

# Evaluation Technique for Digital Substation System based on IEC 61850

## IEC 61850 기반 디지털변전시스템 시험기술 현장 적용

Namdae Kim

김남대

### Abstract

디지털변전소는 IEC 61850 기반 상위운영장치와 IED(Intelligent Electric Device)로 구성된 변전자동화시스템이 적용된 변전소를 의미한다. 한전은 2013년 이후로 신설되는 154kV 변전소를 디지털변전소로 구축하고 있으며, 기설변전소도 디지털화를 통해 디지털변전소로 변모하고 있다. 이렇게 변전소에 IEC 61850 기반의 변전자동화시스템이 확대 도입됨에 따라 통신 설정과 성능을 검증하는 시험이 반드시 필요하다. 이에 전력연구원은 세계 최고수준의 IEC 61850 기반 디지털변전 시험기술을 확보하였으며, 본 보고서를 통해 연구원이 보유하고 있는 시험기술과 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

**Keywords:** IEC 61850, 디지털변전소, 변전자동화시스템, 상위운영시스템, IED

### 1. 기술 개요

디지털변전소는 IEC 61850 기반 상위운영장치와 IED로 구성된 변전자동화시스템이 적용된 변전소를 의미한다. 상위운영장치는 변전소 내의 전력설비를 제어하고, 감시할 수 있는 HMI(Human Machine Interface)와 변전소 정보를 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)로 보내는 역할을 수행하는 정보연계장치로 구성된다. IED는 기존의 계전기에 IEC 61850 기반 통신 기능이 부가되어, 보호·제어·감시 기능을 수행하는 지능형 전자장치이며, 상위운영장치와 통신 네트워크로 연결되어 변전자동화시스템을 구성한다.

한전은 무인 자율운전 변전소 운영을 목표로 2013년 이후로 신설되는 154kV 변전소를 디지털변전소로 구축하고 있으며, 기설 변전소 역시 디지털화를 통해 디지털변전소로 변모하고 있다. 현재 기준으로 약 100여개의 디지털변전소가 운영되고 있으며, 변전소에 IEC 61850 기반의 변전자동화시스템이 확대 도입되고 있다. 뿐만 아니라 전력설비 노후화에 따른 고장 증가를 사전에 방지할 수 있는 변전소 종합 예방진단 시스템도 IEC 61850 규격을 기반으로 운영되고 있으며, 이를 안정적으로 운영하기 위해서는 통신 설정과 성능을 검증하는 시험이 반드시 필요하다.

이에 전력연구원은 세계 최고수준의 IEC 61850 기반 디지털 변전 시험기술을 확보하였다.

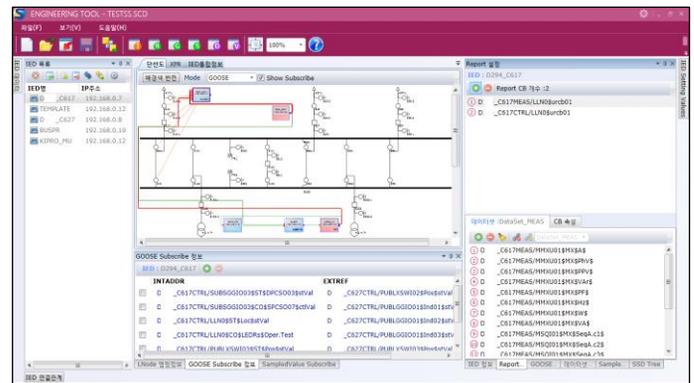


Fig. 1. IEC 61850 기반 CID 통신 설정 점검용 엔지니어링 툴

이러한 시험기술에는 변전자동화시스템의 통신 설정을 점검할 수 있는 IEC 61850 엔지니어링 툴, 상위운영시스템과 IED의 통신을 점검하는 KIE(KEPCO IED Explorer). 그리고 IED 간의 통신을 점검하는 GOOSE Agent를 개발하였다. 또한, 범용적으로 사용되는 패킷 분석기인 Wireshark를 활용한 통신트래픽 분석 기술과 네트워크 트래픽 및 건전성을 시험하기 위한 분석기를 보유하고 있다.

