

기존 변전소의 IEC 61850 기반 현장정보처리반을 이용한 디지털변전소 전환 가능성 검토에 관한 연구

육심복*, 이성환**, 김종일***

A Study on the Possibility of Transforming to Digital Substations using IEC 61850 Field Information Processing Panel of Legacy Substation

Sim-Bok Yuk*, Sung-Hwan Lee**, Chong-il Kim***

요약 전 세계적으로 국제 표준인 IEC 61850 통신규약을 사용하고 있고 국내에서도 2007년도부터 시험 적용과 연구개발을 통해 2013년부터 신규 건설되는 변전소는 IEC 61850 기반의 디지털변전소로 준공되어 지고 있다. 국내 대기업을 중심으로 디지털 변전소 운영시스템 개발을 위한 연구가 진행되어 LCP용 IED 전력응용기기를 개발하였으나, 기존 변전소에 설치되어 운전 중인 구형의 현장기기와 신형인 디지털 변전소 운영시스템에 사용되는 현장기기를 모두 수용할 수 있는 시스템 분야의 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 제안된 현장정보처리반을 IEC 61850 기반으로 구성할 수 있는 48VDC 입력모듈과 125VDC 출력모듈을 구현하고 패킷 분석 툴인 IEC 61850 클라이언트 인증 프로그램과 Wireshark를 사용하여 상태감시, 제어조작시험을 실시하여 현장 적용 가능성을 검증하였다.

Abstract The IEC 61850 communication standard is used worldwide, and within the country the new substation is built as a digital substation based on IEC 61850 from 2013, after field tests and R&D from 2007. Research on the development of digital substation operating system has been conducted mainly in large domestic companies, so the IED power application equipment for LCP are developed. However, there is still a lack of research in the field of systems that can accommodate all the field devices used for legacy substation and new digital substation. In this paper, we developed the 48VDC input modules and the 125VDC output modules which can construct proposed field information processing modules to IEC 61850 based type, and verified the field applicability from the state monitoring and control operation tests by using IEC 61850 client authentication program and Wireshark.

Key Words : Digital Substation, Field Information Processing Panel, IEC 61850, IED(Intelligent Electronic Device), LCP(Local Control Panel)

1. 서론

국내에는 2013년 준공되는 변전소부터 IED(Intelligent Electronic Device, 지능형 전자장치)에 대한 통신 프로토콜을 정의하는 국제 표준인 IEC(International Electrotechnical Commission) 61850을 기반으로 개

발된 변전소 자동화용 HMI(Human Machine Interface)인 집중감시제어반을 사용 중에 있으며, 154kV 변전소는 유인변전소와 무인변전소로 구분되고 유인변전소는 KEPCO DNP 1.0 기반의 집중감시반, 무인변전소는 일반 축소형 모자이크반을 사용한다. 일반 축소

* First Author : Catholic Kwandong University, Department of Electronic Engineering.

