

765kV 신태백#1T/L 고장에 따른 보호시스템 동작 분석

윤장완, 김범진, 노장현, 김준연, 김명호
한국전력공사

Analysis of 765kV Transmission Line Fault

Yoon J.W, Kim B.J, No J.H, Kim J.Y, Kim M.H
KEPCO

Abstract - 전력계통이 대형화되고 복잡 고도화 되는 추세에 따라 전력계통운용에서 송전선로 보호시스템의 중요도가 매우 커지게 되었다. 이에 국내에 적용되기 시작한 765kV 전력계통망은 하위 전압계급 계통망에 미치는 영향이 커지게 되어 765kV 송전선로 보호시스템의 보호 신뢰도 향상은 전력계통을 안정적으로 운전하는 데 있어서 매우 중요한 요소가 되었다. 지난 2004년 11월에 신태백-신가평변전소간 765kV 신태백T/L의 상업 운전이 시작되었고 그 상업운전 중 2005년 3월 낙뢰사고에 의한 765kV 신태백T/L의 고장이 발생하였다. 이에 본 논문에서는 신태백T/L의 고장이 발생에 대한 보호시스템의 동작 상태를 분석한 사례에 대해서 기술하였다.

1. 서 론

765kV 신태백변전소 및 신가평변전소에 도입된 보호계전기는 1차 프로젝트인 신안성변전소, 신서산변전소 및 당진화력에 공급된 계전기와는 다른 제작사의 계전기가 도입되어 이에 대한 신뢰성 검증이 중요한 요소로 대두되었다. 보호시스템의 정동작 여부를 종합적으로 판정하기 위해 시각동기장치기 부착된 보호계전기 시험 장치를 이용하여 EMTP와 RTDS 등으로 생성한 송전선로 고장 상태를 양단 변전소에서 동시에 인가하는 시험 기술의 실적용을 거친 후 상업운전이 시작되었다. 상업운전 중 2005년 3월 낙뢰사고에 의해 765kV 신태백T/L의 고장이 발생하였다. 계통 고장시의 보호시스템의 동작 상태를 보호계전기 측면과 고장점 표정 측면에서 분석하여 보호계전기의 정동작 여부를 판정하였다.

2. 본 론

2.1 선로 운전 현황

2004년 11월에 신태백변전소와 신가평변전소간 765kV 신태백T/L의 상업운전이 시작되었고, 각 선로당 약 1000 MW를 수도권으로 송전하고 있었다. 송전선로 형태와 보호계전기의 구성은 아래와 같다.

- 1) 설치변전소 : 신가평변전소, 신태백변전소
- 2) 송전선로 길이 : ACSR 480×6B, 154.7km(병행 2회선)
- 3) 보호계전기 제작사 : GE Multilin(Canada)
- 4) 보호배전반 제작사 : YPP digitech
- 5) 송전선로 계전기 Type(1st, 2nd Main 동일함)
 - ① L90(PCM)
 - ② D60(거리계전기)
 - ③ C60(재폐로계전기)

2.1.1 고장 개요

- 1) 발생일시 : 2005년 3월 10일(기후:비/낙뢰)
- 2) 고장설비 : 765kV 신태백T/L(#1:No.151 B상)
- 3) 고장 원인 : 낙뢰에 의한 아키톤 섬락
- 4) 당시 부하 : 1000MW

2.1.2 계통도

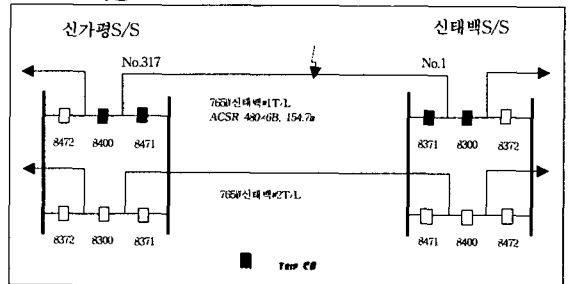


그림 1. 계통도

2.2 고장 분석

2.2.1 계전기 및 차단기 동작사항

- 1) 공통 동작사항 : 765kV 신태백T/L B상 계전기가 동작하여 재폐로 1회 성공
- 2) 신가평S/S측 동작사항 : 1st Main 87B와 2nd Main의 87B 계전기가 동작하였으며 이와 관련된 GIS 차단기가 동작하여 고장을 제거
- 3) 신태백S/S측 동작사항 : 1st Main 87B와 2nd Main의 87B 계전기가 동작하였으며 이와 관련된 GIS 차단기가 동작하여 고장을 제거

2.2.2 보호계전기 동작 분석

- 1) 765kV 신태백T/L(신가평~신태백변전소): 정동작 계전기의 동작 Target은 1st Main 87(B상)와 2nd Main 87(B상)이 동작함.
- 2) 765kV 신태백T/L 고장시 재폐로 : 성공
계전기 정정과 일치하는 단상 고장 재폐로가 성공적으로 동작, 가압단은 신가평변전소이며, 수전단은 신태백변전소로 정정
재폐로 정정 조건 : 재폐로 정정은 다상 재폐로를 적용하고, 2상 Remain 조건으로 정정됨.

