

RTDS를 이용한 154kV 모선보호 계전기 동특성 성능검증 기반 구축에 관한 연구

장병태, 최창열, 정길조, 추진부
한전 전력연구원

Study on the establishment of 154kV Bus protective relay dynamic performance test environment

B.T. Jang, C.Y. Choi, G.J. Jung, J.B. Choo
KEPRI

Abstract - 디지털 보호계전기의 성능 검증은 정특성 성능 검증, 동특성 성능 검증, 내 환경 성능 검증으로 나누어진다. 이 중 동특성 성능 검증에 대한 중요성이 증가하고 있으나, 실시간 디지털 시뮬레이터에 대한 접근의 어려움으로 인해서 해당 기술의 보급이 용이하지 않았다. 전력연구원에서는 이러한 점을 해결하고 관련 기술의 보급을 위해서 디지털 보호계전기 동특성 성능 검증의 기반을 마련하였으며, 이 기반은 성능 검증을 위한 계통 모델과 성능 검증 절차서로 각각 구성되어 있다.

- 진전 고장 : F1-F2, F1-F3(내부-내부)
F2-F4(내부-외부)
F4-F2(외부-내부)
- 다중 고장 : F1 & F2, F1 & F3(내부 & 내부)
F2 & F4(내부 & 외부)
- CT 포화 시험 : F4
- Tie CB 차단 실패 : F2
- Feeder CB 차단 실패 : F4
- Tie CB Blind 시험 : F3

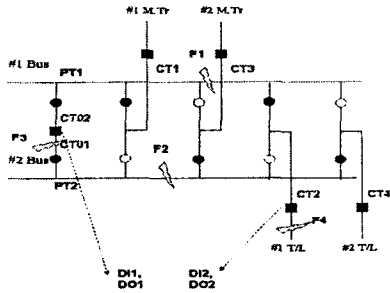
1. 서 론

국내의 경우 송전선로 보호계전기가 가장 먼저 디지털화가 시작되었으며, 따라서 현재 대부분의 송전선로 보호계전기는 디지털 보호계전기가 적용되고 있다. 모선 보호계전기와 변압기 보호계전기의 경우 최근에 디지털 보호계전기가 도입되어서 실 계통에 적용되기 시작했으며 따라서 이에 따른 보호계전기의 성능시험 기반이 미비한 상태이다. 기존의 EM-Type 보호계전기와는 달리 디지털 보호계전기는 각각의 보호 계전 요소가 별도의 물리적인 장치로 구성되지 않고, 단일 보호계전기 내에 소프트웨어적인 보호 계전 요소로 구성되어 있다. 또한 다수의 보호 계전 요소의 결과 값은 다양한 조건하에서 적절하게 사용될 수 있도록 일련의 시퀀스 로직(Sequence Logic)을 통해서 차단 신호(Trip Signal) 또는 경고 신호(Alarm Logic)를 생성하게 된다. 이러한 특성을 고려했을 때, 디지털 보호계전기에 대해서는 일반적인 개체 시험보다는 다양한 고장 조건에 대한 종합적인 동작 특성에 대해 검증할 수 있을 필요가 있다. 따라서 디지털 보호계전기에 대한 동특성 성능검증을 원활하게 수행할 수 있게 하는 성능 검증 기반으로서 표준화된 계통 모델과 성능 검증 절차서가 필요하다. 본 논문에서는 한전의 보호방식을 기준으로 하여 154kV 변전소 내의 모선 보호 배전반의 동특성 성능 검증 기반의 구축 과정 및 결과에 대해서 기술한다.

2. 시험환경 구축

2.1 모선 기본 구성 및 고장 발생 위치

국내 154kV 모선은 일반적으로 아래의 그림 1과 같은 2중 모선으로 구성되고 있으며 전압 차동방식을 사용하는 단모선과는 달리 위상비교 전류 차동 방식을 보호방식으로 사용한다. #1 버스와 #2 버스의 가압은 LS에 의해 결정되며 일반적으로 Tie Breaker는 닫힌 상태로 운전되다가 모선에 고장이 발생하면 두 모선을 분리하기 위해 차단기가 열리게 된다.