** Uiduk University, Division of Energy & Electrical Engineering.

*** Corresponding Author : Catholic Kwandong University, Department of Electronic Engineering.

Received January 30, 2018

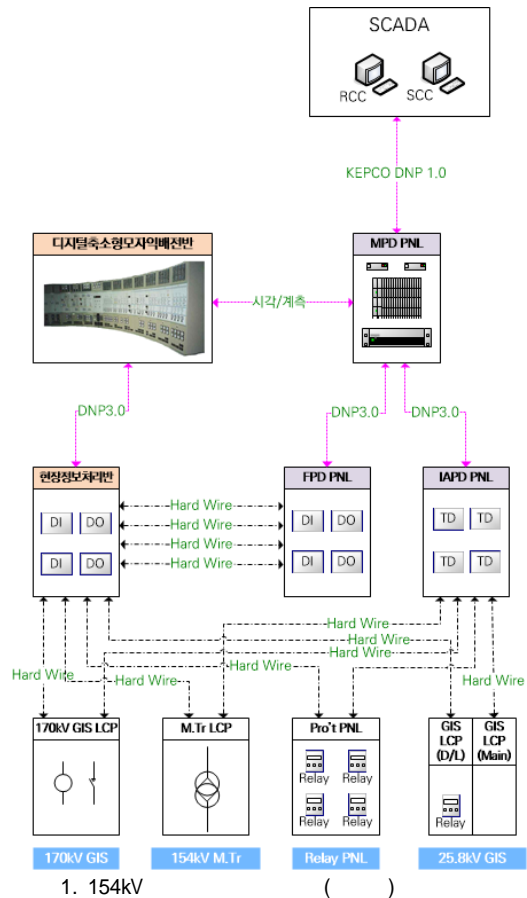
Revised February 16, 2018

Accepted February 20, 2018

형 모자익반은 구형으로 하드와이어(Hard-Wire)를 기반으로 1985년도 초반부터 사용하였으며, KEPCO DNP 1.0을 기반으로 한 디지털 축소형 모자익반은 2005년도 중반부터 사용하고 있다. 한전KDN을 비롯한 국내 대기업을 중심으로 디지털 변전소 운영시스템 개발을 위한 연구가 진행되어 LCP(Local Control Panel)용 IED 전력응용기기를 개발하였으나, 기존 변전소에 설치되어 운전 중인 구형의 현장기기와 신형인 디지털 변전소 운영시스템에 사용되는 현장기기를 모두 수용할 수 있는 시스템 분야의 연구는 아직 이루어지지 않고 있다[1,2].

따라서 2013년부터 차세대 변전소인 디지털변전소만을 건설하고 있는 현 시점에서 기존의 현장기기(변압기, 차단기 등)는 교체하지 않고 현장기기보다 수명이 훨씬 짧은 RTU, 축소형 모자익반(구형, 신형)을 교체할 경우는 어떻게 할 것인가에 대한 연구는 전무한 상태이다. 한전의 근무환경 뿐만 아니라 최근에는 생활환경까지도 모두가 IT와 스마트 개념을 바탕으로 다기능화 되고 있어 전력기구나 운영시스템의 환경도 여기에 맞춰 사용자에게 지원할 필요가 있다. 현재 한전에서 사용 중인 하드와이어 기반의 일반 축소형 모자익반, 디지털 축소형 모자익반은 노후화로 교체주기가 도래하고 있고, 기존 감시실은 공간이 협소하여 동일기종의 축소형 모자익반으로 교체할 수가 없어 여기에 대비할 필요가 있다. 현재의 사회적, 세계적 흐름과 집중감시 제어반기능의 장점(공간 점유가 적음), 축소형 모자익반의 장점(운전 상황을 한 눈에 볼 수 있음)을 살리고 기존 변전소를 디지털변전소로 개조 또는 교체 시 비용을 절감할 수 있는 시스템이 요구되어 지고 있다[3].

본 논문에서는 기존 변전소에 설치되어 운전 중인 구형의 현장기기와 신형인 디지털변전소 운영시스템에 사용되는 현장기기를 모두 수용할 수 있는 시스템 그리고 RTU(Remote Terminal Unit)와 축소형 모자익반(구형, 신형)을 교체 시 적용을 할 수 있는 현장정보처리반을 제안한다. 기존 사용 중인 현장정보처리반에 IEC 61850의 protocol을 내장하여 설계하고 통신 실험을 통하여 현장정보처리반을 IEC 61850기반 디지털 변전소에 적용할 수 있도록 하였다.