본 보고서를 통해 연구원이 보유하고 있는 시험기술과 시험 방법을 설명하고, 디지털변전소 현장적용 사례를 소개하고자 한다.



저자 김남대 | 한국전력공사 전력연구원 연구전략실

1988년 3월 22일생. 2013년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2015년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년~현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원으로 재직하고 있으며, IEC TC57 WG10 멤버로 활동. 연구 분야는 변전자동화 시스템, IEC 61850 적합성 시험, RTDS, HILS.

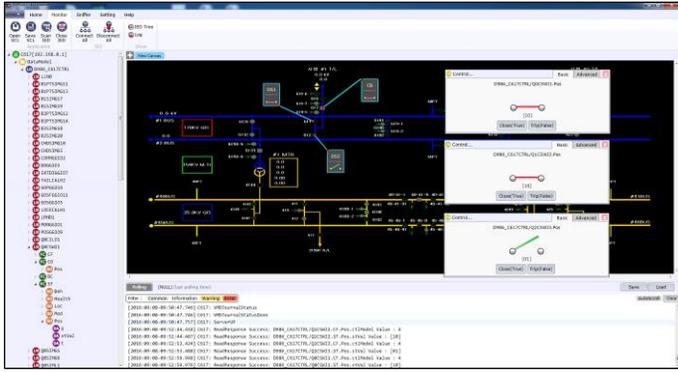


Fig. 2. MMS 기반 통신 성능 점검용 KIE(KEPCO IED Explorer)

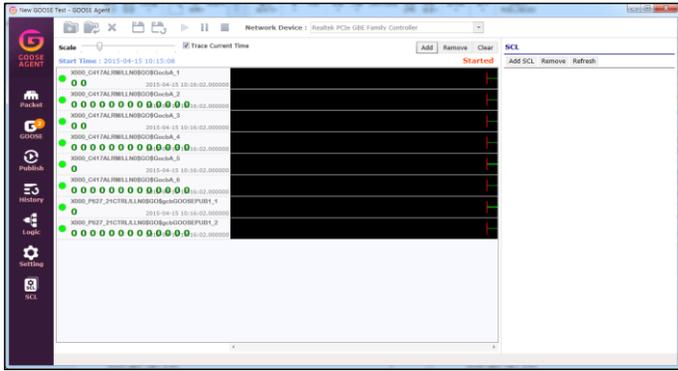


Fig. 3. GOOSE 기반 통신 성능 점검용 GOOSE Agent

II. 기술적용 대상 및 시험방법

디지털변전 시험기술은 변전자동화시스템을 구성하고 있는 IEC 61850 기반 전자장치를 대상으로 통신 설정과 성능을 검증한다. 일반적으로 시험은 변전자동화시스템에 연결되지 않은 상태에서 진행되는 오프라인 검증과 시스템에 연결되어 진행되는 온라인 검증, 네트워크 건전성 검증으로 진행된다.

오프라인 검증 단계에서는 Fig. 1의 엔지니어링 툴을 활용하여 IED가 통신 네트워크 내에서 TCP(Transmission Control Protocol)/IP(Internet Protocol) 통신을 하기 위한 기본 네트워크 설정과 IED가 가진 보호·제어·감시 정보를 그룹핑한 Dataset 설정, IED의 정보를 상위운영시스템으로 전송하기 위한 RCB(Report Control Block) 설정, 그리고 다른 IED로 전송하기 위한 GoCB(GOOSE Control Block) 설정이 완료된 CID(Configured IED Description) 파일과 한전에서 IED의 통신 설정을 관리하기 위한 IET(IED Engineering Table) 파일을 비교하여 일치 여부를 점검한다.

