

IEC 61850기반 IED대상 제어 적합성 시험에 관한 연구

장병태, 이남호, 김지희, 김병현, 심응보
한국전력공사 전력연구원

Study on the control conformance testing of IEC 61850 based IED

B.T Jang · N.H LEE · J.H Kim · B.H KIM · E.B SHIM
Korea Electric Power Corporation

Abstract - Korea Electric Power Research Institute has been carried out an IEC 61850 communication service test on IED trial products developed related to power IT project, "The verification of Performance of the Substation Automation System and Its Field Test". This paper describes control testing, one of the IEC 61850 conformance testing items, which consists of DO, enhanced DO, SBO and enhanced SBO with a number of test cases.

1. 서 론

한국전력공사 전력연구원에서는 IEC 61850 기반의 디지털 변전시스템 개발과 관련하여 전력 IT 국가 전략과제인 "시스템 성능검증 및 실증시험"을 수행하고 있다. IEC 61850 통신서비스를 지원하는 IED의 경우 KEMA와 같은 국제 인증기관을 통해 UCA의 국제전문가모임에서 제정한 통신서비스의 적합성에 대한 인증을 필수적으로 받아야 한다.[1-3] 시험항목은 크게 14가지로 구성되는 데 그 중 기본교환, 리포트, GOOSE 그리고 제어는 IEC 61850기반의 디지털 변전소 구축을 위해 IED가 지원해야하는 필수 항목이다. 제어의 경우 IEC 61850 도입 이후 디지털 네트워크 환경을 고려하여 보안부분이 특히 강조되어 있으며 시험내용에 있어도 이에 대한 검증을 다루고 있어 다른 시험항목 보다 복잡한 시험과정을 가지고 있다. 본 논문에서는 IEC 61850의 적합성 시험 항목 중 직접제어와 SBO 제어에 대한 상세내용과 시험 틀을 이용한 시험과정을 다루고자 한다.

2. 본 론

2.1 제어

제어 시험은 시뮬레이터가 시험대상 IED에 각 제어경로에 따라 명령을 요청할 때 IED가 상황에 맞게 응답을 하는지 시험하는 것으로 제어에는 통상보안을 이용한 직접제어, 통상보안을 이용한 SBO제어, 고급보안을 이용한 직접제어, 고급보안을 이용한 SBO제어모델과 같이 4가지 제어모델이 존재한다.

표 1. 제어 적합성 블록별 ACSIS서비스

적합성 블록	Mandatory	Optional
12a. 통상보안을 이용한 직접제어	Operate	TimeActivateOperate
12b. 통상보안을 이용한 SBO제어	Select, Cancel, Operate	TimeActivateOperate
12c. 고급보안을 이용한 직접제어	Operate, CommandTermination	TimeActivateOperate
12d. 고급보안을 이용한 SBO제어	SelectWithValues, Cancel, Operate, CommandTermination	TimeActivateOperate

직접제어와 SBO제어의 차이점은 기기를 선택하는 과정이 포함되어 있다는 점이며, 통상보안과 고급보안은 고급보안에 기기의 상태를 감시하는 과정이 포함되어 있다는 점이 다르다. 각 제어모델에 따라 서버가 지원하는 서비스는 표1에 정리하였다. 제어의 일반적 수행 과정을 살펴보면 제어모델에 따라 Operate나 TimeActivateOperate서비스를 통해 명령을 내리고 긍정응답과 함께 IED에 제어 명령이 내려지고 제어되는 기기의 상태가 변경 될 때 리포트가 발생된다.

2.1.1 고급보안을 이용한 SBO제어

본 절은 4가지 모델 중 IEC 61850 기반의 변전자동화시스템에서 가장 상위레벨로 채택하는 고급보안을 이용한 SBO 제어에 대해 설명하고자 한다. 시험대상인 SIEMENS 7SJ64는 제어명령 모델 중 SBOw로 국제인증 받은 상태이며 고급보안을 이용한 SBO제어의 상태머신의 흐름을 그림 1에 나타내었다. 고급보안을 이용한 SBO제어의 적합성 시험 항목은 필수 항목(Mandatory)과 선택항목(Conditional)으로 구분되며 각 항목은 positive와 negative 시험으로 나누어져 있으며 표2에 각 항목을 정리하였다.

