

TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템 구축

Building IEC 61850 SCADA system based on TETRA

Byung-Kwen Song*, Taeui Jeong**
 송 병 권*, 정 태 의**

Abstract

TETRA(TERrestrial Trunked RAdio) is the wireless communication system generally adopted to public network and backbone network, as the technology of Trunked Radio System specified by ETSI(European Telecommunications Standards Institute) and currently adopted to the Electric Power IT Backbone Network in Korea. IEC 61850 is the protocol proposed for SAS(Substation Automation System) of SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) system.

In this paper, IEC 61850 Server and Client simulator are used based on Linux operating system. The multi-functional gateway, which transforms the communication based on TCP/IP between IEC 61850 Server Simulator and Client Simulator to the one based on TETRA Packet Data Service, is developed such that IEC 61850 SCADA system is constructed based on TETRA.

요 약

TETRA(TERrestrial Trunked RAdio)는 국내 전력IT무선기간망에 적용된 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)가 정한 디지털 주파수공용통신(TRS, Trunked Radio System) 기술로서 공중망 및 기간망에 적용되고 있는 무선통신시스템이다. IEC 61850은 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템에서 SAS(Substation Automation System)를 위해 제안된 프로토콜이다.

본 논문에서는 리눅스 운영체제 기반의 IEC 61850 Server와 Client Simulator를 사용하였다. 또한 IEC 61850 Server Simulator와 Client Simulator 간의 TCP/IP 기반의 통신을 TETRA Packet Data Service 기반의 통신으로 변환하는 다기능 게이트웨이를 개발하여 TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템을 구축하였다.

Key words : SCADA, IEC 61850, TETRA, Digital TRS

1. 서론

경제발전과 더불어 산업 전 분야에서 신속하고 정확한 정보전달이 요구되었으며 이를 충족시키기 위해 무선통신분야에서 다양한 서비스가 보급되었다. 보급된 서비스 중 교환중계망에서 사용되고 있는 TRUNK 라는 개념을 무선통신방식에 도입하였다. 이는 한정된 주파수를 다수의 이용자가 공유하도록 한 주파수공용통신이다.

* 서경대학교 정보통신공학과

** 교신저자(Corresponding author)

서경대학교 컴퓨터공학과

接受日:2009年 8月 28日, 修正完了日: 2009年 9月 29日

TETRA는 현재 한전KDN(주)의 국내 전력 IT 무선 기간망에 적용되었다. TETRA를 적용한 무선 솔루션 기반의 전력자동화, 원격감시, 송전, 배전 등에 걸쳐 어플리케이션 시스템을 구축하여 서비스한다[1].

SCADA 시스템은 통신 경로상의 아날로그 또는 디지털 신호를 이용하여 원격장치의 상태 정보 데이터를 RTU(Remote Terminal Unit)로 수집하고 이를 저장, 표시하며, 이를 바탕으로 중앙 제어 시스템에서 원격 장치를 감시 제어하는 시스템이다. SCADA 시스템의 대표적인 통신 프로토콜은 DNP(Distributed Network Protocol)3.0[2][3][4], IEC 61850[5-18][19], DLMS(Device Language Message Specification)[20] 등이 있다.

본 논문에서는 TETRA의 소개와 SAS를 위해 제안된 프로토콜인 IEC 61850의 표준분석, IEC 61850 Server Simulator와 Client Simulator간의 TCP/IP 기반 통신을 TETRA Packet Data Service 기반의 통신으로 변환하는 다기능 게이트웨이를 개발하여 TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템을 구축하였다.

II. 본론

1. TETRA

가. TETRA PEI(Peripheral Equipment Interface)

TETRA PEI는 Data Terminal과 TE(Terminal Equipment)를 연결하는 인터페이스를 말한다. 이를테면 PC(Personal Computer) 또는 Special Data Terminal 과 Tetra Mobile Station 이나 MT(Mobile Terminal)의 연결 인터페이스를 제공한다[21]. TETRA PEI는 그림 1 에서와 같이 AT Command, TNPI(Tetra Network Protocol type 1), Packet 그리고 Cct(Circuit) Mode를 지원한다. TETRA PEI의 Physical Layer는 ITU-T Recommendation V.24와 V.28 타입의 시리얼 인터페이스를 사용한다.