온라인 검증 단계에서는 Fig. 2의 KIE를 활용하여 오프라인 검증 단계에서 점검된 RCB, GoCB 통신 설정들이 IED에 실제로 적용되었는지 점검한다. 그리고, IED에 접속하여 IED의 전원이 들어 온 시간, 다른 IED로부터 수신되는 GOOSE의 상태, 물리적인 통신 포트 상태, 변전소 내에 있는 시각 서버와의 시각 동기 상태를 점검한다.

또한, 통신 패킷 분석기인 Wireshark를 활용하여 IED가 상위 운영시스템으로 전송하는 MMS (Manufacturing Message Specification) Report를 분석하여 상태·계측 값에 대한 적합성,



Fig. 4. 네트워크 트래픽/건전성 분석기 및 클리너(Fluke社)

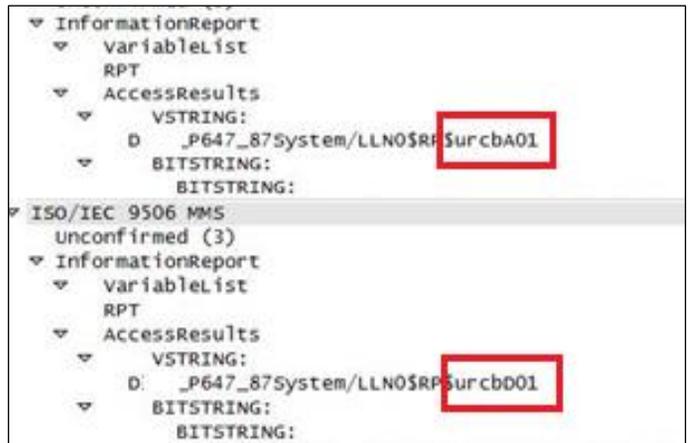


Fig. 5. 송전선로 보호 IED의 상태 데이터 전송 RCB(2개).

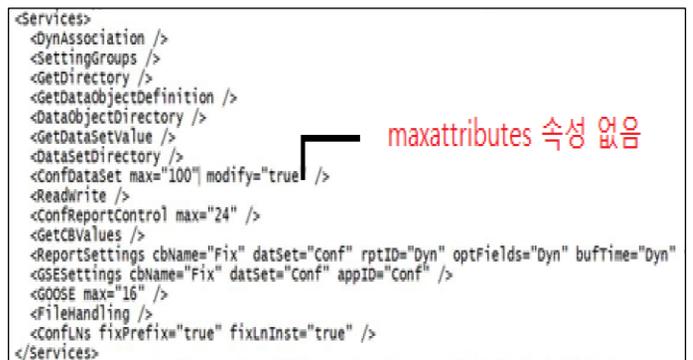


Fig. 6. 송전선로 보호 IED의 CID 파일(ConfDataset 속성)

상태 데이터 전송 주기(60초)와 계측 데이터 전송 주기(5초), 시각 동기 정보 등이 한전 변전소 운영 기준과 일치하는지 점검한다. 그리고, IED간 송수신되는 GOOSE Message 분석을 위해 Fig. 3의 GOOSE 전용 분석기인 GOOSE Agent를 활용하여 GOOSE MAC Address, 데이터 멤버 순서와 개수 등을 확인한다.

마지막으로 Fig. 4의 네트워크 분석기(Fluke社)를 활용하여 네트워크 트래픽을 분석하여 이상 부하 혹은 Loop 현상 여부를 확인하고, 물리적인 네트워크 연결 과정에서 발생할 수 있는 케이블 오염 상태를 점검한다. 광 케이블 오염 진단 시, 상용 클리너를 이용하여 오염원을 제거하는 작업을 수행한다.

