

345kV 변압기 보호 계전기 동특성 성능검증 기반 구축

장병태, 최창열, 김준연*, 이창학*, 양귀장*
한전 전력연구원, 한국전력공사*

Establishment of 345kV transformer protective relay dynamic performance test environment

B.T. Jang, C.Y. Choi, J.Y. Kim*, C.H. Lee*, G.J. Yang*
KEPRI, KEPCO*

Abstract - 345kV 변전소는 국내 전력계통의 근간으로서 고장 시 계통 안정도에 미치는 영향이 크기 때문에 고장 제거가 확실하고 신속해야 한다. 따라서 345kV 변전소의 보호 장치들은 CT, PT, 차단기(trip coil), 보호계전기, DC전원 등이 모두 2계열화 되어 있으며 보호 계전기는 각 계열마다 주보호와 후비보호가 따로 구비되어 있다. 본 논문에서는 345kV 변압기 보호용 보호계전기에 내장된 계전 요소들의 유기적인 성능 검증을 할 수 있는 동특성 시험에 관한 기반 구축 과정 및 결과에 대해서 기술한다.

1. 서 론

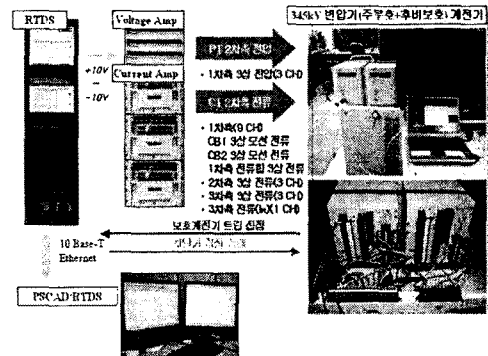
345kV 변압기의 보호 방식은 주보호와 후비보호로 구성되며 후비 보호는 다시 345kV 측에 설치되어 있는 EHV Protection과 154kV 측에 설치되어 있는 HV Protection, 그리고 23kV 측에 설치되어 있는 LV Protection으로 구성된다. 주보호는 4단자용 비율차동 계전방식을 적용하며 후비보호는 EHV Protection 및 HV Protection의 단락보호로 Zone1과 Zone2로 구성되는 2단계 한시거리 계전방식을, 지락 보호로 방향성 과전류 계전방식을 적용하며 LV Protection의 단락 보호로 과전류 계전방식을, 지락 보호로 과전압 계전방식을 적용하고 있고 이와는 별도로 기계적 보호장치가 구비되어 있다. 주보호로 사용되는 비율차동 계전방식은 변압기의 1차, 2차 및 3차 전류의 차에 의해 동작하며 부하전류에 오동작 하지 않도록 변압기를 통과하는 전류와 변압기로 유입되는 전류와의 비율이 일정한 값 이상일 때만 동작하도록 하고 있다. 후비보호의 EHV Protection은 변압기의 154kV 측 방향의 고장을 감시하며 HV Protection은 345kV 측 방향의 고장을 감시하며 LV Protection은 23kV 부하 측 고장을 감시한다. 비율차동계전기용 변류기는 345kV측 차단기 2대와 154kV측 차단기, 23kV측 차단기의 BCT를 사용하며 변압기에서 가장 먼 쪽의 변류기를 사용함으로써 보호범위를 가장 넓게 하고 있으며 차단기를 통과하는 전류가 각각 비율차동계전기에 입력되어 이들의 전류 차에 의해 계전기가 동작한다. EHV Protection용 변류기는 345kV측 차단기 2대의 BCT를 병렬로 결선하여 사용하고 두 차단기를 통과하는 전류의 합이 거리계전기 및 방향성과전류계전기에 입력된다. 또한 HV Protection용 변류기는 변압기의 154kV측 BCT를 사용하며 여기에서 얻어진 전류가 거리계전기 및 방향성과전류계전기에 입력되고 LV Protection용 변류기는 변압기의 23kV측 BCT를 사용한다. EHV 및 HV Protection의 방향성과전류계전기는 방향판정용 전류, 즉 극성용 영상전류가 필요하고 이는 변압기의 23kV측 BCT에서 얻어지며 변압기의 중성점 전류는 Fault Recorder 기동에 사용된다. 한편 EHV Protection용 전압은 변압기 1차 측 PT에서 공급되며 방향성과전류계전기의 방향판정용으로 영상전압도 같이 공급된다. 또한 HV Protection용 전압은 154kV 모선 전압이 사용되며 모선전압 절체 Switch(43PD)를 거쳐 계전기에 입력되고 방향성과전류계전기의 방향판정용으로 영상전압도 같이 공급된다. 345kV 변압기의 3차 측은 비절지 방식으로 1선 지락 보호는 고장전류가 아주 적어(중전류) 과전류계전방식으로는 보호가 불충분하므로 23kV 모선에 설치되어 있는 GPT(Grounding PT)의 영상전압에 의해 동작하는 과전압계전기를 이용한다.

