

모델기반 배전선로 IED 시험절차서 구현

이남호\*, 장병태\*, 이민수\*, 윤석민\*  
한국전력공사 전력연구원\*

Implementation of D/L IED Testing Procedures based on testing models

N.H LEE\*, B.T Jang\*, M.S LEE\*, S.M Youn\*  
KEPCO Research Institute\*

**Abstract** - 현재까지 중전기기 분야의 전력기기들은 주로 단위 기기들의 성능이 시장경쟁력을 좌우하였으며, 대용량화 및 경제적 설계 등이 대표적인 성능요소로 평가되었으나, 앞으로는 전력 감시·제어 및 보호의 효율화를 위한 시스템화의 관점이 많은 비중을 차지하게 될 것이며 이에 따라 2차적인 기능적 측면들이 강조되고, 이러한 기능적 성능들이 시장경쟁력을 크게 좌우하게 될 것으로 사료된다. 따라서 IED의 전기 접점을 통해 이루어지던 예전의 시험방식에서 네트워크를 통한 시스템 차원의 시험방식으로 변화가 요구되고 있다. 본 논문에서는 배전선로 IED를 시스템적으로 시험할 수 있도록 UML을 이용한 성능 시험절차서의 구현 내용을 다루고자 한다.

1. 서 론

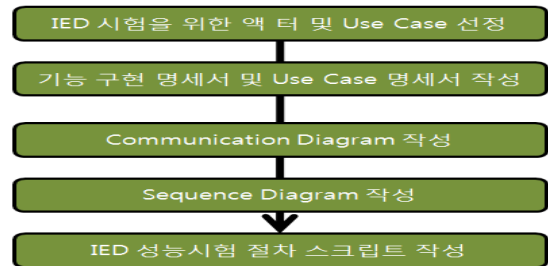
전력설비 세계 시장의 수요 및 공급 구조는 기존의 개별기기 공급 방식에서 변전소 단위 또는 보다 상위 규모의 시스템 단위로 바뀌고 있으며, 이러한 공급 대상 중에서 디지털 IED 기술이 결합된 디지털 변전시스템이 핵심을 이루게 되었다. 즉, 현재까지 중전기기 분야의 전력기기들은 주로 단위 기기들의 성능이 시장경쟁력을 좌우하였으며, 대용량화 및 경제적 설계 등이 대표적인 성능요소로 평가되었으나, 앞으로는 전력감시·제어 및 보호의 효율화를 위한 시스템화의 관점이 많은 비중을 차지하게 될 것이며 이에 따라 2차적인 기능적 측면들이 강조되고, 이러한 기능적 성능들이 시장경쟁력을 크게 좌우하게 될 것으로 사료된다[1-3]. 디지털 기술 기반의 차세대 변전시스템의 시스템 성능 검증을 위해 변전소 전력설비의 보호에 있어 가장 중요한 보호요소 중 하나인 배전선로 IED를 대상으로 하는 IEC 61850 시스템 성능 시험절차서를 구현하였다. 디지털 변전소의 성능 검증은 주로 보호계전기에 대한 보호기능 중심으로 수행되었고 IEC 61850 통신규격이 적용된 IED(Intelligent Electronic Device)의 경우에도 기존의 보호요소에 대한 기능시험과 IED 61850 통신시험이 별도의 적합성 인증 시험을 통해 개별적으로 수행되고 있다. 하지만 시스템이 디지털화됨에 따라 IED들은 상호 통신이 가능해지게 되었으며, 따라서 IED의 전기 접점을 통해 이루어지던 예전의 시험방식에서 네트워크를 통한 시스템 차원의 시험방식으로 변화가 요구되고 있다. 본 논문에서는 배전선로 IED를 시스템적으로 시험할 수 있도록 UML을 이용한 성능 시험절차서의 구현 내용을 다루고자 한다.