_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsA5cVal\$mag\$sf	FLOAT32	13234.4
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsA5q	Quality	[0000000000000]
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsA5t	Timestamp	11/05/2020_05:04:27.796 [011] 1010
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsB5cVal	Struct	'011' 시각동기 안됨 표시
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsB5cVal\$mag	Struct	
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsB5cVal\$mag\$sf	FLOAT32	13325.2
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsB5q	Quality	[0000000000000]
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsB5t	Timestamp	11/05/2020_05:04:27.796,[01101010]
_C4244MEAS/MMXU1\$MX\$PhV\$phsC5cVal	Struct	

Fig. 7. 제어 IED의 시각 동기 설정 전 데이터('011')

```

PDU
  IEC GOOSE
  {
    Control Block Reference*: D _C4244ALRM/LLN0$GO$Gocba
    Time Allowed to Live (msec): 4000
    DataSetReference*: D389_C4244ALRM/LLN0$pubdset1
    GOOSEID*: D
    Event Timestamp: 2020-11-05 05:24.50.942000 Timequality: 01
    StateNumber*: 78
    Sequence Number: 20
    Test*: FALSE
  }
  '000' 시각 동기 정상 표시
  
```

Fig. 8. 제어 IED의 시각 동기 설정 후 데이터('000')

### III. 시험기술 적용

#### A. IEC 61850 엔지니어링 점검

1) 한전 디지털변전소의 상태 데이터 전송을 위한 RCB는 일반적으로 상위운영장치별 1개로 사용하도록 되어있다. 하지만 송전선로 보호 IED의 RCB 사용 수를 점검한 결과, Fig. 5에서 한전 기준 사용 수의 2배를 사용하고 있음을 확인하였다. IED의 특성상, RCB에 참조할 수 있는 Dataset의 멤버 수가 한정되었기 때문에 RCB 사용 수량을 늘릴 수 있으나 해당 IED의 CID를 분석한 결과, Fig. 6과 같이 ConfDataset의 속성 값인 maxattrites가 정의되어 있지 않았으므로 IEC 61850 엔지니어링에 문제가 있다고 판단하였다 [1].

2) IED의 계측 값은 상태 데이터와 달리 주기적으로 업데이트하므로 시각 서버와 시각 동기화된 시간을 기록하고 있다. 하지만 제어 IED의 계측 값 시간 데이터를 점검한 결과, Fig. 7에서 Timestamp 중 처음 3Bit의 Time quality 값이 시각 동기가 안되었음을 의미하는 '011'임을 확인하였다. 현장 IED의 전면부에서 시각 서버의 IP를 확인한 결과, 해당 값의 설정오류를 확인하였고, 현장에서 즉시 조치하여 정상적으로 시각이 동기 됨('000')을 Fig. 8과 같이 확인하였다 [2].

#### B. 통신 트래픽 점검

1) 상위운영장치가 변전소 운영을 위해 참고하고 있는 배전선로 IED의 CID를 가지고 IED의 GOOSE 송신을 분석한 결과, Fig. 9에서 해당 IED의 2개 데이터 속성을 GOOSE로 전송하지 않음을 확인하였다. CID 파일에는 8개의 데이터를 GOOSE로 전송하도록 설정되어 있으나 실제 IED는 6개의 데이터를 GOOSE로 전송하고 있음을 확인하였고, IED의 GOOSE 시험 재수행 필요성과 시험 재개 여부를 기 준공시험 내용을 검토하여 결정하도록 권고하였다.

