

기존 아날로그 변전소의 디지털 기반 SA 변전소로의 전환에 대한 실증 연구

이 성 환*

An Empirical Study on change from an existing Analog-based substation to Digital-based SA substation

Sung-Hwan Lee*

요 약

현재 변전소 자동화를 위해서는 국제 표준인 IEC 61850 통신규약이 사용되어지고 있고, 국내에서도 2007년도부터 시험 적용과 연구개발을 통해 2013년부터 신규 건설되는 변전소는 IEC 61850 기반의 디지털변전소로 준공되어 지고 있다. 하지만 기존 변전 설비들(변압기, T/L GIS, D/L GIS 등)은 그대로 사용하면서 기존 RTU 기반의 변전소 운영 시스템을 IEC 61850 기반의 SA 변전소 운영시스템으로 전환한 사례는 거의 없다. 따라서 기존 변전설비의 IEC 61850 도입은 기존 설비 재사용으로 변전소의 지속가능성을 증대시키고 또한 최신 도입되는 타 변전소와의 상호운영성을 개선하고 기존 변전소를 무인화 운전에 적합한 시스템으로 전환할 수 있는 이점이 있다. 본 논문에서는 기존의 RTU 기반 변전소 운영시스템을 IEC 61850 기반의 현장정보처리반, 이더넷 스위치반, SA 운영시스템을 이용하여 디지털 변전소화한 사례를 소개하고, 패킷 분석 툴인 IEC 61850 클라이언트 인증 프로그램과 Wireshark를 사용하여 IEC 61850 적합성 및 그 타당성을 실증을 통하여 검증하였다.

Abstract

Currently, the new substation automation uses the international standard IEC 61850 communication protocol. KEPCO is also constructing a new substation based on IEC 61850 from 2013 through the pilot application and research and development starting from 2007. However, there are few cases where existing substations(Transformer, T/L GIS, D/L GIS, etc.) have been used, and RTU based substations operating systems have been changed to SA substations based on IEC 61850. Therefore, the introduction of IEC 61850 in existing

* 위덕대학교 에너지전기공학부 (Division of Energy & Electrical Engineering, Uiduk University)

substation facilities has the advantage of enhancing the substantiality of the substation by reusing existing facilities, improving the interoperability with the latest substations introduced, and converting existing substations into systems suitable for unmanned operation. In this paper, we introduce a case of changing the existing RTU based substation operation system to digital substation using IEC 61850 field information processor, Ethernet switch and SA operation system. Also, IEC 61850 client authentication program and Wireshark, which is a packet analysis tool, verify IEC 61850 conformance and its feasibility.

I. 서론

전력시스템에 진보된 통신 기술과 새로운 전력 기술을 적용하여 효율성을 극대화하는 지능형 전력망 인프라 구축을 위해서는 변전소의 디지털화가 필요하다. 기존의 변전소 내 설비는 원방감시제어시스템(SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition)을 중심으로 많은 부분 자동화, 무인화 되어 있다. 변전소 내부에서는 전력소와 연결된 RTU(Remote Terminal Unit)에 구내에 설치된 전력기기들, 즉 변압기(Transformer), T/L GIS(Transmission Line Gas Insulated Switchgear), D/L GIS(Distribution Line Gas Insulated Switchgear) 등의 상태 정보 및 제어용 결선들이 아날로그 신호형태로 개별적인 신호전송선에 의해 이루어지고 있다. 그러나 변전설비의 확대 및 복잡화에 의한 보호설비의 증대로 제어케이블의 증가, 운용 보수업무의 증가 및 어려움과 더불어 설치 공간, 경제성, 공사 시공의 복잡화 등 여러 문제를 가지고 있다. 또한, 전력 설비들은 제조회사 별로 각각 다른 표준을 가지므로 상호 호환성을 기대할 수 없었다. 이는 시스템 내 제품의 정보 교환에 대한 제한과 인터록(Interlock)과 같은 상호 기술 구현에 제약이 있으므로, 다양하고 풍부하며 신속한 정보를 활용할 수 없는 문제점을 가지고 있었다[1]. 따라서 한국전력은 2013년부터 차세대 변전소인 IEC 61850 기반의 디지털변전소만을 건설하고 있는 현 시점에서 기존의 변압기 및 GIS 등의 현장기기는 교체하지 않고 현장기기보다 수명이 짧은 RTU, 축소형 모자익반(구형, 신형)을 교체하는 사업을 추진 중에 있다[2,3].