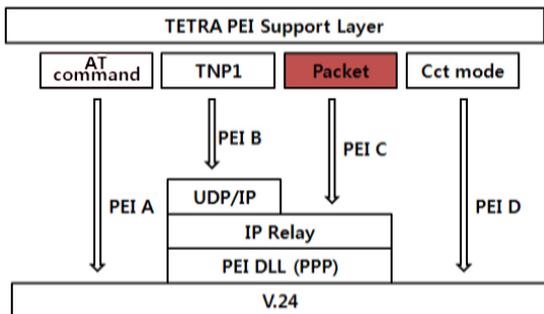


그림 1 TETRA PEI 지원 Layer

본 논문에서는 한전 KDN(주)의 국내 전력 IT 무선 기간망에 접속하기 위해 PEI C 방식인 Packet Data Service 을 이용한 UDP/IP 통신을 사용한다.

2. IEC 61850

가. IEC 61850 표준의 특징

일반적으로 요구하는 IED의 기능과 제어 수준은 고정적이지 않으며, 상황에 따라 변화가 있을 수 있다. 따라서 IED에 대한 기능이 분산 처리되면서 상호 운용성이 제공되어야 한다. IEC 61850 에서는 이를

지원하기 위한 분산 기능과 STATION, BAY, PROCESS의 3가지 레벨의 할당을 지원한다.

그림 2는 IEC 61850 표준이 제시하고 있는 응용에서부터 통신 프로토콜까지의 모든 것을 보여준다. ACSI(Abstract Communication Service Interface)서 정의된 정보 모델과 서비스 모델은 실제 변전소를 모델로 하여 가상화된 것이다. 이러한 ACSI는 실제적인 통신을 할 수 없다. 반면 SCSM(Specific Communication Service Mapping)은 가상적인 모델을 실제 통신 프로토콜로 매핑 한다. 하나의 추상화된 정의가 있으면, 이를 여러 통신 프로토콜로 매핑 시켜 주는 방법만을 정의함으로써 여러 통신 프로토콜을 이용할 수 있게 되는 것이다. 즉, 새로운 통신 프로토콜에 대해서는 해당 통신 프로토콜로 ACSI를 매핑 시킬 메커니즘의 정의가 추가한다면, 추가적인 노력과 비용 없이 기존의 표준에 해당 통신 프로토콜을 추가할 수 있다.

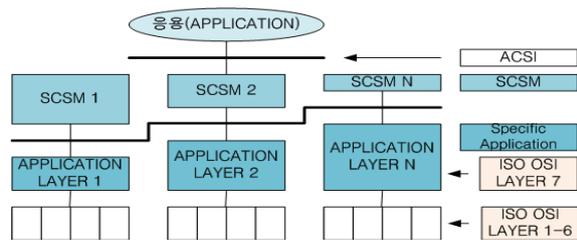


그림 2 SCSM을 통한 ACSI의 실제 통신 프로토콜

IEC 61850 표준에서는 메시지의 전송 시간에 따른 7가지 타입의 메시지를 정의하고 있다. 다음 표 1은 7가지 타입의 메시지에 대한 내용이다.

표 1 7가지 타입의 메시지

| Type | 전송시간 | 비고 |
|------|--------------|---|
| 1 | A | 10ms~3ms 이하 trip |
| | B | 100ms~20ms 이하 Fast Message |
| 2 | 100ms 이하 | State 정보 |
| 3 | 500ms 이하 | |
| 4 | 10ms~3ms 이하 | Raw message |
| 5 | 제한 없음 | File transfer |
| 6 | 1ms~0.1μs 이하 | Time synchro |
| 7 | 500ms 이하 | c o m m a n d message with security |