2. 시험 환경 구축

2.1 시험환경 구성 및 계통 데이터

345kV 변압기 보호계전기의 성능 검증을 위해서 전원으로는 345kV와 154kV 전원을 양단에 사용하고, 송전선로는 가공선로 1회선을 사용한다. 또한 구성된 계통 모델과 시험의 검증을 위해 그림 1과 같이 주보호용 비율차동계전기 GRT100(TMT&D사)과 후비보호용 거리계전기 GRZ100 (TMT&D사)를 사용하여 성능 시험을 수행하였다. 즉, 내부사고와 외부사고, 여자돌입 상태, 과여자 상태, 차단실패 보호, VTF등의 상황에 대한 지락 및 단락사고에 대해 주보호용 및 후비보호용 계전기의 정동작 여부를 확인하였다. 시험에 사용되는 전력계통 데이터로는 선로 정수 표를 참조한다. 다음은 345kV, 154kV 전원과 345kV S/S의 평균 등가 임피던스, 154kV S/S의 평균 등가 임피던스, 345kV #1, #2 T/L의 선로 정수

ACSR 483#x4 Bundle, 154kV #1, #2 T/L의 선로 정수 ACSR 636MCM(322#), 1MCM=0.5067#), 양주 변전소에 설치된 345/154/23kV 변압기를 사용한 예이다. 선로 및 변압기 정수, 부하 등의 등가 임피던스는 표 1과 같다.



〈그림 1〉 시험환경 구성

〈표 1〉 계통 데이터

항목	전력계통 모의 데이터	비고
전원단	345kV $Z_{1L} = 18.210825 \angle 86.74 [\Omega/km]$ $Z_{0L} = 19.877175 \angle 82.83 [\Omega/km]$	$\%Z_{1L} = 1.53 \angle 86.74 [\%/km]$ $\%Z_{0L} = 1.67 \angle 82.83 [\%/km]$
	154kV $Z_{1L} = 10.0793 \angle 82.04 [\Omega/km]$ $Z_{0L} = 21.2021 \angle 80.24 [\Omega/km]$	$\%Z_{1L} = 4.25 \angle 82.04 [\%/km]$ $\%Z_{0L} = 8.94 \angle 80.24 [\%/km]$
송전선로	345kV $R_1 = 0.01785375 [\Omega/km]$ $X_{1L} = 0.305 [\Omega/km]$ $X_{1c} = 0.19099 [M\Omega \cdot km]$ $R_{0c} = 0.228528 [\Omega/km]$ $X_{0L} = 0.95 [\Omega/km]$ $X_{0c} = 0.551808 [M\Omega \cdot km]$	ACSR 483#x4 Bundle의 %임피던스 [100MVA 기준]
	154kV $R_1 = 0.1005584 [\Omega/km]$ $X_{1L} = 0.467 [\Omega/km]$ $X_{1c} = 0.285375 [M\Omega \cdot km]$ $R_{0c} = 0.30878283 [\Omega/km]$ $X_{0L} = 1.309 [\Omega/km]$ $X_{0c} = 0.699575 [M\Omega \cdot km]$	ACSR 636MCM(322#)의 %임피던스 [100MVA 기준]
변압기	1 2 0.0956824206 [P.U.]	규격 : 1 ϕ 166.7[MVA] 345/161/23[kV]
	1 3 0.1455617621 [P.U.]	
	2 3 10.17595037 [P.U.]	
CT 비	1차 측 600:5A	CT1, CT2, CT3, CT4
	2차 측 1500:5A	CT5
	3차 측 500:5A	CT6
PT 비	1차 측 345000 : 115V	PT1
	2차 측 154000 : 115V	PT2
	3차 측 23000 : 115V	PT3
부하	2,3차 측 부하 $R = 1.1799 [\Omega]$ $L = 0.15158 [H]$	57.12758 \angle 88.86[$^\circ$]