<그림 1> 변전소 내 모선 구성 및 고장 모의 위치

- F1 : #1 버스 고장
- F2 : #2 버스 고장
- F3 : Tie CB 인관 고장(내부 고장 및 Blind Fault 고장)
- F4 : #1 T/L 고장(외부 고장 및 Feeder BF에 사용)

상기의 고장 종류를 조합하여 다음과 같은 시험을 수행할 수 있다.

- 모선 내부 고장 : F1, F2, F3
- 모선 외부 고장 : F4

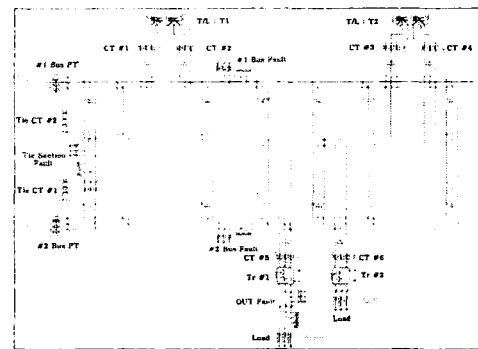
2.2 PSCAD 모의 계통 구축 및 하드웨어 결선

모의 계통에 사용하는 전력계통 데이터는 선로 정수 표를 참조하였으며 이를 표 1에 나타냈다. 154kV 전원 소스의 데이터는 각각 안성S/S의 등가 임피던스와 154kV 용인 S/S의 등가 임피던스를 사용하였고 선로 데이터의 경우 남원-곡성 간 남곡 #1, #2 T/L의 선로 정수를 사용하였다. 또한 변압기 모델을 위한 데이터로는 154kV 3상 2권선 변압기(Y-Y)의 공장 시험 데이터를 사용하였으며, 변압기 2차 측 부하로는 3φ 15MVA, p.f=0.90을 적용하였다.

<표 1> 선로정수 데이터

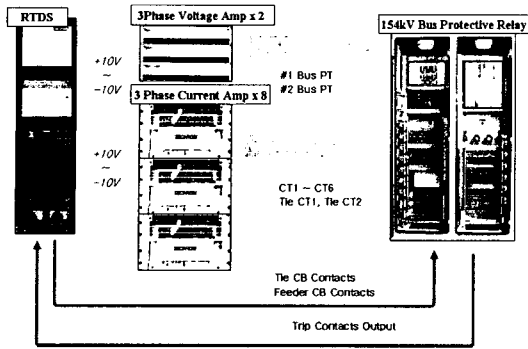
남곡 #1, #2 T/L	
R1+jX1	1.0599 + j5.9032
R0+jX0	3.4115 + j14.4321
Rm+jXm	2.3520 + j6.9560
Y1	2.5290
선종 / 공장	A410B / 30Km
안성 변전소 1차 측 등가 Impedance	
R1+jX1	0.213 + j1.568
R0+jX0	0.939 + j4.581
용인 변전소 1차 측 등가 Impedance	
R1+jX1	0.081 + j0.866
R0+jX0	0.384 + j1.956

고장 컴퍼넌트는 다중 고장 및 진전 고장 모의를 위하여 고장 모의가 필요한 모든 구간에 구성하였으며 Tie CB Blind 시험 모의를 위해 Tie CB와 Tie CT 사이에 고장을 구성하였다.



<그림 2> PSCAD 계통도

모선 보호배전반 시험에는 ODAC16 카드를 6개와 DDAC 카드 1개를 사용하여 3상 전압 2채널과 3상 전류 8채널을 모선 보호 배전반에 제공하였다. RTDS Rack은 3개를 사용하였으나 실제로는 #5 Rack과 #7 Rack 2개만이 사용되고, #6 Rack은 #7 Rack을 사용하기 위한 중간 단계로서만 사용되었다. Digital Input Port 신호의 경우 보호배전반으로부터의 Trip 접점 입력에 사용하였고, #1 Bus Trip, #2 Bus Trip에 각각 1개씩 사용하였다. Digital Output Port 신호의 경우 BF시에만 필요하며, Feeder CB용으로 1개, Tie CB용으로 1개를 각각 사용하였다.