그림1을 통해 상태머신은 Unselected, Ready, WaitForActivationTime, WaitForChange상태가 있으며 각 상태변화 과정은 다음과 같다.

- ① SalVal_req[Test not ok]^client.SelVal_rsp
: SelectWithValues서비스요청을 실패하여 response-응답을 받아 제어객체는 Unselected상태를 유지한다.
- ② SelVal_req[Test ok]^client.SelVal_rsp
: SelectWithValues 서비스 요청하고 response+응답을 받고 ready상태로 가는 것으로 SelectWithValues서비스는 요청을 받은 후 제어객체는 클라이언트가 해당 접근 권한을 가지고 있는지, 각 클라이언트가 현재 제어객체를 선택하지 않았는지, 관련 논리적 노드가 표현한 장치가 동작가능한지 판단하여 response+로 응답할 때 제어객체는 ready 상태로 변경되고 해당 객체에 대한 선택해제 타이머를 가동시킨다.
- ③- Cancel_req^client.cancel_rsp
: Cancel서비스 요청에 성공하여 response+응답을 받아 선택된 객체가 ready상태에서 Unselected상태로 변경된다.
- Timeout
: 선택해제 타이머가 만료되어 제어 객체가 ready에서 unselected 상태로 변경된다.
- TimeOpr_req[Test not ok]^client.TimeOpr_rsp
: TimeActivated Operate서비스를 요청하였으나 실패하여 response-응답을 받아 선택된 제어 객체가 ready상태에서 UnSelected 상태로 변경된다.
- ④ Oper_req[Test ok]^client.Oper_rsp
: 제어명령을 내린 후 제어되는 기기의 상태를 감시하는 단계로 Operate서비스를 요청하고 성공하여 response+응답을 주고 제어명령을 내린다. 고급보안을 이용하기 때문에 제어되는 기기의 상태를 감시하여 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 원하는 값으로 변경될 경우 리포트를 발생시키고 CommandTermination서비스를 이용하여 request+확인 응답을

준다. 정해진 시간 내에 해당기기의 상태 값이 변경되지 않을 경우 CommandTermination 서비스를 이용하여 request-확인 응답을 주고 제어객체는 ready에서 WaitForChange 상태로 변경된다.

⑤ TimeOper_req[Test ok]^client.TimeOper_rsp+
: TimeActivated Operate 서비스를 요청하고 성공하여 'timer-activated'를 포함한 response+응답을 주는 경우로 이것은 activation타이머가 작동함을 의미한다. activation 타이머가 만료되면 'command-executed'를 포함한 response+응답을 주고 제어명령을 내려 제어되는 기기의 상태를 감시한다. 제어객체는 ready에서 WaitForActivationTime상태로 변경된다.

⑥ -timer expired[Test not ok]^client.TimeOper_rsp-
: activation 타이머가 동작한 후 만료되기 전에 TimeActivated Operate 서비스에 대해 response-응답을 받은 경우로 제어 객체는 WaitForActivationTime상태에서 UnSelected상태로 변경된다.

-Cancel_req^client.Cancel_rsp+
: Cancel 서비스를 요청하고 성공하여 response+응답을 받아 선택된 제어 객체 WaitForActivationTime상태에서 UnSelected상태로 변경된다.

⑦ timer expired[Test ok]^client.TimeOper_rsp+
: 제어명령을 내린 후 제어되는 기기의 상태를 감시하는 단계로 activation 타이머가 만료되어 'command-executed'를 포함한 response+응답과 제어명령을 내린다. 고급보안이므로 제어되는 기기의 상태를 감시하게 되는데 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 원하는 값을 변경될 경우 리포트를 발생시키고 CommandTermination 서비스를 이용하여 response+확인 응답을 주고 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 변경되지 않을 경우 CommandTermination 서비스를 이용하여 request-응답을 준다. 제어 객체는 WaitForActivationTime에서 WaitForChange 상태로 변경된다.

⑧ -state (new_valid) [sboClass = OPERATE_ONCE]^client.Req.client.CmdTerm_req+
: 정해진 시간 내에 제어되는 기기의 상태 값이 원하는 값으로 변경되어 상태 값 변경을 알리는 리포트를 발생시키고 CommandTermination 서비스의 request+ 확인 응답을 주는 경우로 제어명령을 한번만 수행 가능하므로 제어객체는 WaitForChange상태에서 UnSelected 상태로 변경된다.