각 메시지 타입은 전송 시간에 민감하기 때문에, 네트워크 레벨에서 이러한 메시지의 송·수신시에 발생하는 encoding/decoding에 대한 최적화도 고려되어야 한다. IEC 61850 표준에서 전송 시간을 주요하게 고려하여, 각 메시지에 대한 통신 프로토콜 스택을 제시하였다. 4가지의 제시된 통신 프로토콜 스택을 그림 3에서 보여준다. ACSI의 대부분의 서비스들은 MMS로 매핑되며, 빠른 전송 시간을 요구하는 샘플 값의 전송이나 변전소의 이벤트에 관한 메시지의 전송에 관련된 SV(Sampled Value)와 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)는 ISO/IEC 8802-3 Ethertype으로 매핑 된다. 시간 동기화와 관련된 매핑은 기존의 SNTP(Simple Network Time Protocol)을 사용하고, 일반적인 변전소의 상태 이벤트에 관련된 GSSE(Generic Substation Status Event) 메시지는 OSI T-Profile을 통해 매핑 된다. 본 논문에서 IEC 61850 Client Simulator와 Server Simulator는 MMS로 매핑 된다.

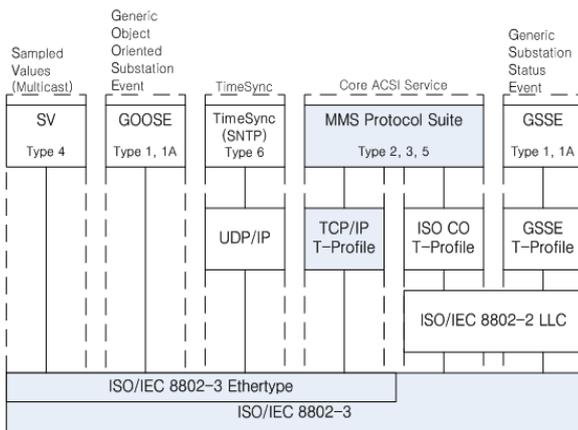


그림 3 SCSM Mapping

IEC 61850은 일반 시스템 측면의 특징을 가지고 있다. 이를 위해 공학적인 도구(Tool)와 변수(Parameter)들이 정의되어 있다. 공학적인 도구는 최소한의 정보 교환과 구성 매개변수를 이용하여 일관성의 위반을 감지 및 예방할 수 있도록 SAS의 장치들을 통합하고, 응용에서 요구하는 기능을 문서화한다. 이러한 공학 도구에는 프로젝트 설계 도구, 매개변수 및 설정도구, 문서화 도구가 있다. 특히 장치에 대한 기술과 시스템 변수들을 호환성이 없는 IEC 도구 사이에서 교환할 수 있도록 하는 SCL(Substation Configuration Language)이 IEC 61850-6[10]에 정의되어 있다. SCL은 XML을 기반으로 하여 하나의 IEC를 정의하는데 필요한 시스템 변수들을 정의하고

있는데, 여기에는 IED의 바인딩 정보, 서브스테이션 자신의 기능들이 포함된다.

나. SAS의 기능

SAS의 기능은 변전소에서 수행되어야 할 작업들을 의미한다. 변전소의 장비나 주변 장비들을 제어하고, 감시하고, 보호하는 기능이다. 추가로, 시스템의 구성, 통신관리 그리고 소프트웨어 관리를 유지할 필요가 있는 기능도 존재한다.