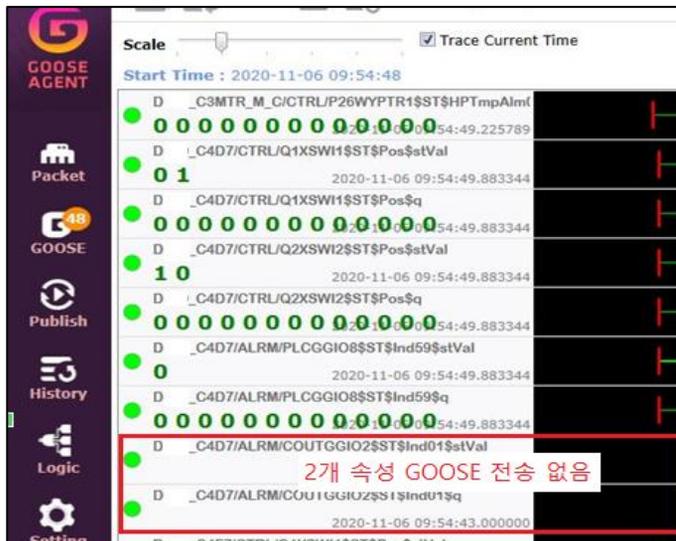


Fig. 9. 배전선로 IED의 GOOSE 전송 정보 불일치

```

PDU
  IEC GOOSE
  {
    Control Block Reference*: D _P2MTR_51SLD0/LLN0$GO$GCB
    Time Allowed to Live (msec): 11000
    DataSetReference*: D _P2MTR_51SLD0/LLN0$DS_Goose
    GOOSEID*: D389
    Event Timestamp: 2020-08-06 04:25.12.232626 Timequality: 11
    StateNumber*: 19
    Sequence Number: 793613
    Test*: FALSE
    Config Revision*: 1
    Needs Commissioning*: FALSE
    Number Dataset Entries: 8
  }
  '001' 시각동기 안됨 표시
  
```

Fig. 10. 변압기 보호 IED의 GOOSE 시각 동기 표기 오류

```

InformationReport
  VariableList
  RPT
  AccessResults
  VSTRING:
  D389_P3MTR_87LD0/LLN0.RCB_Meter
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0
  UNSIGNED: 235
  BTIME
  BTIME: 2020-11-05 05:55:43.704 (days=13458 msec= 21343704)
  VSTRING:
  D389_P3MTR_87LD0/LLN0$DS_Meter
  UNSIGNED: 1
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 1 1
  VSTRING:
  D389_P3MTR_87LD0/CMMXU1$MX$A
  VSTRING:
  D389_P3MTR_87LD0/CMMXU2$MX$A
  STRUCTURE
  STRUCTURE
  STRUCTURE
  STRUCTURE
  FLOAT: 13.875295
  INTEGER: 0
  BITSTRING:
  BITS 0000 - 0015: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  UTC
  UTC: 2020-11-05 05:55.39.287000 Timequality: 0a
  
```

Fig. 11. 변압기 보호 IED의 계측값 측정 시간과 전송 시간 차이

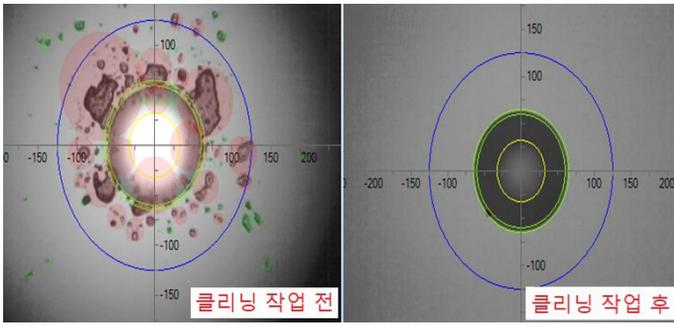


Fig. 12. 광 케이블 오염원 제거 전후 변화

2) IED가 최초로 GOOSE를 전송할 시, 시각 서버와 시각 동기 전에 GOOSE 기능을 동작 시키기 때문에 첫번째 GOOSE (StNum=1)는 시각 동기가 안되었다는 의미로 Time quality는 '001' 과 Time accuracy는 초기값인 '00000'을 갖도록 구현할 수 있다. 하지만 Fig. 10과 같이 이벤트가 수차례 발생(StNum=19)한 경우에도 여전히 Time quality가 '001'의 값과 Time accuracy가 '00000'을 유지하고 있기 때문에 시각 동기 표시에 문제가 있는 것으로 판단하였다[3].