본 논문에서는 노후화로 교체주기가 도래한 기존 변전소에 설치되어 운전 중인 구형의 현장기기인 RTU에 연결되어 있는 하드와이어(Hard Wire) 정보를 IEC 61850 프로토콜 기반의 현장정보처리반으로 대체하고, 기존의 축소형 모자익반을 IEC 61850 기반의 SA(Substation Automation) 운영시스템과 HMI(Human Machine Interface)로 대체하여 SA 변전소 운영시스템화 하는 방법을 제시하고 실 사례를 기반으로 가능성을 검증하였다.

II. 기존 변전소와 IEC 61850 기반 디지털 변전소

한국전력공사와 전력연구원은 변전소 자동화 시스템을 위해서 변전자동화 시스템 구축

기본방향, 설비별 자동화 시스템 기술규격, IEDs 규격 및 SAS 정보표준화 등에 대해서 표준화를 진행하였고, 154kV 변전소를 대상으로 적용하고 있다[4]. 그러나 일반형 RTU 기반의 154kV 변전소 운영 시스템은 IEC 61850 장비와 통신 연계가 불가능하다. 또한 RTU 및 주변 시스템들은 SNTP (Simple Network Time Protocol) 서버와 같은 표준시각(국제사회가 사용하는 과학적 시간의 표준, UTC(Universal Time Coordinated)) 장비와 연계가 불가능하며, 하드와이어 점점 형태로만 연계가 가능한 문제점을 가지고 있다. 또한 감시실 공간이 한정되어 노후설비 교체 시 물리적 제약 조건을 고려해야 한다. 디지털형 154kV 변전소 시스템은 IEC 61850 국제표준 통신 규약을 준수한 장비간의 연계가 가능하나 네트워크 설비로만 이루어져 기존 하드와이어 설비와의 연계가 불가능한 문제점을 가지고 있다[1,2,3]. 따라서, 본 논문에서는 일반형 RTU 기반의 변전소 운영 시스템이 IEC 61850 설비와 통신 연계가 불가능한 점과 디지털 변전소의 하드와이어장치와의 연계가 불가능한 점들을 해결하기 위하여, 기존 IED를 그대로 이용하면서 IEC 61850 기반의 현장정보처리반과 변전소 SA 운영 시스템을 RTU 기반의 변전소 운영시스템에 대체 설치하여 일반 디지털 변전소의 문제점을 극복하고, IEC 61850 기반의 디지털변전소로 전환 가능성을 실증하였다.