-timeout[state(old),sboClass=OPERATE_ONCE]^client.CmdTerm_rsp+
: 정해진 시간 내에 제어되는 기기의 상태 값이 변경되지 않을 경우로 CommandTermination 서비스의 request-확인 응답을 준다. 제어명령을 한번만 수행 가능하므로 제어객체는 WaitForChange상태에서 UnSelected 상태로 변경되고 다시 제어를 원할 경우 ①부터 다시 제어 절차를 거쳐야 한다.

-timeout[state(between),sboClass=OPERATE_ONCE]^client.Report_req.client.CmdTerm_req-
: 정해진 시간 내에 제어되는 기기의 상태 값이 변경되고 있는 단계지만 원하는 값으로 변경되지 않은 경우로 이 상태 값의 변경을 알리는 리포트를 발생시키나 원하는 값으로 변경되지 않기 때문에 CommandTermination 서비스의 request-확인 응답을 준다. 제어명령을 한번만 수행 가능하므로 제어객체는 WaitForChange상태에서 UnSelected 상태로 변경되고 다시 제어를 원할 경우 ①부터 다시 제어 절차를 거쳐야 한다.

⑨ -state (new_valid) [sboClass = OPERATE_MANY]^client.Report_req.client.CmdTerm_req+
: 정해진 시간 내에 제어되는 기기의 상태 값이 원하는 값으로 변경되어 상태 값 변경을 알리는 리포트를 발생시키고 CommandTermination 서비스의 request+ 확인응답을 주는 경우로 제어 명령을 여러 번 수행이 가능하므로 제어 객체는 WaitForChange에서 ready 상태로 변경되는 경우이다.

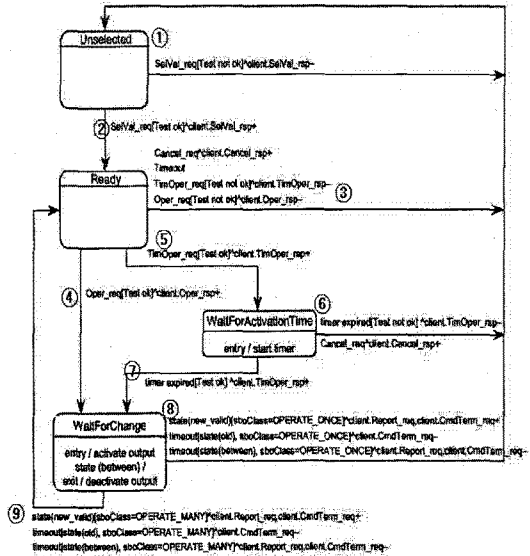


그림 1. 고급보안 SBO제어의 상태머신

2.2 시험세부 사항 및 준비

고급보안을 위한 SBO제어 시험을 위해 시뮬레이터의 스크립트 설정이 필요하다. 그림2는 시뮬레이터의 스크립트를 나타낸 것으로 시험하는 기기가 지원하는 제어 종류를 선택하고 그림 2와 같이 제어항목(SBOw)의 오브젝트 레퍼런스를 선택하여 입력한다.

각 시험에 대한 세부사항은 표 3에 정리하였다.

표 2. 적합성 시험 블록

적합성 시험블록	Mandatory	Conditional
12d. 고급보안을 이용한 SBO 제어	Ctl3 CtlN1, CtlN2, CtlN3, CtlN4, CtlN9, SBOes1, SBOes2, SBOes3	PIXIT-검사모드: Ctl2 PIXIT 검사조건: Ctl7 SCL-Timer-Activate-Control : Ctl4, SBOes4, SBOes5, SB Oes7 PIXIT-Operate-Many : SBO es6, SBOes7 추가원인(AddCause) : CtlN6

