, 농작물, 안전문제 등의 제약 요인들을 고려하여 필요시 댐, 보, 수문 등을 제어하

여 유역의 수자원을 관리한다[24].

<Table 2> Water Resources Management of Shatt Al-Hilla Canal(Iraq) [21]

Purpose
- The use of SCADA to make decisions to instantaneous takes actions at an appropriate time through controlling, monitoring and giving a suitable warning for any undesirable cases - It was applied at Shatt al-Hila channel. (100km south of Baghdad city in Iraq)
Architecture
Techniques Involved in Operation
- Direct control of a gate/offtake - Position controller of a gate/offtake - Upstream/downstream water depth control - Offtake flow control

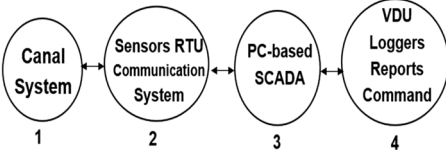
하천 수위 감시를 이용한 물관리시스템의 대표적인 해외 사례를 <Table 1>, <Table 2> 및 <Table 3>을 통해 간략히 소개하였다.

2.2 시스템 상의 요구사항 분석

SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)는 원격 감시제어시스템 또는 감시 제어 데이터수집시스템으로도 불리며 아키텍처는 제1세대 일체식(Monolithic), 제2세대 분

산형(Distributed) 및 제3세대 네트워크형(Net-worked) SCADA 시스템으로 크게 구분하기도 한다[13].

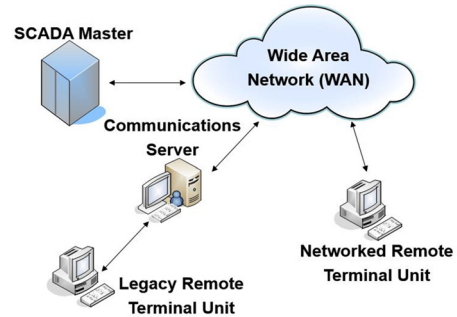
〈Table 3〉 Canal Water Management (India) [18]

Purpose
○ To deliver water at the scheduled place at the scheduled time ○ The operation of the delivery system with minimum loss ○ Through SCADA, this timely and efficient management of canal becomes easy and within control
Architecture

1. Data Acquisition Subsystem 2. Data Processing Subsystem 3. Software Subsystem 4. Man-Machine Interface Subsystem
Techniques Involved in Operation
○ Constant downstream depth ○ Constant upstream depth ○ Constant volume ○ Controlled volume

제3세대의 네트워크형 SCADA 시스템은 전체 시스템의 구성에서 특정 공급사의 독자적 기술에 의존하지 않는 개방형 구조(Open Architecture)를 추구하고, 표준화된 장비와 프로토콜을 활용함으로써, <Figure 3>과 같이 SCADA 기능을 LAN뿐만 아니라 WAN을 통해서도 분산시킬 수 있게 되었다는 특징이 있다. 개방형 표준의 활용은 제3의 공급사라도 쉽게 자신들의 시스템과 장비를 시스템 내에 참여

시킬 수 있게 하여 기존의 장비 공급사가 하드웨어와 소프트웨어 공급을 모두 주도하던 환경을 변화시킬 수 있다[13, 25].

이를 위해서 개방형 구조를 지니는 네트워크형 SCADA 시스템이 낙동강하굿둑 통합운영시스템의 기본 아키텍처로 선정되었으며, 따라서 하천수위감시시스템도 낙동강하굿둑 통합운영시스템의 일부분으로 직접 연계될 수 있는 개방형 구조이고 표준화된 장비와 프로토콜을 활용하여야 한다.



〈Figure 3〉 The 3rd Generation- Networked SCADA System [13, 25]

HMI는 공정의 감시, 제어 및 분석을 효율적으로 실행하고, 변화에 쉽게 대응할 수 있도록 설계 및 구현된 통합 소프트웨어로, 설비들과 연결된 PLC(Programmable Logic Controller), DCS(Distributed Control System), RTU 등의 컨트롤러와 이를 운영하는 사람 사이를 연계하는 역할을 한다. 본 사례에서는 적합한 HMI의 선정을 위해 ① 시스템 통합성, ② 표준지원 여부와 함께, 운영 편의성과 시스템 안정성을 포함한 ③ HMI 기능의 적정성이 주요 요소로 고려되었다.

본 사례에서는 다음 항목들이 HMI 기능의

적정성을 판단하는 주요 요구사항으로 검토되었다.