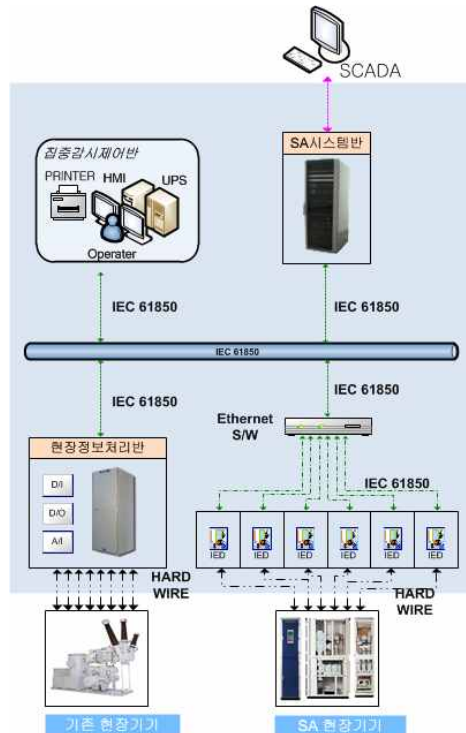


그림1. IEC 61850 기반 154kV 변전소 구성도

III. IEC 61850기반 시스템의 현장설치

그림2와 같이 연결된 일반형 RTU 기반의 154kV 변전소에 연결되어 있는 변압기, GIS 등의 각종 변전설비의 제어, 계측 케이블을 IEC 61850 SA 변전소로 전환하기 위하여 그림 3과 같이 IEC 61850 기반의 현장정보처리반, 이더넷스위치반(E/S), SA 시스템 및 SA 운영장치 스테이션(Station)으로 시스템을 구성하였다. 현장정보처리반은 IEC 61850 장치와 CT(Current Transducer), PT(Potential Transducer) 및 변압기 Tap Changer 등의 아날로그 신호를 위한 아날로그 입력 모듈(AI Module), CB(Circuit Breaker), DS(Dis-connection Switch), ES(Earthing Switch) 상태, 로컬/원격 제어 스위치 등의 디지털 입력 신호를 위한 디지털 입력 모듈(DI Module), CB, DS, ES 등의 제어를 위한 디지털 출력 모듈(DO Module) 그리고 온도, 습도 측정 및 통신 기능을 구비한 판넬 감시진단장치로 구성되었다. 또한 현장정보처리장치에는 IEC 61850 Server 기능을 내장하여 IED 및 표준시각동기장치 그리고 SA운영장치와 IEC 61850 통신을 할 수 있도록 구성되었으며, 기존 RTU가 수행 중이던 인터록 등의 로직(Logic)을 수행할 수 있도록 로직제어기를 탑재하였고, 전면 LCD에는 각종 현장정보처리반의 상태를 확인할 수 있도록 구성하였다. 그림4는 현장 설치된 현장정보처리반이다.