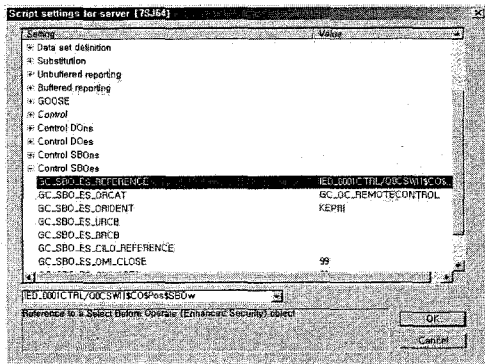


그림 2. Control SBOes 스크립트 설정

표 3. 세부시험내용

항목	시험내용
Ctl3	모든 sbo 제어 객체를 선택하고 역순으로 취소
CtlN1	선택 없이 sbo 제어 객체를 Operate하고 부정응답과 AddCause를 검증
CtlN2	select 명령을 두 번 수행하고 두 번째 select 명령을 실패하여 그에 따른 부정응답과 AddCause를 검증
CtlN3	Operate 값이 실제 값과 같을 경우 부정응답과 AddCause를 검증
CtlN4	2개의 다른 클라이언트로부터 동일한 제어 객체를 select할 경우 부정응답과 AddCause를 검증
CtlN9	sbo 제어 객체의 selectWithValues가 아닌 값으로 operate 명령을 수행
SBOes1	경로 0에 해당하는 것으로 selectReq[test not ok] response- : 부적절한 접근 권한으로 Select 명령을 사용하여 기기를 선택해 기기가 Unselected 상태로 복귀하는지 검증
SBOes2	경로 2+3a/b/c/d에 해당하는 것으로 selVal 명령을 사용하여 기기를 정확히 선택한다. 다음의 각 경로가 기기를 Unselected 상태로 복귀시키는지 검증
SBOes3	경로 2+5+6에 해당하는 것으로 다음의 각 경로가 기기를 Unselected 상태로 복귀시키는지 검증

시험항목에서 Ctl3 CtlN1, CtlN2, CtlN3, CtlN4, CtlN9는 일반제어에 속하는 항목으로 상태머신은 ready와 WaitForActivateTime만 존재하며, SBOes1, SBOes2, SBOes3는 고급보안을 이용한 sbo제어에 해당하는 항목이다.

2.2.1 시험사례

제어의 시험과정을 살펴보기 위해 일반제어인 Ctl3과 SBOes3에 대해 살펴보았다. Ctl3은 모든 제어객체를 선택하고 해제하여 응답을 검사하는 것으로 클라이언트는 모든 SBOes 제어 객체에 selectWithValues를 요청하여 선택하고 선택한 객체를 역순으로 Cancel 명령을 내려 선택 해제한다. IED가 그림 3과 같이 클라이언트의 제어선택 및 해제 요청에 대해 긍정 응답해야 시험을 통과하게 된다.

Frame	Time	Dir	Comments
CD 7	15:38:31.015	Acsi	Request 7: Associate {
SD 7	15:38:31.032	Acsi	Response 7: Associate {
CD 8	15:38:31.039	Acsi	Request 25: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 8	15:38:31.052	Acsi	Response 25: GetDataValues {
CD 9	15:38:31.069	Acsi	Request 26: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 9	15:38:31.069	Acsi	Response 26: SelectWithValue {
CD 10	15:38:31.078	Acsi	Request 27: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 10	15:38:31.085	Acsi	Response 27: GetDataValues {
CD 11	15:38:31.096	Acsi	Request 28: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 11	15:38:31.105	Acsi	Response 28: SelectWithValue {
CD 12	15:38:31.115	Acsi	Request 29: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 12	15:38:31.124	Acsi	Response 29: GetDataValues {
CD 13	15:38:31.131	Acsi	Request 30: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 13	15:38:31.143	Acsi	Response 30: SelectWithValue {
CD 14	15:38:31.161	Acsi	Request 31: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 14	15:38:31.169	Acsi	Response 31: GetDataValues {
CD 15	15:38:31.177	Acsi	Request 32: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 15	15:38:31.190	Acsi	Response 32: SelectWithValue {
CD 16	15:38:31.208	Acsi	Request 33: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 16	15:38:31.217	Acsi	Response 33: GetDataValues {
CD 17	15:38:31.224	Acsi	Request 33: GetDataValues {
SD 17	15:38:31.224	Acsi	Response 33: GetDataValues {

