

변전자동화시스템 구축을 위한 IEC 61850 통신신뢰성 검증 방안

(Verification Strategy of IEC 61850 Communication Reliability for Constructing the Substation Automation System)

이남호 · 장병태 · 안용호 · 김병헌 · 심응보

(N.H Lee · B.T Jang · Y.H An · B.H Kim · E.B Shim)

한국전력공사 전력연구원

Abstract

IEC 61850 based substation automation system is operating under digital network with a number of IEDs and a HMI as relation of server and client. In case of IEDs, before implementing the system, all of the system integrators require IEC 61850 certificate from individual IED manufacture. Otherwise, there is nothing to verify IED for constructing substation automation system at the real substation. This paper shows verification strategy of IEC 61850 communication reliability such as association /release, report, dataset and four type control function.

1. 서론

변전자동화의 국제 규격이 IEC 61850으로 단일화된 이후 전 세계적으로 IED를 비롯한 다양한 제품이 양산 되고 변전소 적용이 확대되어가고 있는 추세에 있으며, 국내의 경우에도 산청변전소를 시작으로 IEC 61850 변전자동화시스템을 시범적으로 적용하고 있고, 또한 정부 주도의 스마트그리드(Smart Grid)의 핵심요소기술로 그 중요성이 날로 커지고 있다. 또한 2005년부터 진행 중인 전력IT “디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 개발” 과제를 통해 네트워크 기반위에 운영되는 154kV 변전소에 적용 가능한 IEC 61850 기반의 IED(Intelligent Electronic Device), 상위운영시스템, 게이트웨이 등 변전자동화시스템 (Substation Automation System) 시작품 개발이 완료되었다[1].

IEC 61850 기반의 변전자동화시스템은 기존의 제어케이블에(Hard-wire)에 의한 1대1 방식이 아닌 이더넷 환경 하에서 이루어지는 서버와 클라이언트의 디지털 방식으로 정보교환이 이루어지는 특징을 가지고 있다. 변전소를 구성하는 모든 설비를 가상의 데이터 모델로 구현하고 모든 제품에 동일한 데이터 정보객체를 가지고 구현하는 것을 의미하는 IEC 61850기반의 변전자동화는 제조사가 다르더라도 상호간 데이터 통신을 통한 변전소의 보호, 제어, 감시가 가능해야한다. 이를 위해서는 변전자동화시스템을 구성하는 제품의 상호운용성(Interoperability)이 보장되어야하며 이를 위해서 UCA의 국제전문가모임(International Users Group)에서 제정한 14가지 IEC 61850 통신서비스 시험항목으로 구성된 적합성 인증 항목을 IED가 만족해야 한다.[2-7] 하지만 IED에 적용되는 적합성 인증시험은 변전소에

설치하기 위한 사전조건인 개별 IED의 타입테스트로 실 계통의 변전자동화시스템을 구축하기 위해서는 IED가 변전소의 보호제어기능 및 서버로서의 데이터 전송능력이 있는지를 검증하는 SAT(Site Acceptance Test)를 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 다년간의 IED에 대한 IEC 61850 적합성 시험과 실 계통 적용에 대한 경험을 토대로 변전자동화시스템 구축을 위한 IEC 61850 통신 신뢰성 검증 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 SA 통신 신뢰성 검증 개요

IEC 61850 인증을 받은 IED의 현장 설치 전, 후 IED의 IEC 61850 통신 가능여부 검증을 통해 변전자동화시스템의 장치 간 상호운용성(Interoperability)이 보장 받을 수 있다. 본 논문에서 제시하는 IEC 61850 통신 신뢰성 검증 방안은 변전자동화시스템 구축을 위한 SAT의 일부로서 변전자동화시스템의 서버로서 동작하는 IED가 네트워크 환경 하에서 클라이언트와의 연결을 전제로 하는 데이터 요청과 응답, 제어, 리포트와 서버인 IED 간의 메시지 전송방법인 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)의 송·수신 관계를 검증하는 것이다. IED의 IEC 61850 통신신뢰성 검증을 위해서는 IED의 적합성 인증시험시스템을 이용하게 되며, 그림 1과 같이 시험시스템은 이더넷 네트워크 스위치를 중심으로 시험 대상 IED, 트래픽 분석기, IEC 61850 클라이언트 및 적합성 시험 시스템(본 연구에서는 IEC 61850 적합

성 인증기관인 KEMA에서 개발한 UniCA 61850 시뮬레이터, GOOSE 시뮬레이터 사용)으로 구성된다. 본 연구에서 제시하는 검증 방안은 IEC 61850 server test procedures revision 2.2 시험항목으로도 적용 가능하며, 검증 방안을 구현을 위해 네트워크 설정, IED의 GOOSE 통신시험을 위한 펌웨어 설정 그리고 제어기능의 시험을 위한 스위치 머신을 필요로 한다.