2. 본 론

2.1 모델기반 배전선로 IED 성능 시험 시험절차 설계

모델기반 배전선로 IED의 IEC 61850 시험절차서 개발을 위해 S/W 분석 및 설계뿐만 아니라 모델링의 표현이 필요한 모든 분야에 적용이 가능한 UML(Unified Modelling Language)을 이용하고자 한다. 본 논문에서는 일반적인 S/W 분석 및 설계에 사용하는 UML 설계 방법을 디지털변전소에 적용하는 IED의 시스템 수준의 성능시험에 맞게 필요한 다이어그램을 선택하였고 문법적인 표현에 있어서도 일부 변경을 하여 구현하였다. 모델기반의 배전선로 IED가 수행하기 위한 시험절차서는 시험의 내용과 기능을 명세하고 있는 Functional Overview를 작성하고 이와 같은 내용을 반영하여 Communication Diagram에 시험에 사용되는 노드들과 시험의 방법 그리고 IEC 61850 5장의 논리노드의 정보전송을 다루는 PICOM을 표현한다. 또한 Communication Diagram의 내용을 반영하여 Sequence Diagram을 작성하게 되는데 시험에 사용되는 시험자동화시스템의 시험 진행 순서를 정하게 된다. 본 시험에서 사용되는 배전선로 IED의 기능으로는 최소 동작 시험(한시(PTOC)요소), 최소 동작 시험(순시(PIOC)요소), 한시(PTOC) 특성 시험, 순시(PIOC) 특성 시험, 역저지, 자동재폐로, 차단기 제

어, LS 개폐기 제어, ES 개폐기 제어 등의 기능으로 F1 ~ F9까지의 시험으로 분류되어 있다.



<그림 1> 배전선로 IED 시험절차서 구현순서도

2.2 Functional Overview와 Use Case 명세서

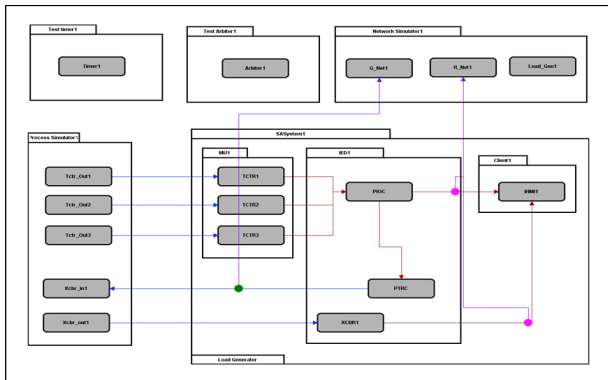
배전선로 IED의 최소 동작 시험(순시(PIOC)요소)을 F1의 고유번호를 가진 Use Case로 설계하고 이에 대한 요구명세서를 표1과 같이 Functional Overview와 Functional Description의 형식으로 작성하였다.

<표 1> 배전선로 IED의 Functional Overview

Functional Overview	
Code	F1
Name	과전류 기능
Description	단락 A, B, C상 순시 과전류를 검출하고, 차단기를 동작시킨다.
Customer	한국전력공사
Substation	22.9kV 부하변전소
Primary User	XCBR
Secondary User	CT, PT
Functional Description	
Trigger	배전선로에 동작 값 이상의 과전류 발생
Component/LN	배전선로 IED, Merging Unit(TCTR), Client(IHMI)
System/IED	TCTR, PIOC, XCBR, PTRC, IHMI
Process Equipments	배전선로, 차단기, 전류전압 발생기, 패킷부하기
Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 사고발생지점(TCTR에 과전류 입력 시험)에서 IED가 PTRC가 차단신호를 출력(PTRC가 Trip을 보내는 시험)하는 시험까지 순시 값은 40ms 이내, 한시 값은 설정치(동작크브)에 따라 다르다.</li> <li>● 과전류 발생에 따라 PIOC가 발생시킨 faultinform(report) 확인</li> <li>● 과전류 발생에 따라 XCBR의 상태 값(report)이 바뀌었는지 확인</li> </ul>
Preconditions	배전선로는 정격전류(부하)를 공급 중
Post Condition on Success	차단기 개방(open)
Post Condition on Failure	차단기투입(close)상태유지