〈그림 3〉 154kV 모선 보호계전기 시험 환경

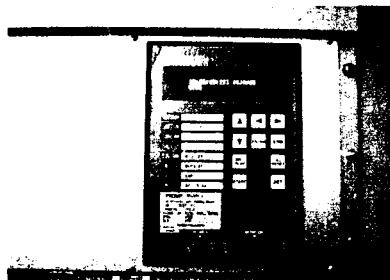
시험에 사용된 보호계전기인 MBP-H1 모델의 전류비율차동기능은 2중 모선을 일괄 분할 보호하는 방식이므로, 이 방식에 대해서 시험을 수행하였다. 이중 모선을 일괄 분할 보호하는 방식은 Bus #1과 Bus #2에 대해서 각각 분할 차동 보호하는 방식에 일괄보호용 모선 보호계전기를 추가하여 오동작에 대한 신뢰도를 향상시킨 방식이다. 또한 모든 종류의 모선 고장을 고속도(30ms 이하)로 제거하는지를 확인하며 시험하였다.

또한 154kV 모선 보호 계전기가 전류 차동요소로 동작하는 것을 고려하여 PSCAD 로직 상에 각 CT 전류의 합을 계산하여 전류 차를 구하는 로직을 구성하였고 이를 통해 시험 시 차전류를 손쉽게 모니터링 할 수 있도록 하였다.

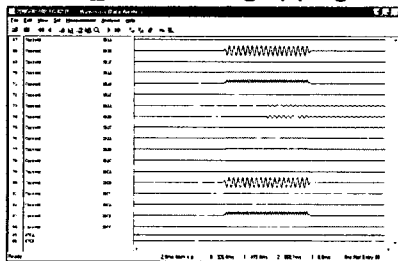
2.3 시험 수행

내부 고장 시험

154kV 전류비율차동방식 모선 보호계전기의 전류차동요소의 기능을 시험한다. 보호 구간 내부에 고장이 발생했을 경우 30ms 이내에 동작하여야 한다. #1 Bus에 고장이 발생한 경우와 #2 Bus에 고장이 발생한 경우에 대해서 각각 분할 보호 요소인 87-1 요소와 87-2 요소가 동작하는 것을 확인하여야 한다.



〈그림 4〉 Bus #1 A상 지락 고장



〈그림 5〉 억제 전류(IR)와 동작 전류(ID)

외부 고장 시험

154kV 전류비율차동방식 모선 보호계전기의 전류차동요소의 기능을 시험한다. 보호 구간 외부에 고장이 발생했을 경우 동작하지 않는 것을 확인하여야 한다.

다중 고장 시험

154kV 전류비율차동방식 모선 보호계전기의 전류차동요소의 기능을 시험한다. 보호 구간 내부/외부 다중 고장이 발생했을 경우 보호계전기의 응답 특성을 확인한다.

진전 고장 시험

154kV 전류비율차동방식 모선 보호계전기의 전류차동요소의 기능을 시험한다. 보호 구간 내부/외부에 진전 고장이 발생했을 경우 보호계전기의 응답 특성을 확인한다.

Breaker Failure 시험

154kV 모선 보호계전기의 차단 실패(Breaker Failure) 대책 기능에 대해서 시험한다. 차단 실패 대책에 대한 시험은 #2 Bus 고장 발생 후 Tie CB가 동작하지 않는 경우에 대한 Tie CB BF 시험, 외부 선로에 고장 발생 후 선로 보호계전기가 동작하지 않거나 선로 CB가 동작하지 않는 경우에 대한 Feeder CB BF 시험, 위의 두 가지가 동시에 발생하는 경우에 대한 BF 시험으로 나누어진다. 각각의 기능에 대해서 모선 보호계전기가 적절하게 동작(Trip 또는 경보)하는지를 확인한다.