- SCADA 서버 간 프로세스 DB의 동기화
- 아날로그 데이터의 스케일링에 대한 사용자 조정 가능 여부
- 다양한 차트 툴의 지원 여부
- 사용자 유형별(관리자, 운영근무자, 손님) 계정관리의 지원
- DB 인터페이스의 이중화 지원
- 유역별 사업장의 통합운전을 위한 제어권한 설정
- 다양한 통신 드라이버를 제공하여 연계 가능한 컨트롤러의 종류 확대
- 편리한 보고서 생성 및 추세 파악 기능
- 자가진단, 통신망 감시 및 시간 동기화
- 경보시스템 및 운영정보의 알람 서비스

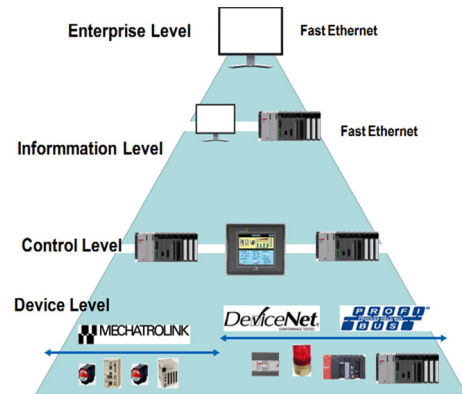
상기의 HMI 선정 조건들은 하굿둑 통합운영시스템의 HMI가 모두 만족하고 있어, 별도의 HMI는 도입하지 않고 이 HMI에 필요한 감시제어 화면과 기능을 구현한다.

SCADA 시스템에서 현장의 계측제어 기기들과 직접 연결되어서 신호를 입출력하고 제어로직을 수행하는 RCS에는 DCS, PLC, RTU 등이 있다.

하천수위감시시스템은 범용성을 갖춘 신축적인 구조로 개방성과 확장성이 우수해야 한다. 특히, 이기종간의 인터페이스와 엔지니어링 및 유지보수성이 높아야 하며, 최소의 비용으로 향후의 업그레이드가 가능할 수 있어야 한다. 이러한 요소들을 고려하여, 본 연구의 하천수위감시시스템은 최종적으로 PLC+HMI 시스템으로 구성되었다.

<Figure 4>는 일반적인 산업자동화에 적용

되고 있는 네트워크 계층이다. 상위레벨은 대용량 정보 교환이 필요하여 이더넷(Ethernet)이 일반화되어 있고, 하위레벨(계측제어 장치와 컨트롤러 등)은 장비 제조업체들의 주도로 만들어진 네트워크가 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근에는 산업자동화시스템이 정보시스템과 연계되고, 광역에서 다수의 사업장과 통합운영체계를 이루어가는 등 계층 간의 정보 전달이 중요해지고 있다. 이러한 요구로 산업용 이더넷이 하위레벨까지 확대 이용되는 추세이다[9].



<Figure 4> Industrial Network Hierarchy [9]

본 사례에서도 이러한 경향에 맞추어 Control Level ~ Information Level 간의 통신망은 산업용 이더넷을 적용하였다. 또한 산업자동화시스템의 네트워크는 신뢰성(무고장성)과 데이터 실시간성, 경제성이 중요하다. 유지보수와 계층 및 지역간 연계의 편리성도 역시 함께 고려해야 한다[12].

2.3 하천수위감시를 위한 PLC 활용

PLC는 Relay Sequence를 대체하는 용도에 서부터 시작되어 이진논리 외에도 시간, 비례,

미분, 적분 제어 등의 연속제어와 네트워크 기능을 갖춘 형태로까지 진화하여 프로세스 기반 산업의 전반에서 널리 활용되고 있다[4]. 원격계측기(Remote Telemetry Unit)로도 불리는 RTU는 유무선 통신망을 이용한 광역의 원격 계측에 적합한 구조를 지니고 있지만, 일반적으로 제어 알고리즘이나 제어 루프(loop) 기능을 가지고 있지 않다[2, 4].

RTU와 비교하여 PLC는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 1) 경제성: 고객 맞춤형 제어시스템으로 특정 용도로 주문 제작되는 컨트롤러나 RTU 및 릴레이 고정 배선 방식에 비해 대량 생산되는 PLC가 비용 면에서 저렴하다.
- 2) 다기능성과 유연성: 변경요구에 따라 PLC는 쉽게 제어 로직과 하드웨어 구성을 변경할 수 있으며, 표준화된 소프트웨어를 통해 유지관리가 용이하다. 하드웨어가 모듈화 되어 있어서, CPU, I/O 및 통신 모듈의 확장, 변경, 보수가 편리하다.
- 3) 구현 용이성과 정교한 제어: PLC는 소프트웨어에 중점을 두고 있어서 SCADA 시스템의 설계와 구현을 보다 쉽게 만들며, 소프트웨어 능력을 활용하여 RTU에 비해 정교한 제어가 가능하다.
- 4) 향상된 신뢰성: 비교적 단기간에 제조된 RTU나 전통적인 시퀀스 제어 회로에 비해 올바르게 구현된 PLC가 더 높은 신뢰성을 보여 준다.
- 5) 물리적인 공간: PLC는 다른 솔루션보다 적은 공간을 차지한다.
- 6) 편리한 고장 진단과 수리: PLC는 프로세스와 자동화시스템에서 발생한 문제에