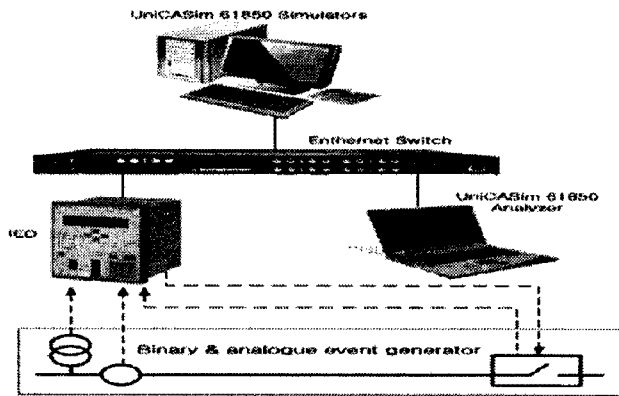


그림 1. IEC61850 통신신뢰성 검증시스템 구성
fig 1. System configuration for IEC 61850 communication test

2.2 통신 신뢰성 검증 방안

본 논문에서는 제시하는 신뢰성 검증방안은 아래와 같이 9개의 시험 항목으로 구성되며 IED에 구현된 제어기능의 종류에 따라 실제 IED의 통신시험에 적용되는 시험항목은 다를 수 있다.

㉠ 기본연결시험(Test 1)

IED는 IEC 61850 변전자동화시스템의 서버/클라이언트 관계를 가지고 이더넷 통신기반위에 동작하기 때문에 클라이언트와의 통신연결과 해제를 자유롭게 할 수 있어야한다.

■ 시험절차

- 클라이언트 Associate 요청/ IED 응답
- 클라이언트 Release 요청/ IED 응답
- 위의 과정을 20회 반복

※ IEC 61850 server test procedures Ass1 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 Associate와 Release요청에 긍정(Positive) 응답여부 확인

㉢ 데이터 값 요청(Test 2)

IED내에 구현된 데이터모델은 IEC 61850에서 제시하는 계층적 구조인 LD(Logical Device)-LN(Logical Node)-DO(Data Object)-DA(Data Attribute)로 이루어져 있으며 변전자동화시스템의 엔지니어링은 이러한 IED의

데이터 모델기반위에 이루어진다. 또한 클라이언트의 아래와 같은 데이터 계층에 대한 요청에 응답기능이 있어야 IED가 가지고 있는 데이터를 제공할 수 있다.

■ 시험절차

- 클라이언트 IED 계층적 데이터(LN/DO/DA)에 대한 GetDatavalues 순차적 요청

예 :

Logical node: LLN0

Functional constrained data: LLN0\$\$ST

Functional constrained data attribute: LLN0\$\$ST\$Mod

Functional constrained data attribute type: LLN0\$\$ST\$Mod\$stVal

Functional constrained data attribute type attribute

- IED 요청된 데이터 값 전송

※ IEC 61850 server test procedures Srv5 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 GetDatavalues요청에 값 전송 확인

㉣ 데이터 셋 생성 및 삭제 요청(Test 3)

서버인 IED가 상위시스템으로 데이터를 전송하는 방법인 리포트와 IED간에 이루어지는 데이터 전송 방법인 GOOSE는 IED의 데이터모델의 집합체인 데이터 셋을 만들어 보내게 된다. 따라서 IED가 전송하고자 하는 데이터 셋을 생성하고 삭제할 수 있는 능력을 시험하는 것은 필수사항이다.

■ 시험절차

- 클라이언트 데이터 셋(DataSet) 생성을 위한 CreateDataset 요청/IED 응답 및 IED 데이터 리스트 생성 확인

- 클라이언트 생성된 데이터 셋 삭제 DeleteDataset 요청/ IED 응답

-영속성(Persistent) 및 비영속성(Non-persistent) 모두 수행

※ IEC 61850 server test procedures Dset2, Dset3 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 CreateDataset와 DeleteDataset요청에 긍정(Positive) 응답여부 확인

- 영속성 데이터셋의 경우 IED의 데이터 리스트에 생성되었는지 확인

■ 특이사항

- IED가 동적데이터셋 생성을 지원할 경우만 시험 가능함

㉔ 리포트 전송 시험(Test 4)

IED가 클라이언트로 데이터를 전송하는 IEC 61850 리포트는 이벤트 저장여부에 따라 버퍼 또는 언버퍼 형식으로 나누어지며 변전자동화시스템을 구축하기 위해서는 IED의 리포트 컨트롤 블록(Report Control Block) 설정과 이에 따른 리포트 전송을 검증해야 한다.