2.2 시험 수행

〈표 2〉 성능시험 계전요소

성능시험 구분	성능시험 내용(동작시험항목)
거리계전기 시험	1단계 방향 거리계전 요소의 Reach 및 방향 요소 시험 Supervising용 순시과전류 구비
방향지락과전류 계전기 시험	과전류 순시, 한시요소, 방향요소 시험

단순 고장 시험

변압기 1, 2, 3 차 측의 권선지락고장, 상간단락고장, 층간단락고장 등의 내부 고장을 모의하여 과도 상태가 포함된 전압, 전류가 인가되었을 때에도 주 보호요소인 전류 비율 차동계전요소, 1, 2차 측의 후비보호요소인 단락용 거리계전요소와 방향지락과전류계전요소, 3차 측 후비보호요소로 과전류 및 지락과전류요소, 지락과전압요소로 정확히 고장을 검출하여 정동작 하는가에 대한 응답특성을 시험한다.

- ※ 주보호 : 전류 비율 차동계전요소, 단순차동요소
- ※ 후비보호(1, 2차 측) : 단락거리계전요소(1단계 방향 거리계전요소의 Reach 및 방향 요소 시험) + 방향지락과전류계전요소(과전류 순시, 한시, 방향요소 시험)
- ※ 후비보호(3차 측) : 지락 및 단락과전류계전요소(변압기 3차 측 내·외부 연결부의 지락 및 단락 고장시험) + 지락과전압계전요소(변압기 3차 측의 지락 고장시험)

외부 고장 시험

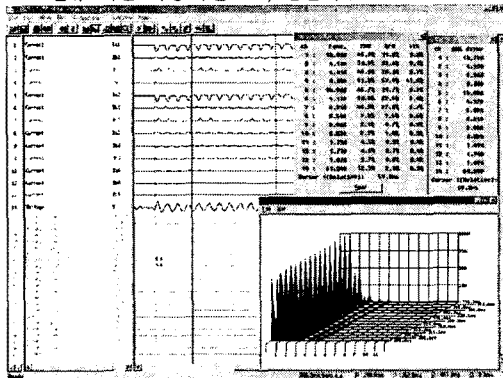
345kV 모선 및 선로고장, 154kV 모선 및 선로고장과 같은 변압기 외부고장에 대해 모의하여 과도 상태가 포함된 전압, 전류를 인가되었을 때에 주 보호요소인 전류 비율 차동계전요소가 동작하지 않으며, 1, 2차 측의 후비보호요소인 단락용 거리계전요소와 방향지락과전류계전요소의 고장방향을 고려한 정동작 응답특성을 시험하고자 한다.

- ※ 주보호 : 전류 비율 차동계전요소, 단순차동요소
- ※ 후비보호(1, 2차 측) : 단락거리계전요소(1단계 방향 거리 계전요소의 Reach 시험 및 방향요소 시험) + 방향지락과전류계전요소(과전류 순시, 한시, 방향 요소 시험)

여자돌입 상태에 의한 오동작 방지시험

변압기의 정상운전상태에서는 여자전류가 아주 적어서 문제되지 않으나 무부하 상태에서 투입하거나 급격한 전압상승이 있는 경우에는 과도적인 여자돌입전류를 발생케 하여 보호계전기의 오동작을 일으킨다. 여자 돌입시 제 2고조파 성분이 비교적 많이 포함되어 있고 내부 고장 시에는 제2고조파 성분이 비교적 적다는 특징이 있어 제2고조파의 함유율을 기준으로 내부고장에 의한 고장전류인지, 돌입전류인지를 구분함에 따라 돌입전류에 의한 계전기의 오동 특성을 시험하고자 한다. 그리고 여자돌입 상태에서 일정시간이 지난 후 변압기 내부고장이 발생할 경우에 계전기의 동작 여부를 시험한다.