2.2.3 고장전류 분석

- 1) 고장유형 : B상 지락고장
- 2) 지속시간 : 약 4.0cycle (70ms)
- 3) 고장전류

[단위 : A]

구 분		신태백T/L		
		A상	B상	C상
신가평 변전소	부하전류	751	768	757
	고장전류	768	2474	834
신태백 변전소	부하전류	784	823	812
	고장전류	784	2709	828

표 1. 고장 전류

4) 고장 전류 파형

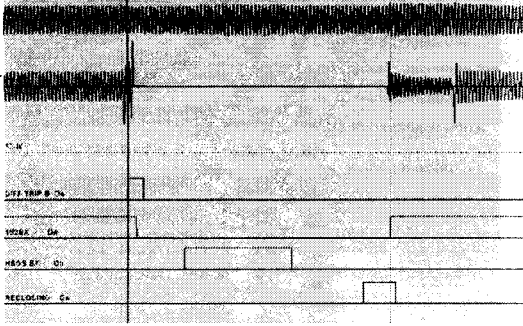


그림 2. 신가평변전소 신태백T/L 고장 Data

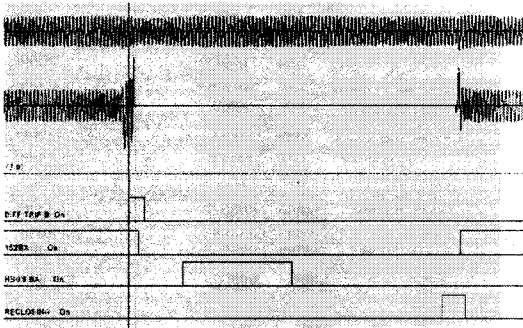


그림 3. 신태백변전소 신태백T/L 고장 Data

2.2.4 Event Recorder 동작 분석

고장시 동작한 Event Recorder를 분석한 결과는 다음과 같다. 신가평변전소 신태백T/L의 선형 차단기(8471CB) 고장 후 투입 시간은 1.204s이고, 후행 차단기 (8400CB) 투입시간은 3.212s이다. 또한, 신태백변전소의 선형 차단기(8371CB) 고장 후 투입 시간은 1.507s이고, 후행차단기(8300CB)는 3.516s로 분석되었다.

1) 신가평변전소 동작시간 분석

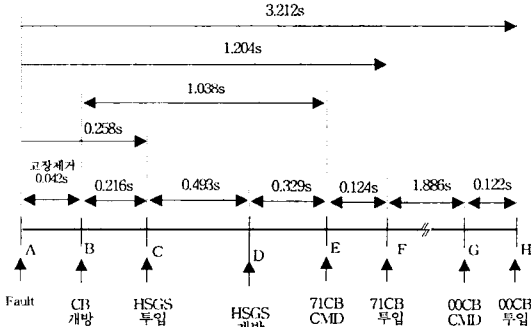


그림 4. 신가평변전소 동작시간 Chart

- 재폐로 시간
: 8471CB(1.204sec), 8400CB(3.212sec)
- 전체 동작 시간
· 71CB = 0.042s(고장제거시간) + 1.038s(재폐로시간 + HSGS 확인시간) + 0.124s(차단기 투입시간) = 1.204s
· 00CB = 1.204s(선형CB 투입시간) + 1.886s(후행 CB 투입준비시간) + 0.122s(차단기 투입시간) = 3.212s