그림 3 Ctl3 통신 패킷 분석

SBOes3은 SelectWithValue로 기기를 선택하고 Operate를 한번 요구하여 Unselected상태로 복귀하는 경

로를 검사하는 항목으로 복귀경로는 0-0-0경로에 해당한다. SelectWithValue로 서비스를 요청해 response+응답을 받아 ready상태로 변경되고(0) 해당 객체에 대한 선택해제 타이머가 동작하게 된다. 이 상태에서 operate 서비스를 요청하여 response+응답을 받으면(0) 내부적으로 제어명령을 내린다. 여기서 Unselected상태로 갈 수 있는 방법은 3가지이다. 고급보안을 이용한 제어시도 제어되는 기기의 상태를 검사하게 되고 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 원하는 값으로 변경되면 값 변경을 알리는 리포트를 발생시키고 CommandTermination서비스의 response+응답을 주는(0a) 경우, 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 변경이 되지 않는 경우로 CommandTermination서비스의 response-응답을 주는(0b) 경우, 정해진 시간 내에 해당 기기의 상태 값이 변경되고 있는 단계지만 원하는 값으로 변경되지 않는 경우로 리포트를 발생시키고 원하는 값으로 변경되지 않았으므로 CommandTermination서비스의 response-응답을 주는(0c) 경우이다.

Frame	Time	Dir	Comments
CD 5	17:10:32.018	Acsi	Request 7: Associate {
SD 5	17:10:32.024	Acsi	Response 7: Associate {
CD 6	17:10:32.039	Acsi	Request 121: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 6	17:10:32.046	Acsi	Response 121: GetDataValues {
CD 7	17:10:32.061	Acsi	Request 122: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 7	17:10:32.079	Acsi	Response 122: SelectWithValue {
CD 8	17:10:32.092	Acsi	Request 123: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 8	17:10:32.109	Acsi	Response 123: GetDataValues {
CD 9	17:10:32.118	Acsi	Request 124: Operate { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 9	17:10:32.125	Acsi	Response 124: Operate {
CD 10	17:10:32.133	Acsi	Request 125: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 10	17:10:32.141	Acsi	Response 125: GetDataValues {
CD 11	17:14:51.389	Acsi	Request 126: SelectWithValue { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 11	17:14:51.397	Acsi	Response 126: SelectWithValue {
CD 12	17:14:51.418	Acsi	Request 127: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 12	17:14:51.436	Acsi	Response 127: GetDataValues {
CD 13	17:14:53.435	Acsi	Request 127: GetDataValues { IED_0001CTRL/QDCSW1\$T\$PostSelVal
SD 13	17:14:53.442	Acsi	Response 127: GetDataValues {
CD 14	17:14:53.459	Acsi	Request 128: Operate { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 14	17:14:53.476	Acsi	Response 128: Operate {
CD 15	17:14:58.490	Acsi	Request 128: Operate { IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 15	17:14:58.490	Acsi	Response 128: Operate { LastAppError, IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
CD 16	17:14:58.490	Acsi	Request 128: Operate { LastAppError, IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw
SD 16	17:14:58.490	Acsi	Response 128: Operate { LastAppError, IED_0001CTRL/QDCSW1\$COPos\$SBOw

그림 4 SBOes3 통신 패킷 분석

3. 결 론

본 논문에서는 IEC 61850 기반의 IED에 대한 적합성 시험항목 중 보안을 강조하는 enhanced SBO를 포함한 제어에 관해 다루었다. 디지털 변전소에 사용되는 IED가 보호와 함께 제어 요소를 가지게 됨에 따라 제어에 대한 시험 역시 중요하게 여겨지고 있으며 본 연구에서는 IEC 61850제어시험을 실제 시험 결과 해의 선진사제품을 대상으로 수행함으로써 다소 복잡한 클라이언트와 IED간에 주고받는 제어명령과 과정을 이해하고 4가지 제어모델에 대한 시험기술을 축적하였다. 현재 전력연구원에서는 국내 IED 시작품에 대한 제어기능의 통신택합성 성능검증을 수행 중에 있으며 이를 통해 제품의 완성도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

[참 고 문헌]

- [1] 한국전력공사, "시스템 성능검증 및 실증시험 1단계 평가 보고서", 2008.
- [2] 장병태외 4인 "디지털기술 기반의 차세대 변전시스템 개발", PP.256-257. 대한전기학회 하계학술대회, 2006
- [3] 김상익외 6인 "IEC61850 적합성시험을 위한 QAP", PP.56-57 대한전기학회 하계학술대회, 2006