- 시험절차
 - IED 리포트 발생 가능한 RCB 선정
 - 클라이언트 URCB resev=True 요청(URCB만 해당)/ IED 응답
 - 클라이언트 RCB 설정 SetURCBValues(or SetBRCBValues) 요청/ IED 응답
 - ※ 설정내용
 - ▶ 옵션필드설정: sequence-number, report-time-stamp, reason-for-inclusion, data-set-name, data-reference
 - ▶ 트리거조건: data-change, quality-change, data-update, integrity, general-interrogation
 - ▶ integrity-period : 10초
 - ▶ 기타 설정 : IED Default value
 - 클라이언트 RCB Rptena=true 요청/ IED 응답
 - IED 상태1~2회 변화 (예: DI 입력)/ IED 리포트 발생
 - IED 주기적 리포트 발생
 - RCB는 IED에 구현된 종류(Unbuffered 또는 Buffered) 모두를 대상
 - ※ IEC 61850 server test procedures Rp3, Br3 대체 가능
- 확인사항
 - IED가 클라이언트의 RCB 설정 요청에 긍정(Positive) 응답여부 확인
 - IED 상태데이터 변화에 따른 리포트 발생 확인
 - IED 주기적 리포트 발생 확인

㉕ GOOSE 송수신(Test 5)

변전자동화시스템의 상호운용성을 보장하는 내용 중 핵심인 GOOSE는 IED가 GOOSE 메시지를 그림 1과 같은 간격과 IEC 61850 규칙으로 보내는지와 상대방 IED에서 보내온 GOOSE 메시지를 수신하여 응답할 수 있는지를 확인함으로써 검증할 수 있다.

- 시험절차
 - IED 수신된 GOOSE값에 반응하여 GOOSE 발생하도록 설정
 - GOOSE 시뮬레이터 설정된 GOOSE 전송
 - IED GOOSE 전송
 - GOOSE 시뮬레이터 상태 값 변화(예:0->1) 후

GOOSE 전송

- IED GOOSE 전송
- 확인사항
 - IED가 수신된 GOOSE의 값이 변할 때 SeqNum=0으로 시작하고 StNum이 증가되어 동일한 값으로 GOOSE를 전송하는 지 확인
 - 상태 값이 변할 때 GOOSE 간격이 아래 그림과 같은 규칙으로 전송되는 지 확인

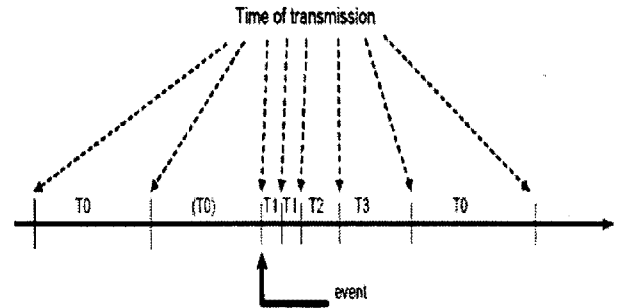


그림 2. GOOSE 전송 간격
fig 2. GOOSE Transmission interval

IEC 61850에서 정의하는 변전자동화시스템의 제어요소는 직접제어, 선택제어, 보안이 강화된 직접제어, 보안이 강화된 선택제어가 있으며 IED에 구현된 제어기능에 대해 아래와 같은 시험을 수행하게 된다. 보안이 강화된 제어기능의 경우 차단대상이 되는 스위치의 상태정보가 없으면 제어기능 수행이 어렵고 실계통 시험에서 차단기의 개폐가 쉽지 않아 그림 3과 같이 IED 제어신호에 따라 실제 차단기처럼 동작하고 차단기의 현재 상태를 제공할 수 있는 가상 스위치 머신을 준비해야 한다.

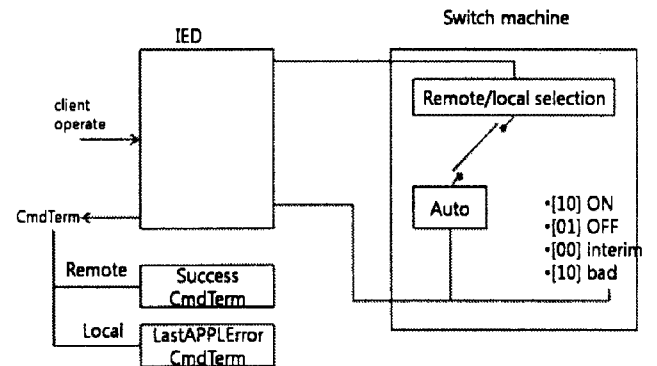


그림 3. 가상 스위치 머신
fig 3. Virtual switch machine

㉖ 직접제어 (Test 6)