SAS의 기능들은 STATION, BAY, PROCESS 레벨에 논리적으로 할당된다. 1에서 10까지의 논리적인 인터페이스와 함께 그림 4에서는 각 레벨에서의 논리적인 의미를 보여준다. STATION 레벨의 기능은 총괄적인 변전소에 관한 것이다. STATION 레벨 기능에는 2가지 부류가 있다. 변전소 관리를 위한 스테이션 레벨 간 통신과 BAY 레벨로부터 데이터 취득 및 제어 명령을 내리는 기능이 있다. 이 기능들은 인터페이스 1번, 6번, 9번을 통해 통신한다. BAY 레벨의 기능은 1개의 BAY의 데이터를 주로 사용하고 BAY의 1차 장비에 대해 주로 작용하는 기능이다. 선로 보호나 BAY 제어가 이 기능의 예이다. 이 기능들은 BAY 레벨 범위 내에서 인터페이스 3번을 통해 통신하며 인터페이스 4번과 5번을 통해 원격 I/O나 지능형 센서와 액추에이터를 가지고 있는 프로세스 레벨과 통신한다. PROCESS 레벨의 기능은 샘플링을 포함해 데이터를 취득하고 명령을 내리는 등의 기본적인 2진(binary) I/O 및 아날로그 I/O 기능이다. 이 기능들은 인터페이스 4와 5를 통해 BAY 레벨과 통신한다.

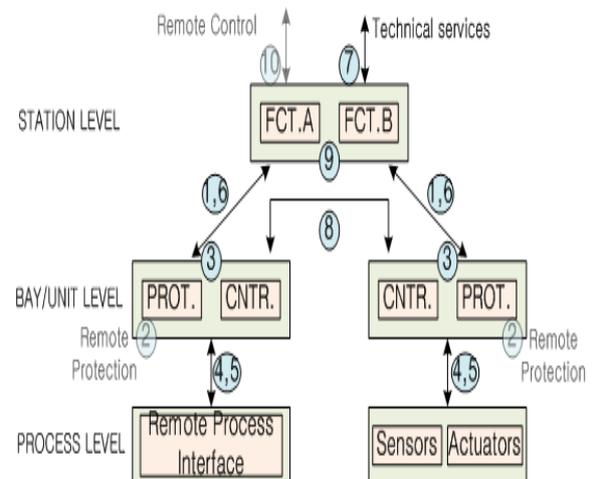


그림 4 SAS의 레벨과 인터페이스

각 인터페이스(IF)는 다음 표 2와 같다.

표2 논리 인터페이스

| IF | 설명 |
|------|--|
| IF1 | BAY와 STATION 레벨 사이의 보호데이터 교환 |
| IF2 | BAY레벨과 원격 보호 사이의 보호데이터 교환(표준 범위 밖) |
| IF3 | BAY 레벨 내에서의 데이터 교환 |
| IF4 | BAY와 PROCESS 레벨 사이의 CT(Current Transformer), VT(Voltage Transformer)의 데이터 교환 |
| IF5 | PROCESS와 BAY 레벨 사이의 제어데이터 교환 |
| IF6 | BAY와 STATION 레벨 사이의 제어 데이터 교환 |
| IF7 | 변전소와 원격 엔지니어 사이의 데이터 교환 |
| IF8 | INTERLOCKING과 같은 특별하고 빠른 기능에 대한 BAY 레벨 사이의 데이터 교환 |
| IF9 | STATION 레벨 사이에서 데이터 교환 |
| IF10 | 변전소화 외부 원격 제어 센터 사이의 데이터 교환(표준 범위 밖) |

인터페이스의 번호는 중요한 LN이나 BUS 시스템을 정의할 수 있게 된다. 인터페이스 1번, 3번, 6번, 8번 그리고 9번은 STATION/INTERBAY BUS로 결합된다. 인터페이스 4번과 5번은 PROCESS BUS로 결합된다. 일반적으로 PROCESS BUS는 오직 하나의 BAY에 제한된다. 만약 다른 BAY로 확장된다면, 인터페이스 8번의 역할이 수행되어야 한다. 인터페이스 7번은 원격 모니터링 센터와 외부적인 통신에 대한 전용의 인터페이스이다. 인터페이스 2번은 원격보호 장비와의 통신에 대한 전용의 인터페이스이다. 인터페이스 10번은 원격제어에 대한 전용의 인터페이스이다. 인터페이스 2번과 10번은 IEC 61850 범위 밖이다.