1. 154kV ()
Fig. 1. 154kV substation(S/S) system configuration (Standard type)

2. 국내 변전소 구축 현황

2.1 154kV 일반 변전소 운영시스템

일반형 변전소 시스템 구성은 그림 1과 같이 디지털 축소형 모자익반과 현장정보처리반 그리고 RTU-MPD(Main Processing Device), FPD(Field Processing Device), IAPD(Intelligent Analog Processing Device)로 구성이 된다. 현장정보처리반은 디지털 축소형 모자익반과 한조로 구성되며 RTU는 MPD, FPD, IAPD로 한 조로 구성이 된다. 현장정보처리반과 FPD는 실제 현장 설비를 조작 및 상태감시를 할 수 있는 장치로써 입력 모듈과 출력 모듈로 나누어져 구성이 되며 IAPD는 현장설비의 계측 값을 측정하

는 설비로써 CT, PT 그리고 V, mA, 저항 값 등을 측정 하고 연산하는 장치이다. 디지털 축소형 모자이크반은 현장정보처리반으로 조작 명령을 내릴 수 있으며 현장 정보처리반에서 상태감시를 읽어와 감시실의 운용자에게 설비의 상태를 알려줄 수 있다.

한전의 지역급전분소에서 변전소를 원격으로 감시하기 위해 RTU-MPD와 통신을 하며, MPD는 FPD와 IAPD를 통해 데이터를 취득하여 지역급전분소의 운용자에게 설비 상태를 알려줄 수 있으며 지역급전분소에서 변전소의 설비를 조작하기 위해 MPD에 명령을 보내줄 수 있다[4].

2.2 154kV 디지털 변전소 운영시스템

디지털형 변전소 시스템 구성은 그림 2와 같이 디지털변전소 운영시스템, SA(Substation Automation)운영장치, SA시스템반, 이더넷 스위치(Ethernet Switch)반과 IED로 구성되어 되어 있다. SA운영장치는 전력설비에 대한 운용자 인터페이스를 제공하는 장치로써 변전소의 모든 전력설비에 대한 정보를 화면에 보여주고, 운용자의 명령을 처리하는 장치로서, IEC 61850 기반의 IED로부터 전송받은 현장기기의 각종 운전정보를 연산하고, 데이터베이스 관련 처리를 수행하며, 취득된 데이터의 분석 진단 결과를 운용자에게 가장 및 가시적인 방법으로 알려주고, 운용자의 조작명령을 전송하는 역할을 한다. SA시스템반은 디지털변전소의 중추가 되는 장치로, 변전소 전력설비의 운전정보를 취득 및 처리하고 전력 설비의 제어를 수행하는 장치이다. IEC 61850기반의 IED와 연계하여 전력설비의 감시, 제어, 계측 및 보호 정보를 송수신하며, 지역급전분소와 연계할 수 있는 기능이 구비된 즉, IEC 61850 표준에서 정의한 통신 방식과 기존 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)에서 사용되고 있는 통신방식이 적용된 장치이다. 이더넷스위치반은 IEC 61850 표준에서 정의하는 통신 네트워크를 구축하기 위한 네트워크 장비이다. IED는 IEC 61850 표준에 정의된 통신 서비스를 제공할 수 있는 지능형 전자장치로, 보호, 제어, 감시, 계측 및 인터록(Interlock) 등의 기능을 수행한다[5,6,7].