대한 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어에 대한 쉽고 신속한 진단이 가능하도록 관련 소프트웨어와 보고서 등이 제공된다[2, 20].

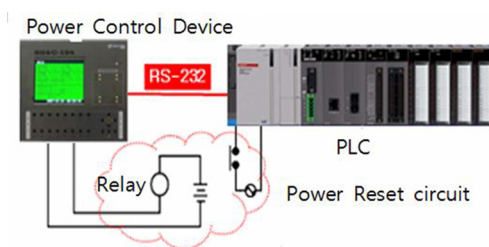
이 외에도 PLC가 IEC 61131-1 표준기반의 일반적인 프로그래밍 툴을 이용하는 반면, RTU는 제조사의 전용 프로그래밍 툴을 사용한다.

TM/TC(Telemetry/Telecontrol, 원격감시 제어)설비는 수위 계측설비로부터 신호를 받아 처리한 다음, 데이터 저장장치와 중앙조정실 감시용 컴퓨터로 전송하는 역할을 한다. 또한 정전여부, 통신상태, 설비동작에 따른 경보 신호를 SCADA Server로 전송한다. 기존의 하천수위감시시스템은 하천의 수위를 원격 전송하기 위해 별도 제작된 RTU로 구성되어서 수위관측국에서의 사용은 편리하였으나, 하드웨어와 소프트웨어가 표준화되어 있지 않아 확장 및 변경이 어렵고, 특정 제조사에 대한 의존도가 높아 장기적인 유지관리에 문제가 발생할 수 있었다. 향후 시스템 확장과 외부 시스템과의 통합을 고려할 때, 하천수위감시시스템에서 사용되는 TM/TC설비가 범용성과 안정성을 갖추면서도 유지보수성이 높은 장비로 대체될 필요가 있었다. 이러한 요구로 인하여 기존의 RTU 기반 구성을 PLC를 중심으로 한 구성으로 대체하게 되었다. 특히 PLC는 제품이 범용화 되어서 유지보수 업체가 많아 제조사 종속성을 낮출 수 있었고, 고장시 교체 및 대체품의 구매가 용이하여 신속한 조치가 가능하다는 장점이 있다.

그러나 PLC만으로는 수위관측에서 요구하는 특정 기능을 구현하기 어려운 점이 있었는데, 대표적으로 현장에서 일정 기간의 수위자료를 저장해야하는 요구사항은 별도의 장치를 구성

하여 보완해야 했다. 데이터의 현장 저장 및 원격 전원제어 장치는 통신회선의 이상 등으로 데이터가 중앙조정실로 전송되지 못하는 경우를 대비하여, 현장의 분 단위 수위관측 데이터를 일정 기간(1년 이상) 저장할 수 있도록 구성되었다. 뿐만 아니라 원격에서도 전원 제어를 할 수 있게 하여, 수위관측국에서 시스템 지연 대기(System Holding)와 같은 경고가 발생할 경우 현장까지 가지 않고도 Reset할 수 있도록 하였다.

<Figure 5>와 같이 데이터 현장 저장 및 원격 전원제어 장치는 시리얼통신 진단 장치로 패킷 모니터링과 프로토콜 테스트를 수행하여 통신 장애를 진단한다. 통신 이상이 검출되면, 장치 내부의 I/O 점점 출력을 이용해 DTE(Data Terminal Equipment)와 DCE(Data Communications Equipment) 각 장치의 전원을 개별적으로 Reset할 수 있다. 또한 중앙의 시스템 운영자에 의해 개별 장비의 원격 Reset도 가능하다.