모든 인터페이스가 항상 변전소에 존재하는 것은 아니다. 해당 변전소의 필요에 의한 인터페이스만 존재한다. 그리고 필요에 따라 인터페이스의 추가는 쉽게 이루어지며, 이러한 유연한 접근은 현재나 미래에 새로운 변전소를 설치하거나 기 변전소를 개장(retrofit)하는 것을 가능하게 한다.

다. MMS 매핑

MMS(Manufacturing Message Specification)는 네트워크로 연결된 장비나 컴퓨터 응용 프로그램 사이의 실시간 데이터나 감시를 위한 제어 정보를 교환하기 위한 메시지 교환 표준이다. 초기 PLC(Programmable Logic Controller)나 로봇등과 같은 자동화기기를 위한 통신 프로토콜로 사용된 MMS는 전력 시설에서도 응용되고 있다. 예를 들어, RTU(Remote Terminal Unit), EMS(Energy Management System), IED(Intelligent Electronic Devices)등에 활용되고 있다. 기본적으로 OSI 7 계층의 응용계층에 해당하는 프로토콜로 이더넷, 토큰 버스 등의 다양한 환경에서 적용 가능한 프로토콜이다. MMS 표준은 2개의 주요한 파트로 이뤄져 있다. 파트 1은 서비스 사양으로 가상 생산기기(Virtual Manufacturing Device), 통신망에서 교환되는 서비스나 메시지, 가상생산기기 서비스와 관련된 속성과 파라미터들을 기술하였다. 파트 2는 프로토콜 사양으로, 통신망에서의 메시지 순서, 메시지의 형식이나 코드화 방법, MMS와 다른 계층 간의 접속 등을 기술하였다. IEC 61850 표준에서는 이러한 MMS를 ACSI의 주요한 정보/서비스 모델을 매핑 하는 통신 프로토콜로 제시하고 있다.

ACSI 모델의 정보 모델은 MMS 객체로 매핑 되고, ACSI 모델의 주요한 서비스들은 MMS 서비스로 매핑 된다.

3. TETRA 기반 IEC 61850 시스템 구축

기존의 IEC 61850 Client Simulator와 Server Simulator는 서로간의 TCP/IP 기반의 통신을 한다. 이를 투명성 있게 TETRA 기반 시스템으로 구축하기 위해서는 TCP/IP 기반의 IEC 61850 Request 와 Response를 TETRA PEI에서 Packet Data Service 방식의 UDP/IP 기반으로 변경해서 전송해야 한다.

본 논문에서는 IEC 61850 Client Simulator와 Server Simulator의 TCP/IP 기반의 통신을 TETRA 기반의 통신으로 변경하는 다기능 게이트웨이를 개발하여 TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템을 구축했다.

가. 개발 환경

TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템의 구축을 위해서 다음과 같은 시스템들과 그림 5와 같은 네트워크를 구성했다.

- IEC 61850 Client Simulator
 - OS : CentOS Linux 5.2(kernel 2.6.18)
- IEC 61850 Server Simulator
 - OS : CentOS Linux 5.2(kernel 2.6.18)
- 다기능 게이트웨이
 - OS : CentOS Linux 5.2(kernel 2.6.18)
- SwMI(교환기)
 - 한전 KDN(주) 전력 IT 무선 기간망
- TETRA Modem
 - UNIMO社 MU-1000

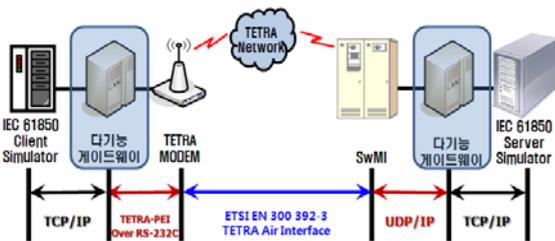


그림 5 TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템 네트워크 구조

나. 다기능 게이트웨이 구조

다기능 게이트웨이는 그림 5 에서와 같이 IEC 61850 Client Simulator 측과 IEC 61850 Server Simulator 측에 위치한다.