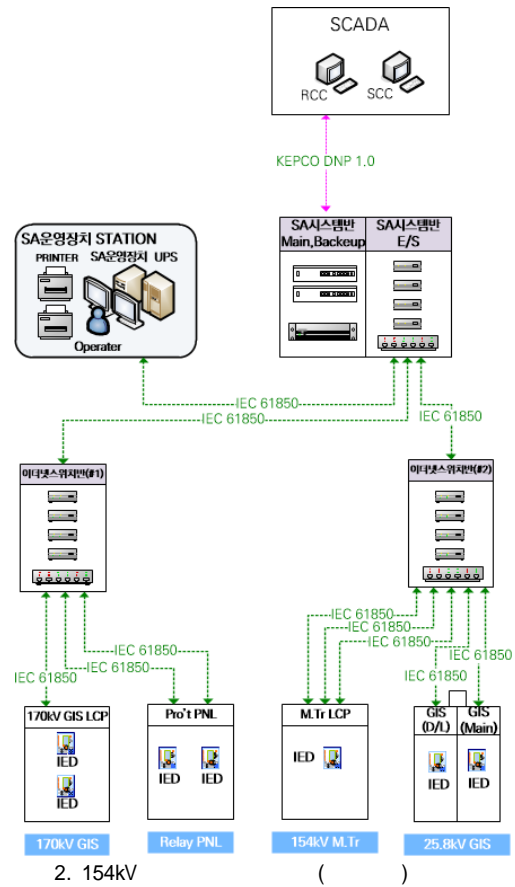


Fig. 2. 154kV S/S system configuration (Digital type)

2.3 154kV 일반변전소와 디지털변전소의 문제점

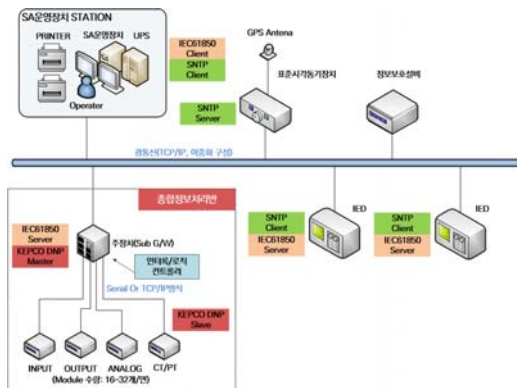
일반형 154kV 변전소 시스템은 IEC 61850 설비와 통신 연계가 불가능하다. SNTP(Simple Network Time Protocol) 서버와 같은 표준시간(국제사회가 사용하는 과학적 시간의 표준, UTC(Universal Time Coordinated)) 장치와도 연계가 불가하며, 하드웨어 점점 설비들과만 연계가 가능한 문제점을 가지고 있다. 또한 감시실 크기는 2종류(10m×10m, 11m×11m)가 있으며 공간이 한정되어 노후설비 교체 시 물리적 제약 조건을 고려해야 한다.

디지털형 154kV 변전소 시스템은 IEC 61850 국제 표준 통신 규약의 연계가 가능하나 네트워크 설비로만 이루어져 기존 하드웨어 설비와의 연계가 불가한 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 일반형 변전소 시스템의 IEC 61850 설비와 통신 연계가 불가한 점과 디지털 변전소의 하드와이어 설비와의 연계가 불가한 점들을 해결하기 위하여 현장정보처리반을 IEC 61850 기반으로 구현하는 방법을 제안한다.

3. IEC 61850기반 현장정보처리반 설계

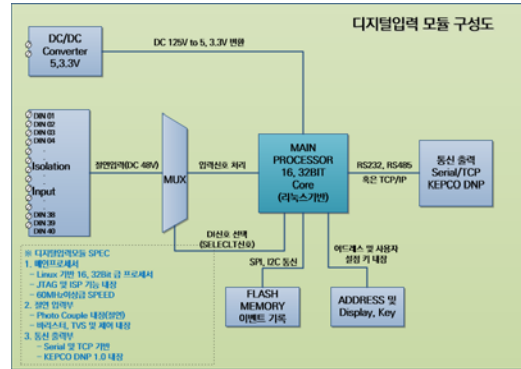
154kV 변전소의 IEC 61850 기반 현장정보처리반은 그림 3과 같이 구성 하였다. 현장정보처리반에 IEC 61850 Server 기능을 내장하여 IED 및 표준 시각동기장치 그리고 SA운영장치와 IEC 61850 통신을 할 수 있도록 구성하였고 입력 모듈과 출력모듈을 내장하여 일반 변전소의 하드와이어 신호도 받을 수 있도록 하였다.