- 시험절차
 - IED의 제어신호(DO 출력)를 받을 장치(가상 스위치) 설정

- 클라이언트 선택된 제어객체에 Operate 요청
- IED 응답 및 DO 출력
- ※ IEC 61850 server test procedures Dons1 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 Operate 요청에 긍정 (Positive) 응답여부 확인
- IED DO 출력 확인

㉔ 보안이 강화된 직접제어 (Test 7)

■ 시험절차

- IED의 제어신호(DO 출력)를 받고 접점상태가 IED의 DI와 연결된 장치(가상스위치) 설정
- 클라이언트 선택된 제어객체에 Operate 요청
- IED 응답 및 DO 출력
- 가상스위치 IED DI 입력
- IED CommandTermination 전송

※ IEC 61850 server test procedures Does5 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 Operate 요청에 긍정 (Positive) 응답여부 확인
- IED DO 출력 확인
- IED CommandTermination+확인

㉕ 선택제어 (Test 8)

■ 시험절차

- IED의 제어신호(DO 출력)를 받을 장치(가상 스위치) 설정
- 클라이언트 선택된 제어객체에 Select 요청
- IED 응답
- 클라이언트 선택된 제어객체에 Operate 요청
- IED 응답 및 DO 출력
- 클라이언트 선택된 제어객체에 Select 요청
- IED 응답
- 클라이언트 선택한 제어객체에 Cancel 요청
- IED 응답

※ IEC 61850 server test procedures SBOs2, SBOs3 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 Select, Operate, Cancel 요청에 긍정(Positive) 응답여부 확인
- IED Operate 요청에 DO 출력 확인

㉖ 보안이 강화된 선택제어 (Test 9)

■ 시험절차

- IED의 제어신호(DO 출력)를 받고 접점상태가 IED의 DI와 연결된 장치(가상스위치) 설정
- 클라이언트 선택된 제어객체에 Select 요청
- IED 응답

- 클라이언트 선택된 제어객체에 Operate 요청
- IED 응답 및 DO 출력
- 가상스위치 IED DI 입력

- IED CommandTermination 전송

- 클라이언트 선택된 제어객체에 Select 요청

- IED 응답

- 클라이언트 선택한 제어객체에 Cancel 요청

- IED 응답

※ IEC 61850 server test procedures SBOes2, SBOes3 대체 가능

■ 확인사항

- IED가 클라이언트의 Select, Operate, Cancel 요청에 긍정 (Positive) 응답여부 확인
- IED Operate 요청에 DO 출력 확인
- IED CommandTermination+확인

3. 결 론

본 논문에서는 변전자동화시스템 구축을 위해 시스템의 중요 요소 중의 하나인 IEC 61850 서비스를 지원하는 IED의 통신신뢰성 검증을 위한 방안에 대해 기술하였다. 변전소의 환경이 제어케이블에 의한 일대일 연결이 아닌 네트워크를 통한 정보의 흐름이 이루지는 변화의 시점에서 한전과 같은 전력회사의 입장에서는 기존에 수행하지 않았던 SAT가운데 IED의 통신서비스를 통한 보호 제어 기능과 데이터 제공 기능을 시험하는 것은 필수사항이 되리라 기대할 수 있다. 본 연구의 내용은 향후 국내 변전자동화시스템 구축 시 설비의 신뢰성 검증을 위한 규격에 참고자료로 활용 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. AMANTEGUI, A.CREZO, J.TORRES, ARIVAS and F.COBELO, "The UNIVERSITY City SAS. First Project within IBERDROLA GROUP using IEC 61850 for Complete Substation. Final Experiences and Future Expectations", CIGRE B5-108, 2006
- [2] Juergen Holbach, Julio Rodriguez, Craig Wester, Drew Baigent, Lars Frisk, Steven kunsman and Luc Hossenlopp "Status on the First IEC 61850 Based Protection and Control, Multi-Vendor Project in the United Ststes", TVA 500kV project Report, 2007
- [3] 한국전력공사, "시스템 성능검증 및 실증시험 2단계 1차년도 보고서", 지식경제부, 2009.
- [4] 이남호외 3인 " IEC 61850 변전자동화시스템 실증시험에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 2009
- [5] IEC 61850-10, Communication network and systems in substation- Part10: Conformance Testing, IEC2004
- [6] Conformance Test Procedures for Server Devices with IEC 61850-8-1 interface Revision 2.2, UCA IUG, 2008
- [7] 김상식의 6인 "IEC61850 적합성시험을 위한 QAP", PP.56-57 대한전기학회 하계학술대회, 2006