27D 검출 기능 시험

장거리 송전선로 말단 지점 고장이나 154/23kV 변압기 2차 측 고장 발생시, 전원의 강전원화로 인한 모선 전압 강하가 기존 저전압 계전요소 정정 기준인 80% 이하로 이루어지지 않을 경우를 위한 대책 시험이다. 27D 요소의 정정 기준치인 3V 정정에서, 외부 고장 발생으로 인한 모선 전압 강하가 미미하고 BF가 발생하는 경우로 모의해서 시험을 수행한다. 27D 기능 Off시에는 외부 고장 발생시 BF로 인한 모선 보호계전기의 Trip이 발생하지 않고, 27D 기능 On시에는 Trip이 발생하는 것을 확인한다.

CT 포화 검출 기능 시험

154kV 전류비율차동방식 모선 보호계전기의 CT 포화 대책 기능을 시험한다. 송전선로에 고장이 발생하여서 CT가 포화되었을 때, 외부 고장으로 인한 오동작이 발생하지 않는 것을 확인하여야 한다.

PT Failure 검출 기능 시험

PT 2차 측 전압 상실 등의 PT Failure가 발생하였을 때에 대한 모선 보호계전기의 응답 특성을 확인한다.

DS Failure 검출 기능 시험

두 개의 DS 스위치가 모두 투입되어 있는 DS Bridge에 대한 시험과 두 개의 DS가 모두 개방되어 있는 Two DS Open에 대해서 보호계전기의 경보 기능을 확인한다. 보호계전기의 알고리즘에 따라서 정상상태의 전류가 필요한 경우도 있다.

CT 개방 검출 기능 시험

CT 개방(Open)으로 인해 개방된 CT의 2차 측 전류가 상실되었을 때에 대한 모선 보호계전기의 응답 특성을 확인한다.

Bus Tie Blind 기능 시험

Bus Tie 차단기가 개방된 상태에서 차단기와 CT 사이에 고장이 발생했을 때, 오동작으로 인한 Trip 발생을 방지하는 기능을 확인한다.

3. 결 론

RTDS를 이용한 154kV 모선 보호 계전기 동특성 성능 검증 기반의 구축을 위해 PSCAD 절차서, RTDS 절차서 및 154kV 모선 보호계전기 성능검증 절차서 1부를 각각 작성하였다. 각 절차서는 한 전 구매시방서 상의 시험 요소를 참고로 하여 이를 충족할 수 있도록 구성하였으며 구성된 절차서의 활용 가능성의 검증을 위하여 TMT&D사의 MBP-H1 계전기를 이용하여 직접 시험해 보았다. 시험 결과 제안한 PSCAD/RTDS 계통을 이용하고 절차서의 시험 순서를 따르는 보호계전기 동특성 시험에서 각 보호 요소 및 시험 항목에 관하여 적용 가능함을 검증할 수 있었다. 이를 활용하여 기존 디지털 보호계전기 및 신형 디지털 보호계전기의 성능 검증에 적용할 수 있으며, 국내의 성능 시험 기관에서 RTDS를 이용하여 디지털 보호계전기의 성능 검증을 수행하였을 때 성능 검증 결과의 신뢰성 및 적정성 검토에도 활용할 수 있으리라 기대된다. 또한 향후 변전소 자동화 시스템의 핵심 구성 요소인 IED의 개발 및 성능 검증 시에도 IED에 내장된 보호알고리즘의 검증을 위한 기반으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, "디지털 보호계전기 성능 검증을 위한 계통 모델 작성 및 검증 절차 수립", 2005. 4
- [2] 한국전력공사, "보호계전기 정정 지침", 1999. 1
- [3] 전력연구원, "RTDS 하드웨어-전력 계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치", 2001. 10
- [4] 한국전력거래소, "급전계통도면책", 2002
- [5] 유호전기공업주식회사, "154kV Bus Protection Panel (10F/D, DUAL) 도면"
- [6] 부산전력관리처, "Digital 보호계전기 시험법" 2000.9

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.