3. IEC 61850
Fig. 3. IEC 61850-based field information processing panel configuration

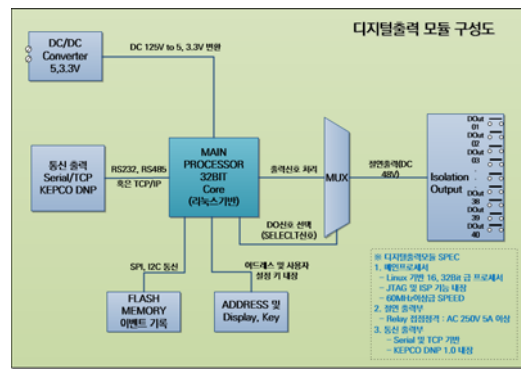
또한 현장정보처리반과 IED 간의 IEC 61850 통신을 할 수 있도록 구성을 하였고 IEC 61850 기반 현장정보처리반 구성에 필요한 하드웨어 요구사항과 운용사항을 고려하여 입력 모듈과 출력 모듈을 설계하였다. 현장정보처리반의 입력 모듈은 현장의 모든 변전설비의 운전 및 경보 상태를 입력 모듈로 입력 받아 광(Fiber Optic)통신 신호로 변환하여 디지털 축소형 모자익반과 RTU-MPD 또는 디지털변전소 운영시스템에 상태 신호를 전송할 수 있도록 설계하였다(그림 4).

출력 모듈은 디지털 축소형 모자익반과 RTU-MPD 또는 디지털변전소 운영시스템으로 부터 통신으로 전송된 모든 제어신호를 출력 모듈에 의하여 디지털 출력으로 변환하여 현장 변전설비에 제어 신호를 보낼 수 있도록 설계하였다(그림 5).



4.
Fig. 4. Input module configuration diagram

입력 모듈의 상세 하드웨어 구성으로는 원칩 마이크로컨트롤러(Micro-Controller)는 IEC 61850에 적합한 통신 속도 구현을 위하여 16Bit, 60MIPS 이상으로 하며, 저 소비 전력의 CMOS 소자를 사용하고 워치독 타이머(Watchdog Timer)를 내장하였다. 응답속도는 10msec 이내로 하며 입력 디바운스(Debounce) 시간은 4msec에서 64msec로 가변이 가능하다.



5.
Fig. 5. Output module configuration diagram

입력 모듈의 신호 검출단과 내부회로단의 절연을 할 수 있는 포토커플러 절연방식으로 입력 단을 설계하고, 감시전원은 48VDC로 설계하였다. 경고장 및 중고장 설정용 콘솔 포트를 내장하여 상위시스템에서 설정이 가능하도록 하였다.

출력 모듈의 상세 하드웨어 구성도 IEC 61850에 적합한 통신 속도 구현을 위하여 원칩 마이크로컨트롤러 16Bit, 60MIPS이상으로 하고, 저 소비전력의 CMOS 소자를 사용하고 위치독 타이머가 내장되고 응답속도는 10msec 이내로 동작하도록 하였다. 구동 릴레이 접점정격으로는 AC 250V 5A이상, 구동 Coil의 정격은 DC24V, 180mW 이내로 구성되었고, 제어 출력 신호는 릴레이(Relay) 접점이며 제어 홀딩타임(Holding Time)은 100msec에서 6000msec로 가변이 가능하고 제어 전압은 24VDC로 구성되었다.

4. 실험 및 고찰

IEC 61850 기반의 현장정보처리반은 그림 6과 같이 구현하였으며, IEC 61850 Client가 인증된 소프트웨어로 운영에 필요한 상태감시와 제어에 대해서 시험을 할 수 있도록 구성을 하였다. IEC 61850-10 적합성 시험 절차에 따라 제어 시험은 SBO(Select Before Operate) 제어와 상태 감시 시험의 Unbuffered Reporting의 정상 동작 여부를 가지고 시험을 하였고 시험 시 현장정보처리반의 입력 모듈과 출력 모듈에서 정상적으로 제어 조작이 되는지 그리고 정상적으로 상태 감시가 되는지를 인가된 상태감시 전압과 제어 출력 시 정상적으로 전압이 나오는지 전압계를 가지고 검증하고 통신 검증은 통신 패킷을 캡처하여 정상적인 IEC 61850 메시지로 모듈의 동작 및 통신하는지를 확인 하였다[8].