IEC 61850 Client Simulator 측에 위치한 다기능 게이트웨이의 기본적인 동작은 IEC 61850 Client Simulator로부터 발생한 IEC 61850 Request 메시지를

TCP/IP를 통해 수신한다. 그리고 TETRA PEI Packet Data Service 방식으로 변환하여 원격지의 IEC 61850 Server Simulator 측 다기능 게이트웨이의 IP주소를 목적지로 UDP/IP Packet Data를 전송한다. 원격지의 IEC 61850 Server Simulator에 연결된 다기능 게이트웨이는 SwMI로부터 IEC 61850 Request 메시지인 UDP/IP Packet Data을 수신해 IEC 61850 Server Simulator에게 TCP/IP 스트림으로 변환하여 IEC 61850 Request 메시지를 전달한다. IEC 61850 Server Simulator는 수신한 Request 메시지의 Response 메시지를 생성하여 되돌려 준다.

다음 그림 6은 IEC 61850 Client Simulator 측 다기능 게이트웨이 흐름도 이다.

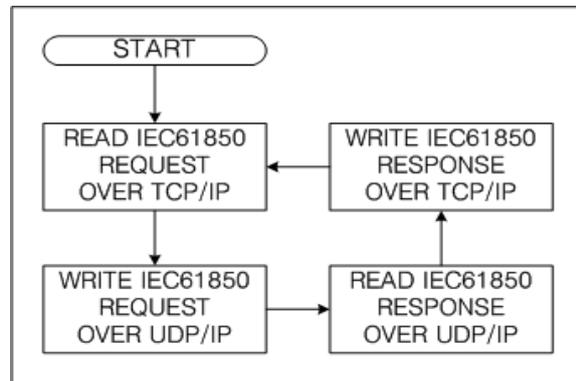


그림 6 IEC 61850 Client Simulator측 다기능 게이트웨이 흐름도

다음 그림 7 은 IEC 61850 Server Simulator 측 다기능 게이트웨이 흐름도 이다.

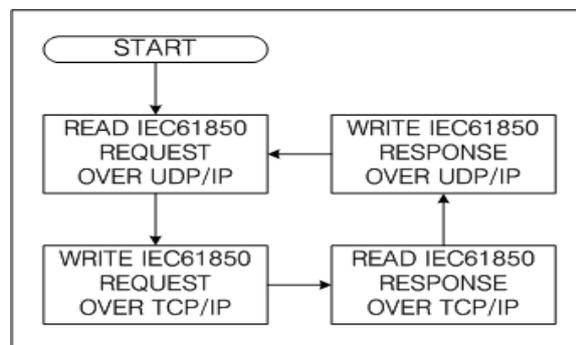


그림 7 IEC 61850 Server Simulator 측 다기능 게이트웨이 흐름도

다. 실행화면

다음 그림 8은 리눅스 기반의 IEC 61850 Server Simulator의 동작화면이다.



그림 8 IEC 61850 Server Simulator 동작 화면

리눅스 기반의 IEC 61850 Client Simulator는 Command와 Main의 두 개의 윈도우로 구성되었다. Command 윈도우는 IEC 61850 Server Simulator에게 명령을 하는 역할을 하며 Main 윈도우는 IEC 61850 Server Simulator에게 명령 후 돌아오는 응답 메시지 또는 에러메시지를 출력한다. 다음 그림 9는 리눅스 기반의 IEC 61850 Client Simulator의 Command 윈도우이다.



그림 9 IEC 61850 Client Simulator의 Command 윈도우 동작화면

다음 그림 10은 리눅스 기반의 IEC 61850 Client Simulator의 Main 윈도우이다.