<Figure 5> Diagram of Remote Power Control

2.4 공중망을 이용한 감시용 통신망 구성

수위관측국과 멀리 떨어져 있는 중앙조정실에서 데이터를 수집하여 감시 및 가공하기 위해서는 통신망 구축이 필요하다. 통신망 구축 방안

으로는 전용회선(Leased Tel Line, 9.6kbps), ADSL(FTTH: Fiber To The Home, Public Tel Line), CDMA 무선망(Cellular, M2M) 등이 있다. 전용회선은 품질이 안정적이고 보안성이 높지만 거리에 따라 요금이 증가하고, 시외구간의 비싼 요금을 부담해야 한다. 반면, ADSL(FTTH)은 거리와 무관하며 비교적 저렴한 요금이 장점이지만, 공중망의 특성상 보안성이 낮다[5]. 새로운 하천수위감시시스템에서는 경제성이 높은 ADSL(FTTH)을 이용하되, 보안성을 높이기 위하여 각 관측국과 중앙조정실에 VPN(Virtual Private Network) 장비를 설치하였다.

VPN은 인터넷과 같은 공중망을 사용하여 전용망과 같은 효과를 볼 수 있도록 구현한 가상사설망을 의미하는데, VPN에서는 두 노드 사이에 모든 데이터가 암호화되어 전송되는 가상의 경로를 만드는데, 이를 통해 평문 통신을 보호하고, 잠재적인 공격자가 해당 서비스를 발견할 가능성에 대비하여 특정 IP(또는 대역)만 접근을 허가하는 접근제어 기능을 갖추고 있다. 또한 각 사이트에 설치된 VPN 장치는 전송계층에서 응용계층간 패킷의 유해 트래픽, 규격에서 벗어난 프로토콜, DDos(Distributed Denial of Service) 공격, 트래픽의 이상 폭주 등을 탐지하고 차단한다. VPN은 보안정책을 기초로 사전에 정의된 규칙에 따라 내부 및 외부 네트워크 사이의 트래픽을 제어한다. 세부기능으로는 패킷 필터링, 주소변환, 게이트웨이(Gateway), IPsec의 이용 및 침입방지(Deep Packet Inspection) 등이 있다[6, 7, 11, 19].

통신망의 이중화를 위해서 CDMA 무선망(M2M)을 구성하여 보조적으로 운용할 수 있도록 하였다. 이는 홍수기 기상 악화로 하천의 수위가 급격하게 상승하거나 다른 사유로 관

측국 주변의 통신망이 손상을 입을 경우를 대비하여, 유선과 무선망으로 이중화한 것이다.

게이트웨이는 중앙조정실에 설치되어 SCADA 서버와 각 관측국 설비 간의 통신을 제어하고, 프로토콜을 변환하여 데이터를 수집하고 제어 명령을 전달하는 장치이다. 기본망인 ADSL (FTTH)의 상태를 체크하여, 이상 시에는 보조망인 CDMA망으로 절체하게 된다. CDMA 무선망(M2M)과 통신할 경우에는 호출 순위와 주기, 통신상태, 프로토콜 변환 등의 기능을 수행한다[20].

3. 하천수위감시시스템 구축

새로이 구축된 하천수위감시시스템의 전체 구성은 <Figure 6>과 같다. 삼랑진, 구포 수위 관측국과 대동수문에 설치된 PLC는 하굿둑의 SCADA 서버와 양방향 통신으로 수위 데이터를 전송하고 또한 명령을 받아 실행하는 장치로서, 현장으로부터 수집한 데이터를 입력하여 처리하고 SCADA 서버의 제어신호를 현장설비로

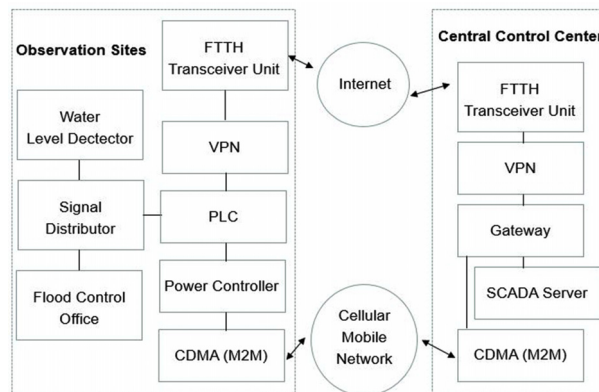
출력한다. 각 현장의 PLC는 통신망(ADSL 유선망 또는 CDMA 무선망)을 통해 하굿둑의 중앙 조정실에 있는 게이트웨이를 거쳐 SCADA 서버와 통신한다.



<Figure 7> TM/TC of Water Level Observation Station

<Figure 7>은 수위관측국에 설치된 설비의 사진이다. 좌측 상단은 PLC이고 우측 상단은 현장에서 수위데이터 등을 볼 수 있도록 설치된 소규모 패널이다. 하단에는 전원 제어장치와 릴레이 회로가 위치해 있다.