그림 7 및 그림 8과 같이 노트북, 이더넷스위치 그리고 현장정보처리반 통신 모듈을 구성하였으며, IEC 시험용 노트북에는 통신 규격을 검증할 수 있는 IEC 61850 Client 프로그램을 내장하였고 통신 패킷을 캡처할 수 있는 Wireshark 프로그램을 내장하고 현장정보처리반 통신 모듈의 이더넷스위치와 연결되

는 통신 시험시료를 준비하였다. 이더넷스위치는 IEC 61850-3 환경시험 인증된 시료로 구성하였다. 시험 검증 장비로는 IEC 61850 Level A기관에서 인증 받은 SPiN-CNAS 소프트웨어와 프로토콜 분석 소프트웨어 Wireshark, IEC 61850-3 환경 인증된 이더넷스위치 MAR1020을 가지고 환경을 구성하여 시험하였다.



6. Fig. 6. Implemented field information processing Panel

그림 9와 그림 10은 Wireshark로 캡처된 로그(Log)로 감시 시험 시 캡처된 통신 패킷이다. 상태감시 시험은 48VDC를 입력 모듈에 P(+)상에 해당 포트에 입력하여 IEC 61850 Client 시험 소프트웨어에서 감시가 되는지 확인하였고 제어 시험은 IEC 61850 Client 시험 소프트웨어에서 제어를 하여 실제 출력모듈에서 릴레이 접점이 동작하여 제어 전압 12.5VDC가 나오는지 표 1과 같이 확인하였다. IEC 61850 적합성은 그림 11과 같이 KTL (Korea Testing Laboratory, 한국산업기술시험원)에서 IEC 61850 Certificate Level A 시험을 통하여 검증하고 인증을 받았다.



7. IEC 61850

Fig. 7. IEC 61850 communication configuration



8. IEC 61850

Fig. 8. IEC 61850 communication test photo

표 2는 구현된 IEC 61850 기반의 현장정보처리반의 시험 결과와 기존 현장정보처리반 시험 결과를 비교하였다. 결과로는 IEC 61850 기반의 현장정보처리반이 기존 현장정보처리반에 비해 제작 단가가 높은 단점이 있으나 IEC 61850 기반의 현장정보처리반 도입으로 기존 일반형 변전소 전력설비들을 IEC 61850 기반의 디지털형 변전소 전력설비의 전환이 가능하고, 디지털 변전소 자동화에 적합한 데이터 처리속도와 변전소 설비의 시각동기화 등의 여러 가지 장점 훨씬 클 것이다.

```

3113 2018-02-08 11:02:29.873776 192.168.1.199 192.168.1.101 MMS unconfirmed
3320 2018-02-08 11:02:31.248798 192.168.1.199 192.168.1.191 MMS unconfirmed
3326 2018-02-08 11:02:31.248798 192.168.1.199 192.168.1.191 MMS Conf. Response
3327 2018-02-08 11:02:31.248798 192.168.1.199 192.168.1.191 MMS Conf. Response

150/IEC 9306 MMS
unconfirmed (3)
  informationReport
  variableList
  rpt
  accessResults
  VSTRING:
  urpCTRL01
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 0 1 1 1 1 0 0 1 0
  UNSIGNED: 3
  BTIME
  BTIME 2018-02-08 02:02:29.889 (days=12457 msec= 7349889)
  VSTRING:
  FPIDCTRL/LLN0DataSet_CTRL
  UNSIGNED: 100
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  BITS 0016 - 0031: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  BITS 0032 - 0047: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  BITS 0048 - 0063: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  VSTRING:
  FPIDCTRL/COMG1001SET$ind01
  STRUCTURE
  BOOLEAN: TRUE
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  UTC
  UTC 2018-02-08 02:02:29.889000 Timequality: 2a
  BITSTRING:
  