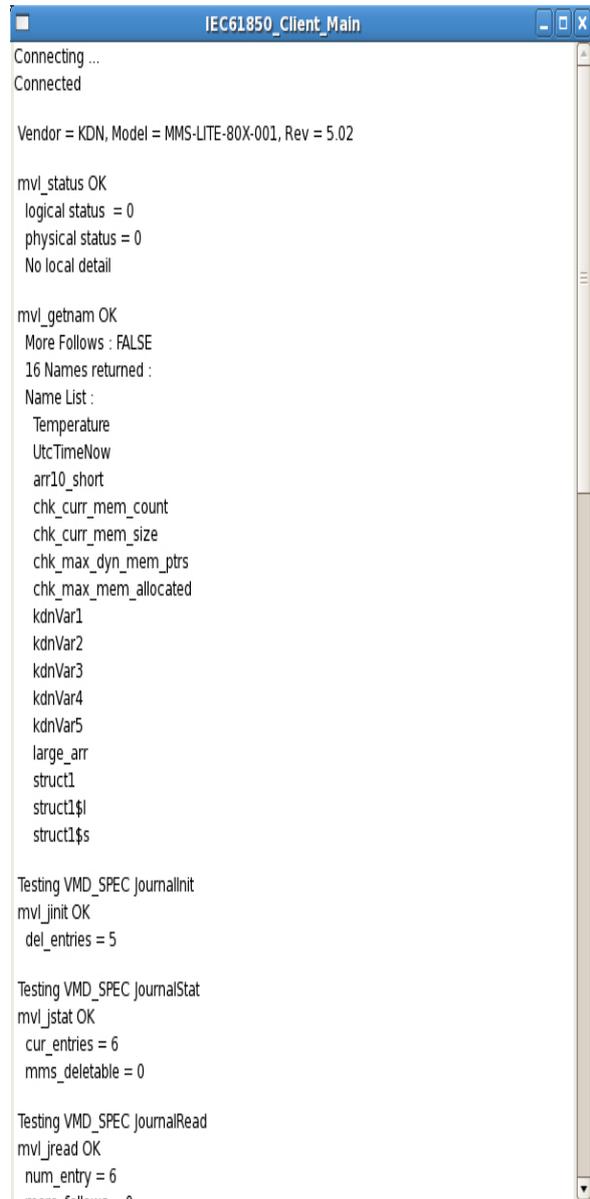


그림 10 IEC 61850 Client Simulator의 Main 윈도우 동작화면

다기능 게이트웨이 동작 화면에는 송수신 횟수를 세고 송수신 Data 사이즈 출력하여 에러발생시 원인을 확인 할 수 있다.

다음 그림 11은 IEC 61850 Server Simulator 측의 다기능 게이트웨이의 동작화면이다.

```
[root@localhost test]# ./u_t
UDP read 40 Byte ..
TCP write 40 Byte ..
UDP Thread count = 1

UDP read 51 Byte ..
TCP write 51 Byte ..
UDP Thread count = 2

UDP read 11 Byte ..
TCP write 11 Byte ..
UDP Thread count = 3

UDP read 22 Byte ..
TCP write 22 Byte ..
UDP Thread count = 4

UDP read 30 Byte ..
TCP write 30 Byte ..
UDP Thread count = 5

UDP read 11 Byte ..
TCP write 11 Byte ..
UDP Thread count = 6

UDP read 34 Byte ..
TCP write 34 Byte ..
UDP Thread count = 7

UDP read 6 Byte ..
TCP write 6 Byte ..
UDP Thread count = 8
```

그림 11 IEC 61850 Server Simulator측의 다기능 게이트웨이 동작화면

다음 그림 12는 IEC 61850 Client Simulator 측의 다기능 게이트웨이 동작화면이다.

```
[root@localhost test]# ./t_u
TCP read 40 Byte ..
UDP write 40 Byte ..
Tcp Thread count = 1

TCP read 51 Byte ..
UDP write 51 Byte ..
Tcp Thread count = 2

TCP read 11 Byte ..
UDP write 11 Byte ..
Tcp Thread count = 3

TCP read 22 Byte ..
UDP write 22 Byte ..
Tcp Thread count = 4

TCP read 30 Byte ..
UDP write 30 Byte ..
Tcp Thread count = 5

TCP read 11 Byte ..
UDP write 11 Byte ..
Tcp Thread count = 6

TCP read 34 Byte ..
UDP write 34 Byte ..
Tcp Thread count = 7

TCP read 6 Byte ..
UDP write 6 Byte ..
Tcp Thread count = 8
```

그림 12 IEC 61850 Client Simulator측의 다기능 게이트웨이 동작화면

III 결론

변전소 자동화 시스템을 구성할 때 필요한 IED 간

의 효율적이고 표준화된 통신을 제공하는 IEC 61850 통신 프로토콜이 사용된다.