PLC는 CPU 모듈, 통신모듈(Ethernet, RS-232),



<Figure 6> Diagram of New River Water Level Monitoring System

입력(아날로그 및 디지털)모듈, 전원모듈로 구성되어있다. 입력모듈을 통하여 BCD(Binary-Coded Decimal), 전류 및 접점 등의 각종 신호를 입력받을 수 있으며, Ethernet 모듈과 FTTH 모듈이 연결되어 중앙조정실의 게이트웨이와 통신할 수 있다. C-net 모듈과 전원제어기가 시리얼 통신을 하고, 전원제어기와 CDMA 단말기가 중앙조정실의 게이트웨이와 통신한다. 게이트웨이와 연결된 SCADA 서버는 현장의 데이터를 수집·처리하고, 주통신망의 상태를 항시 점검하여 이상이 발생할 경우 보조망으로 절체한다. 현장의 PLC에 이상이 발생하면, 원격 Reset 제어를 CDMA 통신으로 전송하여 전원제어기가 Reset을 시킬 수 있게 구성되어있다.



〈Figure 8〉 HMI Monitoring Screen
(Gupo and Samrangjin Site)

〈Figure 8〉은 구포와 삼랑진 수위관측국의 수위와 전원, 통신망 상태, PLC 동작 상태, CDMA 호출 간격 및 동작 상태를 감시 또는 설정할 수 있는 하국측 SCADA 서버의 HMI 화면이다. 대동수문은 내, 외, 통선 수위와 주수문 동작 상태를 별도의 화면으로 감시할 수 있다. 또한 3개의 관측국에 대한 원격 전원 Reset 동작을 실행할 수 있다. 수위 변화 경향을 감시하고,

High High, High, Low, Low Low 등 상황에 따른 경보를 설정하여 중앙조정실의 근무자에게 발령할 수 있으며, 중요한 사항에 대해서는 단문문자를 관련되는 사람들에게 전송할 수 있다[12].

4. 신규 시스템의 개선 효과

기존 및 신규 하천수위감시시스템의 특성을 <Table 4>와 같이 비교하였다.

이전의 하천수위감시시스템은 전체 SCADA 시스템과 별도의 시스템이었으나, 변경된 신규 시스템은 현장의 TM/TC들이 SCADA 서버와 직접 연결됨으로써 전체 프로세스의 일부로 보다 유기적인 운영이 가능하게 되었다. 통합에 있어 복잡한 요소가 많고 엔지니어링에 어려움이 많으면 전체 시스템에 부정적인 영향을 미친다. 반면 일반적으로 잘 증명된 하드웨어와 소프트웨어를 이용한 설계는 시스템의 실패 위험을 크게 감소시키며, 특히 모듈방식은 시스템의 부분 요소에 이상이 발생 시 신속한 대응에 효과적이다[5]. 변경된 시스템은 이전의 시스템보다 범용성과 확장성이 높고 모듈화된 PLC를 활용하여, 전체 시스템의 위험요소를 낮추고 안정성을 향상시켰다. 또한 RTU에 비하여 설비의 하드웨어 및 소프트웨어 유지관리 측면에서 제작사에 대한 의존도를 현저하게 낮출 수 있었다.

DiNanno 등의 연구에 의하면 SCADA 시스템 구축과 운영의 리스크 수준에 영향을 미치는 4가지 주요 요인을 하드웨어 성숙도, 소프트웨어와 펌웨어 성숙도, 통합의 복잡성, 요소들의 통합에 대한 경험으로 제시하였다. <Table 5>는 이 4가지 주요 요소와 리스크 수준을 나타내

〈Table 4〉 A Comparison Table between Old and New System

classification		Old System	New System
TM/TC		RTU	PLC
		H/W one board	H/W modular design
		custom-order production	general purpose production
		Limited in certain applications	Multifunctional and flexible
		lower reliability	Higher reliability
		Control function: No	Control function: Yes
		non-standardized S/W tool	standardized S/W tool
Wide Area Network		ADSL only	Main: ADSL Secondary: CDMA (automatic switching)
Security		Unstable (ADSL) (Web server-Using external hosting company)	Strengthened security over VPN
Status of device, comm.		Remote acquisition: No	Remote acquisition: Yes (real time)
Minor failures		Dispatch personnel to the sites	Remote Reset
Localdata	logging	RTU	Power control device
	backup	Notebook + RS-232C cable	SD memory
SCADA Interface		Separated systems (communicate through serial comm between SCADA server)	Linked directly
Maintenance		Highly dependent on vendor	Lower dependency on vendor

고 있다[5].