```

9. Wireshark Log -

Fig. 9. Wireshark Log - Monitoring packet data

```

408 2018-02-08 11:05:07.747491 192.168.1.191 192.168.1.199 MMS Conf. Request: GetNameList (InvokeID: 71)
409 2018-02-08 11:05:07.748937 192.168.1.199 192.168.1.191 MMS Conf. Response: GetNameList (InvokeID: 71)

481 2018-02-08 11:05:07.747491 192.168.1.191 192.168.1.191 MMS Conf. Request: GetNameList (InvokeID: 71)
482 2018-02-08 11:05:07.748937 192.168.1.191 192.168.1.191 MMS Conf. Response: GetNameList (InvokeID: 71)

Frame 481: 176 bytes on wire (1408 bits), 176 bytes captured (1408 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: F0:B1:87:43:48:00 (F0:B1:87:43:48:00), Dst: bc:1f:f4:3b:bb:ad (bc:1f:f4:3b:bb:ad)
Hypertext Transfer Protocol, Src Port: 80 (80), Dst Port: 80 (80)
HTTP, version: 1.1, length: 122
350 8073 COMP Connection-Oriented Transport Protocol
350 8127-1 OSI Session Protocol
350 8823-1 OSI Session Protocol
350 8823-2 OSI Presentation Protocol
350/IEC 9306 MMS
  Conf. Request (0)
  write (0)
  InvokeID: InvokeID: 718
  write (0)
  list of variable
  Object Name
  domain specific
  DomainName:
  DomainName: FPIDCTRL
  ItemName:
  ItemName: FPIDCTRL/COMG1001SET$ind01

Data
STRUCTURE
BOOLEAN: TRUE
STRUCTURE
INTEG: 3
OSTRING:
OSTRING: 52 65 66 6f 74 65 20 43 6f 66 74 72 6f 6c
UNSIGNED: 1
UTC
UTC 2018-02-08 02:05:10.000060 Timequality: 0a
BOOLEAN: FALSE
BITSTRING:
BITSTRING:
  
```

10. Wireshark Log -

Fig. 10. Wireshark Log - Control packet data

1. IEC 61850

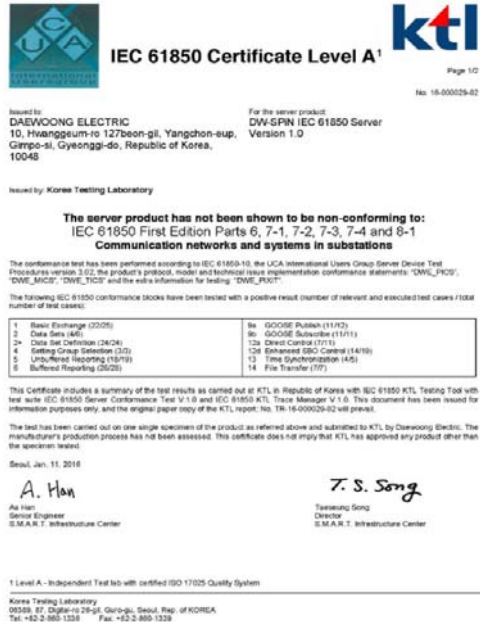
Table 1. IEC 61850 communication test result table

IEC 61850	DC 48V	-	DC 125V

2. IEC 61850

Table 2. Comparison of legacy and IEC 61850 based field information processing Panel

		IEC 61850	
	DC125V, AC220V	DC125V, AC220V	
	Serial/RS485	Ethernet	
	Multi Drop	TCP/IP	
	DNP 3.0	IEC 61850	
	KDNP 1.0	(MMS, GOOSE)	
	가	SNTP Client	
	57600bps	1Gbps	