### 2.3 Communication Diagram

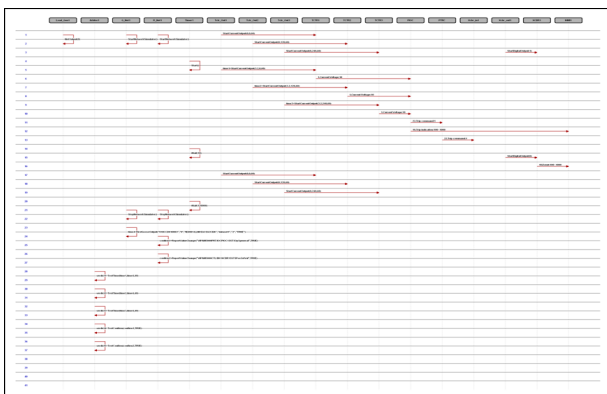
위에서 설명한 Use Case 명세서에 따라 배전선로 IED의 IEC61850 LN(Logical Node)들의 통신을 통한 정보의 흐름과 변전소 모의를 위한 시험프로세스 설비간의 연관 관계를 그림 2의 Communication Diagram으로 설계하였다. Communication Diagram을 통해 배전선로 IED의 과전류 보호기능의 구현에 대해 알 수 있으며 프로세스 설비에서 사고전류가 IED에 주입되면 과전류 보호 LN인 PIOC가 동작하여 차단기 트립 요청 LN PTRC를 통해 외부로 트립 신호를 보내는 것을 알 수 있다. 또한 Communication Diagram에서는 스니퍼 모델을 통해 배전선로 IED가 차단기 트립을 외부로 내보내는 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 메시지와 보호요소와 차단기의 상태 정보를 IEC61850 리포트로 보내는 통신 정보를 설정할 수 있다.



〈그림 2〉 Communication Diagram

### 2.4 Sequence Diagram

Sequence Diagram에서는 배전선로 IED 시험을 Communication Diagram에서 생성한 LN과 시험 프로세스 설비 모델의 멤버함수를 이용하여 순차적으로 표현한다. 변전소의 배전선로의 CT에 의한 전류요소를 의미하는 프로세스 시험모델 Tctr\_out의 멤버함수를 이용하여 배전선로 IED의 순시보호기능 PIOC에 사고전류를 주입하고, 일정시간 이후 차단기를 개로하여 배전선로 IED의 차단기 LN인 XCBR에 신호를 전달해 주도록 설계한다. 배전선로 IED의 사고전류에 의한 보호기능이 동작하는 과정을 네트워크 시뮬레이터를 통해 통신정보를 확보하도록 설계하고, 시험의 감증을 위해 배전선로 IED의 차단기 트립신호가 GOOSE 전송한 시간과 보호기능의 동작이 상위시스템으로 전송이 되었는지 확인하도록 설계한다. 이후 확보된 시험정보를 가지고 배전선로 IED의 순시동작이 사전 설정된 시간 안으로 이루어졌는지 그리고 정보의 표현이 올바르게 이루어졌는지를 Arbiter 시험관정 모델의 멤버함수로 설계하였다. 그림 3은 배전선로 IED의 순시과전류 보호동작 시험을 위한 Sequence Diagram을 보여주고 있다.



〈그림 3〉 Sequence Diagram

### 2.5 시험 스크립트 파일

위에서 UML 다이어그램으로 설계한 배전선로 IED의 시험 절차를 컴퓨터 환경의 시험자동화시스템에 적용하기 위해서 표 2와 같은 시험 스크립트로 변환하였다. 시험 스크립트의 Test Connection은 시험에 필요한 차단기의 상태정보, 타이머,

Network simulator, 전압전류 제어장치, 부하발생장치, 시험 결과 판정자에 대한 시험 객체들을 생성하는 과정이다. Test Setup은 배전선로 IED의 시험 시작을 위해 IED의 상태정보를 초기화시키기 위한 부분으로 XCBR의 상태를 Close로 설정하고 IED의 입력되는 전류 or 전압을 초기 값인 0의 크기로 설정하기 위한 작업이 진행되는 부분이다. Test Start에서는 시험자동화시스템의 실행을 위한 부분으로 트래픽 분석 모듈의 실행을 제어하는 부분과 TCTR 전압 또는 전류를 픽업치 크기로 인가하기 위한 제어 부분 그리고 XCBR의 상태정보를 Open으로 변경하는 부분이다. Test Stop은 배전선로 IED의 순시보호요소 동작을 정지하기 위해 전류를 0으로 설정하고 트래픽분석 모듈의 캡처의 종료 실행하는 단계를 진행한다. Test Disconnection은 배전선로 IED의 시험 중 통신정보 및 사고전류 주입시간 등 프로세스 설비의 동작시간 등을 저장하기 위한 부분으로 FirstGooseOutput, ReportValueChange의 함수를 이용하여 GOOSE의 이벤트 발생 시간정보와 XCBR과 PIOC의 상태정보 발생에 대한 REPORT를 메시지를 확인한다. Test Verdict는 Test Disconnection에서 저장된 GOOSE와 REPORT 정보를 활용하여 배전선로 IED의 보호동작이 원하는 시간 내에 이루어졌는지와 IEC61850 논리노드를 통해 정확한 정보의 표현이 이루어졌는지 판정한다.