이전의 시스템은 하드웨어, 소프트웨어는 제작사 의존도가 높고 통합이 복잡하며 엔지니어링이 어려웠다. 그러므로 <Table 5>의 기준으로 보면 리스크 수준이 매우 높음(Very High)이라고 할 수 있다. 개선된 시스템은 하드웨어와 소프트웨어가 범용화, 모듈화되어 있고 통합도 단순하며 엔지니어링도 쉬운 편이어서 리스크 수준이 낮음(Low)에 해당한다. 그러므로 시스템 개선의 정성적인 효과로 리스크 수준이 매우 높음(Very High)에서 낮음(Low)으로 크게 개선되었다고 할 수 있다.

하굿둑은 평·갈수기에는 상류로 염분이 침투하는 것을 차단하고 안정적인 용수 공급을

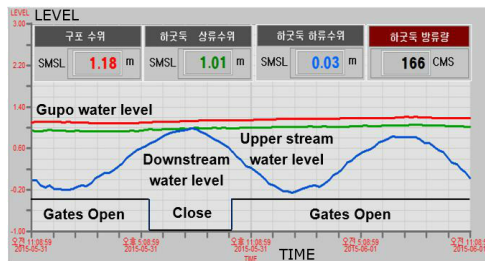
위해 상류 수위를 EL 0.76m±0.25m 범위에서 일정하게 유지한다. 태풍 등으로 홍수가 낙동강에 유입될 경우에는 전 수문을 완전 개방하여 홍수를 배제한다. 하굿둑은 상류는 강이며 하류는 바다이기 때문에 하류의 수위는 조위(潮位)이므로 <Figure 9> 와 같이 1일 2번의 간조와 만조가 있는 정현과 곡선의 형태를 나타낸다. 그러므로 방류 가능 시각은 상·하류 수위차가 0.20m 이상이 되기 시작하는 시점이며 종료 시각은 상·하류 수위차가 0.20m 이내로 들어오기 시작하는 시점이다. 이러한 강과 바다의 상이한 특성에 대응하여 효율적으로 낙동강 하굿둑 수문을 운영하고 홍수기에 급변하는 하천변화에 신속하게 대응하기 위해

〈Table 5〉 The Matrix Showing the Risk Associated with Major 4 Factors of Concern [5]

Risk factor	Hardware	Software	Integration Complexity	Engineering Experience
Low	Existing/Proven	Existing/Proven	Simple design	High Experience
Moderate	Existing/Proven	Existing/Proven	Simple design	Moderate Experience
Moderate	Existing/Proven	Existing/Proven	Moderate Complexity	High Experience
Medium	Existing/Proven	Existing/Proven	Moderate Complexity	Little Experience
Medium	Existing/Proven	New Software	Moderate Complexity	High Experience
Medium	New technology	Existing/Proven	Significant Complexity	Moderate Experience
High	Existing/Proven	Existing/Proven	Significant Complexity	Little Experience
High	Existing/Proven	New Software	Significant Complexity	Little Experience
High	New technology	New Software	Significant Complexity	Moderate Experience
Very High	Existing/Proven	New Software	Very Complex	Little Experience
Very High	New technology	New Software	Very Complex	Moderate Experience

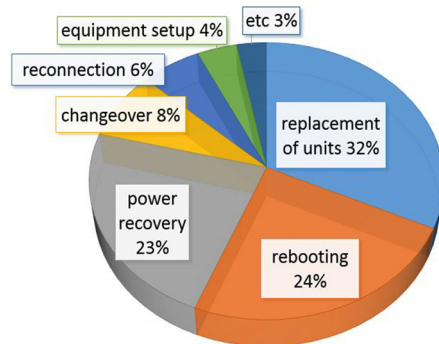
상류 지역의 수위와 유하량 변화에 대한 안정적인 실시간 감시시스템의 운영은 매우 중요하다[12, 15].

경우를 전체 조치건의 약 1/4정도로 추정할 수 있다[17].



〈Figure 9〉 Barrage's Water Gates Operation According to Water Level

〈Figure 10〉은 2007년도 K 통신사에서 발생한 통신시스템의 2,000여 건의 장애에 대한 조치유형을 분석한 결과이다. 조치유형 중 가장 많은 경우가 유니트 교체로 32%를 차지하고 그 다음이 리부팅으로 24%이며 세번째로 전원복구가 23%이다. 이 결과로 통신시스템에서 리부팅으로 경미한 장애를 조치할 수 있는



〈Figure 10〉 Troubleshooting Analysis of a K Company's Communication Systems [17]

무엇보다도 수위관측국에서 경미한 고장이 발생할 경우 현장까지 가지 않고, 원격에서 전원을 제어하여 Reset할 수 있도록 하여 원격지 출동 횟수를 대폭 감소시키고, 신속한 조치 또한 가능하게 되었다.