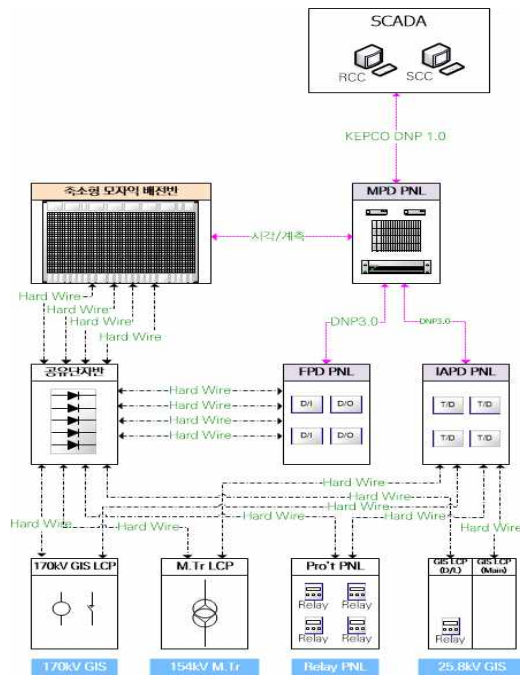


그림2. RTU 기반 154kV 변전소 연결 구성도

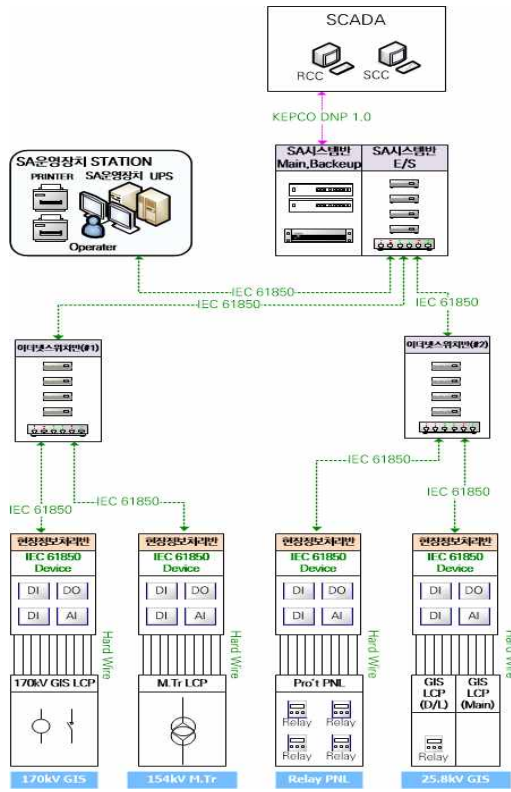


그림3. IEC 61850 기반 변전소 연결 구성도



그림4. 설치된 IEC 61850 기반 현장정보처리반

IV. 실증 및 고찰

실증을 위한 클라이언트 IEC 61850 적합성을 검증하기 위한 시험항목에 대한 요약은 다음과 같다[5,6,7]. 본 논문에 적용된 IEC 61850 기반 현장정보처리반은 클라이언트와 연결되는 IEC 61850 서버 기능을 탑재하고 있음으로 기존 정의된 클라이언트와의 상호 통신과 기능 동작을 기준으로 적합성을 검증하였다. 클라이언트 적합성 시험절차가 서버의 시험절차와 비교할 때 가장 큰 차이점은 IEC 61850 변전자동화시스템의 이벤트 정보전달 메시지로 사용되는 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 시험이 존재하지 않는 점이다. 이는 GOOSE 통신이 데이터 모델을 내부에 가지고 있는 서버인 IED들 간에 이루어지기 때문에 내부에 데이터 모델을 가지고 있는 클라이언트에서는 시험을 진행하기가 불가능하기 때문이다. 하지만 GOOSE 이벤트에 대한 수신은 내부 데이터 매핑과 관계없이도 수행할 수 있기 때문에 GOOSE의 상태를 수신하여 UI에 표시하는 기능을 고려할 경우 클라이언트 적합성 시험절차에 포함될 가능성도 있다[5,8]. IEC 61850 적합성 중 GOOSE 시험은 IED가 GOOSE 메시지의 전달이 규격에 따라 전송하는지와 수신된 GOOSE 메시지에 반응을 잘하는지를 확인하는 기능시험에 국한하기 때문에 변전소에 IED의 GOOSE 기능을 적용할 경우 네트워크 환경에서의 성능을 측정하는 것이 IEC 61850 적합성 시험과 함께 필요하다고 사료된다[9]. IEC 61850 적합성에 대한 검증 항목을 표1에 요약하였고, 본 논문에서는 한국전력이 현장에서 사용 중인 IEC 61850 클라이언트 기능을 위주로 검증하였다. 또한 본 현장정보처리반에 탑재된 IEC 61850은 서버의 기능임으로 GOOSE 메시지에 대한 시험도 진행하였다.

표1. IEC 61850 통신 시험 결과표

구 분	요약	결과
Basic Exchange	기본 통신	양호
Data Set	정보 일치	양호
Substitution	데이터 요청	양호
Setting Group Selection	긍정/부정 응답	양호
Unbuffered Reporting	리포트 송신	양호
Buffered Reporting	리포트 송신	사용안함
Direct control	제어 여부	양호
SBO control	제어 여부	-
Enhanced Direct Control	제어 여부	-
Enhanced SBO Control	제어 여부	-
Time sync	동기화 여부	양호
File transfer	파일 송신 여부	-
GOOSE	송수신 여부	양호

그림5와 같이 Wireshark Log 패킷 분석을 통하여 IEC 61850 클라이언트와 현장정보처리장치의 IEC 61850 서버 시스템이 상호 IEC 61850 Basic Exchange 메시지를 원활히 주고받음을 확인할 수 있었다. 또한 현장에 운영 중인 일반형 RTU 및 모자익판넬을 대체하기 위하여 설치된 IEC 61850 기반의 현장정보처리장치는 기존 RTU가 수행하지 못하는 SNTP 시각동기를 그림6 같이 정상 수신하였음을 Wireshark Log 패킷을 통하여 확인할 수 있었다. Data Set,

Substitution 및 Setting Group Selection은 IEC 61850 클라이언트와 IEC 61850 서버가 통신 규약이 일치하여만 통신이 가능하며, Unbuffered Reporting은 그림7과 같이 정상 동작함을 확인하였다.

```

ISO/IEC 9506 MMS
Initiate Request (8)
Proposed MMS PDU Size: 32000
Proposed Outstanding Requests Calling: 1000
Proposed Outstanding Requests Called: 1000
Proposed Data Nesting Level: 5
▼ Initiate Request Detail
  MMS Version Number: 1
  ▼ Proposed Parameter CBBs:
    Proposed Parameter CBBs:
    Array Support [STR1] (0)
    Structure support [STR2] (1)
    Named Variable Support [VNAM] (2)
    Alternate Access Support [VALT] (3)
    Addressed Variable Support [VADR] (4)
    Third Party Service Support [TPY] (6)
    Named Variable List Support [VLIS] (7)
  ▼ Services Supported Calling:
    Services Supported Calling:
    identify (2)
    fileOpen (72)
    fileRead (73)
    fileClose (74)
    informationReport (79)
    
```