〈표 2〉 배전선로 IED 시험절차에 대한 Test Script

Test Connection	<pre> Load_Gen1=NetworkSimulator(LOAD) Arbiter1=TestArbiter() G_Net1=NetworkSimulator(GOOSE) R_Net1=NetworkSimulator(REPORT) Timer1=TestTimer() Tctr_Out1=CurrentOutput(TCTR) Tctr_Out2=CurrentOutput(TCTR) Tctr_Out3=CurrentOutput(TCTR) Xcbr_in1=DigitalInput(XCBR) Xcbr_out1=DigitalOutput(XCBR) Load_Gen1-&gt;NetOutput(0) G_Net1-&gt;StartNetworkSimulator() R_Net1-&gt;StartNetworkSimulator() </pre>
Test Setup	<pre> Tctr_Out1-&gt;StartCurrentOutput(0,0,60) Tctr_Out2-&gt;StartCurrentOutput(0,120,60) Tctr_Out3-&gt;StartCurrentOutput(0,240,60) Xcbr_out1-&gt;StartDigitalOutput(1) </pre>
Test Start	<pre> Timer1-&gt;Start() time1=Tctr_Out1-&gt;StartCurrentOutput(3,2,0,60) time2=Tctr_Out2-&gt;StartCurrentOutput(3,2,120,60) time3=Tctr_Out3-&gt;StartCurrentOutput(3,2,240,60) Timer1-&gt;Wait(10) Xcbr_out1-&gt;StartDigitalOutput(0) </pre>
Test Stop	<pre> Tctr_Out1-&gt;StartCurrentOutput(0,0,60) Tctr_Out2-&gt;StartCurrentOutput(0,120,60) Tctr_Out3-&gt;StartCurrentOutput(0,240,60) Timer1-&gt;Wait(120000) G_Net1-&gt;StopNetworkSimulator() R_Net1-&gt;StopNetworkSimulator() </pre>
Test Disconnect	<pre> time4=G_Net1-&gt;FirstGooseOutput("010CCD010003"/"0 "/"IED001/LLN0\$GOS\$GOCBA"/"dataset1"/"2"/"TRUE") confirm1=R_Net1-&gt;ReportValueChange("ViPAM5000 PRT/IOCIPIOC1\$ST\$Op\$general",TRUE) confirm2=R_Net1-&gt;ReportValueChange("ViPAM5000 CTL/BK1XCBR1\$ST\$Pos\$StVal",TRUE) </pre>
Test Verdict	<pre> verdict1=Arbiter1-&gt;TestTime(time1,time4,40) verdict2=Arbiter1-&gt;TestTime(time2,time4,40) verdict3=Arbiter1-&gt;TestTime(time3,time4,40) verdict4=Arbiter1-&gt;TestConfirm(confirm1,TRUE) verdict5=Arbiter1-&gt;TestConfirm(confirm2,TRUE) </pre>

### 3. 결 론

본 논문에서는 IEC 61850기반의 모델기반의 배전선로 IED의 시험 절차서 구현에 관한 내용을 서술하였다. 변전자동화시스템이 IEC 61850의 국제규격으로 적용되면서 IED간에 상호 통신이 가능해짐에 따라 IED의 기존 기능위주의 단독 시험에서 변전자동화시스템 차원의 성능 검증으로 변화하고 있다. 본 연구는 이러한 시스템 기반 시험의 복잡성을 해결하고 다양한 분야의 전문가들의 공통의 시각으로 시험설계를 수행할 수 있는 모델 기반 시험설계에 대한 실제 적용 사례로서, 향후 그 중요성이 매우 높을 것으로 기대하고 있다.

### [참고 문헌]

- [1] 장병태의 3인, "IEC 61850 SAS 시험자동화시스템 구축을 위한 시간 측정 모듈 구현에 관한 연구", 대한전기학회, 2011
- [2] 장병태의 5인, "객체기반의 변전자동화 시험 시험스크립트 인식 프로그램 구현", 대한전기학회, 2009
- [3] 이남호의 4인, "SAS 시험자동화시스템 구축을 위한 IEC 61850 트래픽 분석 인터페이스 모듈 개발", 한국조명전기설비학회, 2011