장비와 통신 상태를 실시간 점검하여 이상 발생 시 알람을 발생하여 중앙조정실의 근무자에게 알려주고, 단문문자를 담당자에게 전송하는 등 운영관리의 편의성 또한 제고하였다.

〈Table 6〉 A Communication Fee Comparative Table

Classification	ADSL	Dedicated line 9.6kbps	Note (₩/Month)
Samrangjin	25,500	434,200	~100km
Gupo	25,500	195,000	~30km
Total	51,000	629,200	578,200

이러한 시스템 개선을 통한 효율성 향상으로 정규 근무시간 중에 발생하는 시간 절감을 생산활동의 증대로 해석하여 효과를 계량화하였다. 절감시간은 시스템 기획 전문가 의견(시스템 기능 개선시 5~10% 절감)중 5%를 반영하여 월 평균 근로시간 160시간 중 8시간을 적용하고 시간당 급여액은 1인당월 평균 급여액 542만 원을 기준으로 계산하였다. 그 결과 연간 시간 절감 편익은 5,200만 원으로 추정된다.

- 연간 시간 절감 편익 = 시간당 임금(1인당 월평균 급여액/근로시간)×월간 절감시간× 해당 업무 직접관련 인원×12개월 = 33,875원 ×8시간×16명(운영 5명, 유지보수 3명, 오퍼레이터 8명)×12개월 = 5,200만 원[14]

공중통신망인 ADSL(FTTH)과 CDMA 무선망(M2M)을 이용하여 〈Table 6〉에 비교한 것과 같이 전용회선에 비하여 연간 약 7백만 원의 통신요금 절감 효과가 있다. 주 통신망의 상태를 주기적으로 점검하여 이상 발생시 보조통신망으로 자동 절체되게 함으로써 데이터 결

측요인을 줄일 수 있었다. 특히 공중망을 이용하는 구간에 VPN을 설치하여 전용회선과 같은 높은 보안성을 유지할 수 있게 되었다.

본 연구 사례에서 활용된 PLC와 유사한 기능을 하는 수위 원격측정용 RTU의 가격을 〈Table 7〉에 비교·정리하였다. PLC의 가격은 물가자료(2015년 9월호, p.1181, 한국물가협회)를 참조하였고, RTU의 가격은 종합물가정보(2015년 3월호, p.640, 한국물가정보)를 참조하였다. 이 결과에 따르면, PLC를 이용하는 것이 RTU에 비하여 개소당 945만 원의 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

〈Table 7〉 Comparison of Devices Price (Prices are in 1,000 won unit)

RTU	PLC(modular design)		
Remote TM Unit (1board) -model: JTM-240	Module	Model	Price
	CPU	XGI-CPUE	377
	Power	XGP-ACF2	155
	Plate	XGB-M06A	208
	Analog	XGF-ACBA	783
	Digit	XGI-D22A	123
	RS232	XGL-C22A	405
Price	Ethernet	XGL-EFMT	845
	Display	XP10BKB	214
12,560		Total	3,110

5. 결 론

하굿둑의 효과적인 수문운영은 낙동강 하류 지역의 생·공업 및 농업용수에 대한 염수 피해를 방지하고, 상류 수위 조정을 통한 제방 안정성

및 홍수량 증가에 따른 치수 안전의 확보를 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 수문운영에 관한 보다 신속하고 정확한 의사결정을 지원하기 위하여, 기존의 하천수위관측시스템을 개선한 사례를 다루었다. 하굿둑 운영에 직접 영향을 미치는 삼랑진, 구포 지점과 대동 수문에 PLC와 공중통신망 이용하여 하굿둑 SCADA 시스템에 연계하였다. 기존 시스템보다 경제적이면서도 안정성, 범용성 및 확장성을 향상시켜, 전체 시스템의 위험요소를 효과적으로 저감할 수 있었다.