11. IEC 61850 UCA
Fig. 11. IEC 61850 UCA Certificate

5. 결론

본 논문에서는 일반 변전소에서 하드와이어(Hard-Wire) 설비와 연계되어 사용되고 있는 현장정보처리반을 디지털 변전소용의 IEC 61850 기반의 현장정보처리반을 적용할 수 있는지에 대해서 연구하였다. 기존에 사용되고 있는 현장정보처리반을 IEC 61850기반으로 구성할 수 있는 입력 모듈과 출력 모듈을 하드웨어, 소프트웨어, Panel을 설계하여 실험하

였다. 그리고 IEC 61850 Client 인증 프로그램과 Wireshark를 사용하였으며, 실험결과, 상태감시 시험에서 입력모듈 DC 48V를 확인 할 수 있었고, 제어조작 시험에서 출력모듈 125VDC를 확인할 수 있었다.

또한 IEC 61850 UCA 인증을 통하여, 적용된 시스템의 프로토콜 측면에서 적합성 검증과 적용의 가능성을 검증하였다. 기존 현장정보처리반을 IEC 61850 기반의 현장정보처리반으로 대체 적용함으로써 기설 변전소의 전력설비를 IEC 61850 기반의 디지털 변전소에 적합한 전력설비로 전환이 가능함을 증명하였다. 이후 논문 결과를 바탕으로 한국전력 변전소에 시범 적용을 거쳐 IEC 61850 기반으로 디지털화 되지 않은 변전소를 효과적으로 디지털화 할 수 있음을 검증해 나갈 계획이다.

REFERENCES

- [1] Hyoung-Bae Moon, "A study on Substation Automation in Power System", the degree of Master Electrical Engineering, Seoul National University of Technology, 2006
- [2] You-Jin Lee, Yong-Hak Kim, Eung-Bo Shim, Jeong-Yeol Han, Jong-Hwen Lee, "Development of Substation Automation System based on IEC 61850", Journal of IKEEE, pp. 716~717, July, 2011
- [3] Doo-Yeon Kim, Nam-Ho Lee, Jeong-Yeol Han, You-Jin Lee, Seok-Gon Kim, Jong-Ki Choi, Byung-Tae Jang, "Introduction of the implementation case of IEC 61850 based digital substation", Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, May, 2014
- [4] Taw-Wan Kim, Ilhyung Lim, Myeon-Song Choi, Seung-Jae Lee, Sung-Chul Kwon, "IEC 61850 Application in Distribution Automation System", Journal of IKEEE, vol. 60. no. 4, pp. 687~693, April, 2011
- [5] Byung-Kwen Song, Geong-Ung Kim, "Design of the Gateway Function for DNP3.0 and IEC61850", Journal of IKEEE, vol. 12. no. 3, pp. 151~157, September, 2008
- [6] Min-Uk Yang, "Study of applying SCADA system with IEC 61850 based electrical substation automation protocol and protocol comparison", the degree of Master Electrical Engineering, Chung-nam University, 2009

[7] You-Jin Lee, Jeong-Yeol Han, Jong-Kee Choi and Nam-Ho Lee, 2016, "A Study on the Engineering Verification and Analysis of the IEC 61850 Based 154kV Digital Substation in KOREA," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 30, No. 12, pp. 67~74, December 2016

[8] Nam-Ho Lee, Byung-Tae Jang, " Development of IEC 61850 Client Testing System for Verifying the Communication Conformance of Substation Automation", Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, vol. 24, no. 6, pp. 169~176, June, 2010

(Chong-il Kim)

[]



- 1987 ()
- 1989 ()
- 1993 ()
- 1993 가

< >

, STC, TCM, OFDM,

(Sim-Bok Yuk)

[]



- 2012 ()
- 2015 ()
- 2017 가 ()
- 2008 ()

< >

(Sung-Hwan Lee)

[]



- 1990 ()
- 1992 ()
- 1998 ()
- 1995 2001 ()
- 2001

< >