그림5. IEC 61850 Basic Exchange 메시지 Wireshark Log 패킷

그림8과 같이 SNTP 시각동기를 기반으로 각종 CB, DS, ES 상태를 IEC 61850 프로토콜 기반 하에서 정상 적으로 입력을 받았다. 그림9와 같이 또한 현장설비 제어를 위한 DO 출력도 정상 동작하였다. 또한 그림10과 같이 현장 설치된 현장정보처리반은 기존의 IEC 61850 기반의 IED들과 상호 GOOSE 메시지를 정상적으로 주고받았다. 이는 현장정보처리반이 RTU를 효과적으로 대체하여 IEC 61850 기반의 IED와 동일한 기능을 수행함을 증명한다.

```

Network Time Protocol
▼ Flags: 0x24
  00.. .... = Leap Indicator: no warning (0)
  ...10 0... = Version number: NTP version 4 (4)
  .... .100 = Mode: server (4)
Peer Clock Stratum: primary reference (1)
Peer Polling Interval: invalid (1)
Peer Clock Precision: 0.000004 sec
Root Delay: 0.0000 sec
Root Dispersion: 0.0010 sec
Reference Clock ID: Global Positioning Service
Reference Clock Update Time: Jul 17, 2018 06:33:27.036577 UTC
Originate Time Stamp: Jul 17, 2018 06:33:27.162548 UTC
Receive Time Stamp: Jul 17, 2018 06:33:27.163724 UTC
Transmit Time Stamp: Jul 17, 2018 06:33:27.164102 UTC
    
```

그림6. IEC 61850 SNTP Wireshark Log 패킷

IEC 61850 변전자동화시스템은 국제규격의 통신서비스를 이용하여 각 기기들 간의 상호 운용성(Interoperability)의 보증을 기반으로 운영되기 때문에 시스템을 구성하는 IED와 상위운영 시스템의 통신상의 적합성 검증이 중요하며, 본 논문에서 실증하고자 하였던 일반형 RTU 기반의 변전소 운영시스템을 디지털 변전자동화시스템에 적합한 IEC 61850 기반의 변전소로의 전환에 있어서 현장정보처리반이 IEC 61850 기반의 IED와 같이 효과적으로 상위운영시스템

기존 아날로그 변전소의 디지털 기반 SA 변전소로의 전환에 대한 실증 연구

과의 통신상의 적합성을 만족하였다.

```

ISO/IEC 9506 MMS
Unconfirmed (3)
  InformationReport
    VariableList
      RPT
      AccessResults
        VSTRING:
          MEAS/LLN0$RP$URCB_CT_3MMXU
        BITSTRING:
          BITS 0000 - 0015: 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0
          UNSIGNED: 75
        BTIME
          BTIME 2018-07-19 06:50:21.900 (days=12618 mst)
        VSTRING:
          E296_LID3MEAS/LLN0$D5_CT_3MMXU
          UNSIGNED: 1
        BITSTRING:
          BITS 0000 - 0015: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
        VSTRING:
    
```

그림7. IEC 61850 Unbuffered Reporting 메시지 Wireshark Log 패킷

```

ISO/IEC 9506 MMS
Unconfirmed (3)
  InformationReport
    VariableList
      RPT
      AccessResults
        VSTRING:
          DO/DO_1GGIO1$RP$DO_1GGIO1
        BITSTRING:
          BITS 0000 - 0015: 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0
          UNSIGNED: 98
        BTIME
          BTIME 2018-07-18 03:20:56.887 (days=12617 msec= 12056887)
        VSTRING:
          E296_LID1DO/DO_1GGIO1$D5_DO_1GGIO1
          UNSIGNED: 1
        BITSTRING:
          BITS 0000 - 0015: 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          BITS 0016 - 0031: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          BITS 0032 - 0047: 0 0 0 0 0 0 0 0
        VSTRING:
          E296_LID1DO/DO_1GGIO1$T$SPCS04
        STRUCTURE
          BOOLEAN: TRUE
        BITSTRING:
          BITS 0000 - 0015: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    
```

그림8. IEC 61850 입력 Wireshark Log 패킷

```

ISO/IEC 9506 MMS
Conf Request (0)
Write (5)
InvokeID: InvokeID: 40643
  Write
    List of Variable
      object Name
      Data
        STRUCTURE
          BOOLEAN: TRUE
          STRUCTURE
            INTEGER: 3
            OSTRING:
            UNSIGNED: 181
            UTC
            UTC 2018-07-18 03:20.48.000060 Timequality: 0a
            BOOLEAN: FALSE
            BITSTRING:
            BITS 0000 - 0015: 0 0
    
```