본 논문에서는 IEC 61850 Server와 Client 역할을 하는 리눅스 기반의 IEC 61850 Server 와 Client Simulator를 사용하였다. 상기 IEC 61850 Server와 Client Simulator 간의 통신을 한전KDN(주) 전력 IT 무선 기간망을 사용하였다. 그리고 IEC 61850 Server 와 Client Simulator 간의 TCP/IP 통신을 TETRA Packet Data Service 기반의 통신으로 변환하는 다기능 게이트웨이를 개발하여 TETRA 기반 IEC 61850 SCADA 시스템을 구축하였다.

참고문헌

- [1] 한전KDN(주), 전력자동화용 디지털 TRS 사업, <http://www.kdn.com>
- [2] DNP User Group, "Distributed Network Protocol DNP3.0 BASE 4 DOCUMENT SET"
- [3] DNP User Group. "DNP3 Protocol Primer"
- [4] <http://www.dnp.org>
- [5] IEC 61850-1, Communication networks and systems in substations — Part 1: Introduction and overview
- [6] IEC 61850-2, Communication networks and systems in substations — Part 2: Glossary
- [7] IEC 61850-3, Communication networks and systems in substations — Part 3: General requirements
- [8] IEC 61850-4, Communication networks and systems in substations — Part 4: System and project management
- [9] IEC 61850-5, Communication networks and systems in substations — Part 5: Communication requirements for functions and device models
- [10] IEC 61850-6, Communication networks and systems in substations — Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs
- [11] IEC 61850-7-1, Communication networks and systems in substations — Part 7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Principles and model
- [12] IEC 61850-7-2, Communication networks and systems in substations — Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Abstract communication service interface(ACSI)
- [13] IEC 61850-7-3, Communication networks and systems in substations — Part 7-3: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Common data classes
- [14] IEC 61850-7-4, Communication networks and systems in substations — Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Compatible logical node classes and

data classes

- [15] IEC 61850-8-1, Communication networks and systems in substations — Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) — Mappings to MMS(ISO/IEC 9506-1 and ISO/IEC 9506-2) over ISO 8802-3 3
- [16] IEC 61850-9-1, Communication networks and systems in substations — Part 9-1: Specific Communication Service Mapping(SCSM) — Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link
- [17] IEC 61850-9-2:2002, Communication networks and systems in substations — Part 9-2: Specific Communication Service Mapping(SCSM) — Sampled values over ISO/IEC 8802-3 3
- [18] IEC 61850-10, Communication networks and systems in substations — Part 10: Conformance testing
- [19] Ralph Mackiewicz, "IEC61850 & ICCP-TASE.2 Technical Overview", SISCO
- [20] DLMS User Association, "COSEM Architecture and Protocols", 2006
- [21] ETSI EN 300 392-5 "TErrestrial Trunked Radio(TETRA): Voice plus Data (V+D) : Part 5 : Peripheral Equipment(PEI)

저 자 소 개

송 병 권 (정회원)

전자전기학회논문지 제 12권 3호 참조

정 태 의 (비회원)

1979년 : 고려대학교 전자공학과(학사)

1982년 : 미국 오하이오주립대 전기공학과(석사)

1989년 : 미국 오클라호마대학 전산학과(석사)

1994년 : 미국 오클라호마대학 전산학과(박사)

1983년10월~1986년6월 : 금성반도체연구소 컴퓨터부문
선임연구원

1986년7월~1987년8월 : United Microtek, Inc.(San Jose,
California) Engineering Manager

1995년3월 ~ 현재 : 서경대학교 컴퓨터과학과 부교수

관심분야 : Computational Complexity, Formal
Languages, Graph Languages, 알고리즘, 이동통신