개선된 시스템은 유지관리의 용이성, 보안성 및 경제성 등을 고려한 개방적인 구조를 지녀서, 향후 유역단위의 통합물관리 체계인 IWRM(Integrated Water Resources management) 실현을 위해, 하천 관측국에 설치된 다양한 시스템과 결합되는 경우에도 하부 설비로서 인터페이스에 별다른 문제가 없다는 장점이 있다. 향후 SCADA 시스템과의 통합과 관련된 유사한 문제들을 고민하는 기업과 기관에게 본 연구의 하천수위관리시스템 사례가 하나의 참조 모델이 될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Abawajy, J. and Robles, R. J., "Secured Communication scheme for SCADA in Smart Grid Environment," *Journal of Security Engineering*, Vol. 7, No. 6, 2010.
- [2] Bailer, D. and Wright, E., "Practical SCADA for industry," Burlington: Newnes, 2003.
- [3] Barbosa, R. R. R. and Pras, A., "Intrusion Detection in SCADA Networks," *International Federation for Information Processing*, pp. 163-166, 2010.
- [4] Belekar, S. B., Desai, A. A., and Dakre, A., "PLC SCADA based Distribution Monitoring & Control," *Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 1, , No. 1, pp. 105-110, 2014.
- [5] DiNanno, J. M. and Changy, D., "Selecting the right RTU and SCADA System," *Whitmor/Technotrade*, Sept, 2005.
- [6] Geoke, D. and Nguyen, H., "SCADA System Security," *ECE 478-Network Security*, Oregon State University, March, 2005.
- [7] Graham, J. H. and Patel, S. C., "Security considerations in SCADA communication Protocols," *Intelligent System Research Laboratory Tecchnical Report*, University of Louisville, September, 2004.
- [8] Hentea, M., "Improving Security for SCADA Control systems," *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, Vol. 3, 2008.
- [9] Hong, S. J., "Industrial network technologies and applications," *C&I*, special Issue, May, 2010.
- [10] Jung, S. B. and Yang, S. I., "A study on effective management method of the flood forecast system using PDA," *Journal of Korea Information Processing Society*, Vol. 17-A, No. 4, October, 2010.
- [11] Kang, D. J. and Robles, R. J., "Compartmentalization of Protocols in SCADA

- Communication,” International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 8, pp. 27-36, 2009.
- [12] Kim, S. J., Lim, T. S., and Kim, M. S., “A case study on implementation of Integrated Operation System of the Nakdong River Estuary Barrage due to the barrage gate extension,” Journal of Society for e-Business studies, Vol. 20, No. 1, 2015.
- [13] Know all about SCADA Systems Architecture and Types with Applications, Tarun Agarwal, <http://www.edgefxkits.com/blog/scada-system-architecture-types-applications/>.
- [14] Korea Water Resources Corporation, “Analytic research about the effect of water operation system(Water-K) application,” 2010.
- [15] Korea Water Resources Corporation, “Nakdong River Estuary Barrage operation & management manual,” December, 2008.
- [16] Korea Water Resources Corporation, “Water Resource & Environment Basic Research Work Standard,” 2010.
- [17] KT, “Report for Troubleshooting about Communication system in KT,” 2007.
- [18] Kumar, B., Pantnaik, M., and Kumar, R, “Canal Water Management Through Computerised Supervisory Control and Data Acquisition System,” 16th National Convention of Computer Engineers held at Patna on December 15-16, 2001.
- [19] Laboratory of system, Security certification team, “Security Objectives Statements,” Oullim Information Technology, October, 2009.
- [20] Ldachaba, F. E., “Review of Remote Terminal Unit(RTU) and Gateways for Digital Oilfield developments,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 3, No. 8, pp. 157-160, 2012.
- [21] Najm, O. S., Alkhaddar, A. R. M., and Hadi, H. A., “The use of SCADA system in water resources management, management of Shatt Al-Hilla in Iraq as a case study,” International Journal of Environmental Monitoring and Analysis, October 30, 2013.
- [22] Rijo, M., Lanhoso, A., and Nunes, M., “Design and implementation of an irrigation canal SCADA,” ICAAM, 2005.
- [23] Robles, R. J., Choi, M. K., Kim, S. S., Park, G. C., and Yeo, S. S., “Vulnerabilities in SCADA and Critical Infrastructure Systems,” International Journal of Future Generation Communication and Networking, Vol. 1, No. 1, pp. 99-104, December, 2008.
- [24] Stoian, I., Capatina, D., Ignat, S., and Ghiran, O., “Security and Intrusion Detection on Critical SCADA systems for Water Management,” IEEE, 978-1-4799-3732-5/14, 2014.
- [25] Three generations of SCADA system architectures, Edvard Csanyi, <http://electrical-engineering-portal.com/three-generations-of-scada-system-architectures>.

저 자 소 개



김석주

1991년

2009년

2015년

1992년~현재

관심분야

(E-mail: ksjid@kwater.or.kr)

부산대학교 공과대학 전자공학과 (학사)

아주대학교 경영대학원 (석사)(e-Business MBA)

부경대학교 대학원 기술경영 (박사 수료)

한국수자원공사 재직 중

수자원 정보통신, 계측제어, 기술사업화



김민수

1996년

2002년

2004년~현재

관심분야

(E-mail: minsky@pknu.ac.kr)

서울대학교 산업공학과 (공학석사)

서울대학교 산업공학과 (공학박사)

부경대학교 시스템경영공학부 부교수

BPM, 기술경영, Big Data 등