그림9. IEC 61850 출력 Wireshark Log 패킷


```

goose
AppID*: 1
PDU Length*: 238
Reserved1*: 0x0000
Reserved2*: 0x0000
▼ PDU
  IEC GOOSE
  {
    Control Block Reference*: D980_C4344ALRM/LLN0$Go$Gocba
    Time Allowed to Live (msec): 4000
    DataSetReference*: D980_C4344ALRM/LLN0$pubDset1
    GOOSEID*: D980
    Event Timestamp: 2018-07-10 09:04.50.483000 Timequality: 0a
    StateNumber*: 181
    Sequence Number: 297763
    Test*: FALSE
    Config Revision*: 1
    Needs Commissioning*: FALSE
    Number Dataset Entries: 30
    Data
    {
      BITSTRING:
        BITS 0000 - 0015: 1 0
      BITSTRING:
        BITS 0000 - 0015: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    }
  }

```

그림10. IEC 61850 GOOSE 메시지 Wireshark Log 패킷

V. 결론

본 논문에서는 변압기, GIS 등의 일반 변전소 설비의 계측, 제어 신호가 연결된 RTU 및 관련 설비를 디지털 SA 변전소에 적합한 IEC 61850 기반으로 전환할 수 있는지에 대해서 실증 연구하였다. 기존에 사용되고 있는 RTU 기반의 현장정보처리반을 IEC 61850기반으로 구성할 수 있는 IEC 61850기반의 현장정보처리반, 이더넷스위치반, SA 시스템반, SA 운영장치를 현장에 설치하여 실증하였다. 그리고 IEC 61850 Client 인증 프로그램과 Wireshark를 사용하여 시각동기, 상태감시, 상태제어, GOOSE 메시지 등이 IEC 61850 국제 규격에 적합하게 동작함을 확인할 수 있었다. 일반형 RTU 및 현장정보처리반 기반의 변전소 운영 시스템을 IEC 61850 기반의 SA 운영 시스템으로 대체 적용함으로써 기설 변전소의 변압기, GIS 등의 전력설비를 그대로 사용하면서 변전소를 IEC 61850 기반의 디지털 SA 변전소 운영 시스템으로 전환이 가능함을 실증하였다. 향후, 미검증 적합성 항목에 대해서는 시험기관을 통하여 추가 검증하고, 기설 변전소 복수 개소에 대체 적용하여 기존 일반형 RTU 기반의 변전소 운영 시스템을 효과적으로 SA 변전소 운영 시스템화 할 수 있음을 지속적으로 실증 검증 및 보완해 나갈 계획이다.

참고 문헌

- [1] 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
- [2] Sim-Bok Yuk, Sung-Hwan Lee, Chong-il Kim, "A Study on change from an

RTU-based substation to IEC 61850-based SA substation”, JKIIECT, Vol.11 No.2, April, 2018

- [3] Sim-Bok Yuk, Sung-Hwan Lee, Chong-il Kim, “A Study on the Possibility of Transforming to Digital Substations using IEC 61850 Field Information Processing Panel of Legacy Substation”, JKIIECT, Vol.11 No.4, August, 2018
- [4] Yong-Hak Kim · Jeong-Yeol Han · Nam-Ho Lee · Byeong-Heon Kim · Nae-Ho Park · Jung-Woo Hong, “The Realization Methods of IEC 61850 Based 154[kV] Substation Automation System in KEPCO System”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 24(5) : 86~93, 2010
- [5] 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
- [6] Conformance Test Procedures for client with IEC 61850-8-1 interface Revision 2.2, UCA IUG, 2009.
- [7] Alex Apostolov, “We can not test 21st century IED with 20st century testing technology”, Pac world winter, 2008.
- [8] N.H Lee, B.T Jang, S.M Youn, J.Y han, Y.H Kim, “Development of the IEC61850 Traffic Analysis Interface Module for Constructing the SAS Test Automation System”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Spring Conference Papers, 2011
- [9] Nam-Ho Lee, Byung-Tae Jang, “Performance Analysis of the GOOSE Transmission of an IED Considering Network Redundancy”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.10, pp. 75~80 October 2009