3) IED는 현재 기준으로 계측된 값을 상위운영장치로 전송을 해야한다. 하지만 Fig. 11의 변압기 보호 IED의 경우, 약 4.5초 이전에 계측된 데이터를 현재 값으로 보내고 있기 때문에 변전소 운영에는 적절하지 않다고 판단하였다.

### C. 네트워크 건전성 점검

다수의 전자장치로 구성되는 변전자동화시스템은 네트워크 시스템을 통해 신호가 송수신된다. 한전의 디지털변전소는 네트워크 연결을 위해 전기신호 기반의 RJ-45 연결이 아닌 광 신호를 기반으로 하는 케이블을 사용하고 있으며, 광을 이용하는 특성 때문에 설치 장소의 먼지 등의 환경에 민감하다.

현장의 IED의 통신 포트에 연결된 광 케이블에 대한 오염을 분석하였고, 그 결과 Fig. 12와 같이 광 케이블이 일부 오염되어 있는 것을 확인하였으며, 광 케이블 포트 클리닝 작업을 통해 오염원을 제거하였다.

디지털변전소를 구축하는 과정에서 네트워크의 케이블 포설 작업이 진행되고, 시스템 기동 및 시험 중에 물리적인 통신 포트 변경을 반복적으로 수행하기 때문에 광 케이블의 광원이 오염될 수 있다. 이러한 광원의 오염은 광 네트워크 기반의 변전자동화시스템 통신에 문제를 야기할 수 있다.

## IV. 향후 계획

시험기술을 적용하여 검증한 결과, 현장에서 오류로 판단된 부분은 한전 및 제작사 담당자에게 전달하여 시스템이 유지보수될 수 있도록 조치하였다. 디지털변전소 변전자동화시스템은 다수의 제작사가 참여하기 때문에 문제가 발생할 경우, 제작사 간 의견이 대립할 가능성이 매우 크다. 따라서, 디지털변전소의 IEC 61850 기능 및 통신 기반 정보 교환 과정에 문제가 발생한다면 상위운영장치나 IED 제작사의 주관적인 관점에 의한 분석으로 해결하는 것을 지양하고, 한전 소속의 전력연구원이 보유한 세계 최고 수준의 디지털변전 시험 기술을 활용하여 현장의 상황을 객관적으로 분석할 필요가 있다.

또한, 상위운영장치나 IED의 기능이 고도화됨에 따라 데이터에 대한 해석도 제작사별로 차이가 발생할 수 있기 때문에 제작사 간 상호운용성이 문제가 되는 것을 사전에 검증할 수 있는 상호운용성 시험을 필수적으로 수행할 필요가 있으며, 제품 기능이 수정되거나 신규로 납품될 때 국제인증을 받았던 내용과 달라 현장에서 애로사항이 있으므로 등록 과정에서 이를 확인하는 과정이 필요하다.

본 보고서를 통해 한전 전력연구원이 보유하고 있는 IEC 61850 기반 디지털변전 시험기술과 시험방법을 설명하고, 디지털변전소 현장에 적용한 사례를 소개하였다. 디지털변전소는 향후 Full 디지털변전소와 변전소 공유데이터를 활용한 지능형 어플리케이션이 적용된 지능형 디지털변전소로 발전해 나아갈 것이다. 변전자동화시스템이 진화될수록 이를 안정적으로 운영하기 위해 요소장치의 통신 기능과 성능을 검증하기 위한 시험기술 또한 전력연구원에서 선도적으로 개발할 계획이다.

### Acknowledgment

이 보고서는 “한국전력공사 대구본부 전력관리처 설비보강부”의 요청으로 '20. 11. 3 ~ '20. 11. 10까지 수행된 기술지원 결과를 바탕으로 작성되었음.

### References

- [1] Communication networks and systems for power utility automation - Part 6: Configuration description language for communication in electrical substation related to IEDs, IEC 61850 Standard Part 6, 2013.
- [2] Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-2: Basic information and communication structure - Abstract communication service interface (ACSI), 2010.
- [3] Communication networks and systems for power utility automation - Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) - Mapping to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, 2011.