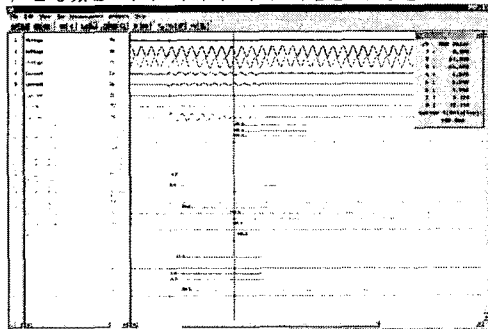
- ※ 주보호 : 전류 비율 차동계전요소, 단순차동요소



〈그림 2〉 여자돌입 시 고조파 함유율 분석

PT Failure 시험

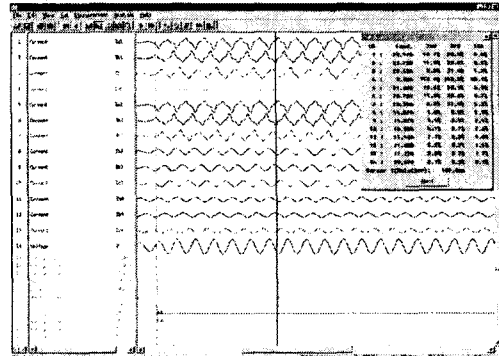
변압기 1, 2차 후비보호용인 거리계전기의 PT Failure 발생시 보호기능을 시험한다. 단상 PT Failure가 발생했을 때와 3상 PT Failure가 발생했을 때에 대해서 각각 시험을 수행한다.



〈그림 3〉 VTF 시험 시 보호계전기 동작 파형

과여자에 의한 오동작 방지 시험

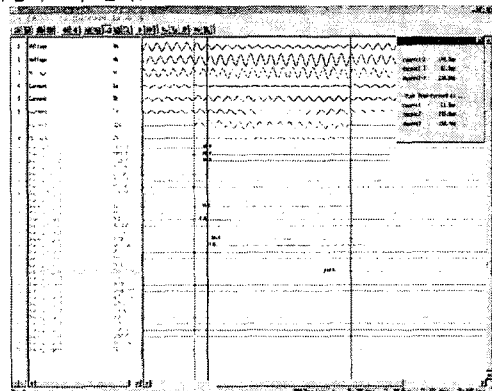
심한 과여자 상태에서는 변압기에 급속한 손상을 주고 고장을 발생시키지만, 부하탈락이나 외부고장이 제거되었을 때 발생할 수 있는 과여자 상태에서는 차전류 발생으로 인한 비율차동보호 계전기의 오동작을 방지해야만 한다. 따라서 과여자에 의한 오동작 방지 기능 시험은 제5조과의 포함 정도에 따른 계전기의 오동 특성을 시험하고자 한다.



〈그림 4〉 과여자 시 보호계전기 동작 파형

차단실패 보호 시험

보호계전기의 Trip 명령을 통해 차단기를 개방해야 할 때, 차단기 고장으로 인해 고장전류가 계속 흐르고 있으면 고장이 과급되므로 인접한 차단기를 동작시키거나, 재차 개방하도록 차단기에게 신호를 보내는 동작을 차단실패보호라고 한다. 따라서 차단기의 고장으로 인해 차단기가 개방되지 않았을 경우, 차단실패보호기능의 오동 특성을 시험하고자 한다.



〈그림 5〉 차단 실패 시험 시 보호계전기 동작 파형

3. 결 론

RTDS를 이용한 345kV 변압기 보호 계전기 동특성 성능 검증 기반의 구축을 위해서 PSCAD 절차서, RTDS 절차서 및 345kV 변압기 보호계전기 성능검증 절차서 1부를 각각 작성하였다. 각 절차서는 한전 구매시방서 상의 시험 요소를 참고로 구성하였으며 구성된 절차서의 활용 가능성의 검증을 위하여 TMT&D사의 GRT100과 GRZ100 계전기를 이용하여 직접 시험해 보았다. 시험 결과 제한한 PSCAD/RTDS 계통을 이용하고 절차서의 시험 순서를 따르는 보호계전기 동특성 시험에서 각 보호 요소 및 시험 항목에 관하여 적용 가능함을 검증할 수 있었다.

제안한 디지털 보호계전기 성능 검증 절차서를 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 있을 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 정적 지침", 1999. 1
- [3] 전력연구원, "RTDS 하드웨어-전력 계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치", 2001. 10
- [4] 한국전력거래소, "급전계통도면철", 2002
- [5] 부산전력관리처, "Digital 보호계전기 시험법" 2000.9

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.