2) 신태백변전소 동작시간 분석

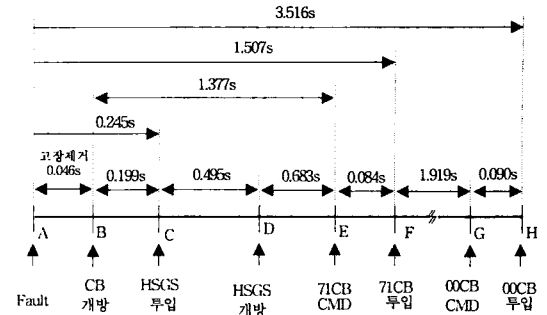


그림 5. 신태백변전소 동작시간 Chart

- 재폐로 시간
: 8371CB(1.507sec), 8300CB(3.516sec)
- 전체 동작 시간
· 71CB = 0.046s(고장제거시간) + 1.377s(재폐로 시간 + HSGS 확인 시간+선로 전압 확인 시간) + 0.084s(차단기 투입 시간) = 1.507s
· 00CB = 1.507s(선형CB 투입시간) + 1.919s(후행 CB 준비시간) + 0.090s(차단기 투입시간)=3.516s

2.3 고장점 표정 분석

2.3.1 고장표정거리 환산

지락고장의 경우 다음과 같이 환산하여 거리표정을 적용하였다.(총 공장 : 154.7km)

구 분	고장점 표정(km)		비 고
	1st (87)	2nd(87)	
신가평(A)	130.8	131.3	
신태백(B)	114.1	114.6	
비례계수	0.632	0.629	
신가평(환산거리)	82.7	82.6	
신태백(환산거리)	72.1	72.1	

표 2. 고장 표정 거리 환산표

※ 비례계수
= 총공장 ÷ (A S/S 표정거리+B S/S 표정거리)

2.3.2 오차율 환산

고장 표정 거리에 대한 오차율은 다음과 같다.

구 분	고장점 표정		비고
	1st (87)	2nd(87)	
신가평(환산거리)	82.7	82.6	
신태백(환산거리)	72.1	72.1	
신가평(실고장거리)	82.1	82.1	
신태백(실고장거리)	72.6	72.6	
오차거리(km)	+0.6/-0.5	+0.5/-0.5	
신가평 오차율(%)	+0.39	+0.32	
신태백 오차율(%)	-0.32	-0.32	

표 3. 고장 표정 거리에 대한 오차율

※ 오차율
=(고장점 환산 표정거리-실고장점 거리) ÷ 전체 공장
신가평변전소 및 신태백변전소 고장점 표정 오차율은 다음과 같다.

- 신가평변전소 765kV신태백T/L : 약 +0.32%
- 신태백변전소 765kV신태백T/L : 약 -0.32%

2.3.3 고장점 표정 거리 계산 종합

보호계전기의 고장점 표정 기능을 이용한 고장점 표정 환산거리 및 오차를 계산한 결과는 다음과 같다.

구 분	고장점표정(km)		비 고
	1st (87)	2nd(87)	
신가평(실고장거리)	82.1	82.1	
신태백(실고장거리)	72.6	72.6	
신가평(Relay A)	130.8	131.3	
신태백(Relay B)	114.1	114.6	
비례계수	0.632	0.629	
신가평(환산거리)	82.7	82.6	
신태백(환산거리)	72.1	72.1	
오차거리(km)	+0.6/-0.5	+0.5/-0.5	
신가평 오차율(%)	+0.39	+0.32	
신태백 오차율(%)	-0.32	-0.32	

표 4. 고장점 표정 거리

※ 비례계수

= 총공장+(A 변전소 표정거리 + B 변전소 표정거리)

상기 표에서와 같이 실제 고장점과 계전기의 고장점 정치와의 차이가 발생하나 총공장에 대한 비례계수를 통하여 환산하면 오차가 ±0.32% 이내이다.

2.3.4 지락 고장 거리 표정 오차 발생 사유 검토

고장 표정거리에 대한 오차 발생 원인은 다음과 같다

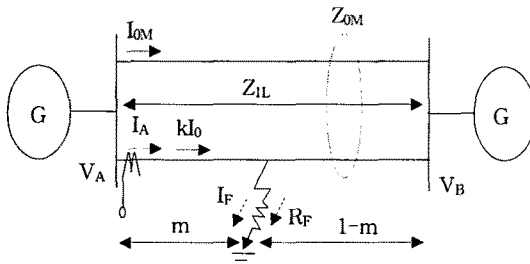


그림 6. 병행 2회선 등가회로(1선 지락시 단선도)

고장점까지의 거리를 전체 1[pu]로 보고, 고장점까지의 거리를 m로 가정하였을 때의 계전기 설치점으로부터 고장 지점까지의 전압 방정식은 다음과 같다.

$$V_A = m Z_{IL} (I_A + kI_0) + m Z_{OM} I_{OM} + R_F I_F$$

V_A : 계전기 설치점에서의 고장시 전압

m : 고장점 거리

Z_{IL} : 고장선로의 정상 임피던스(Ω /km)

I_A : 계전기 설치점에서 A상 부하전류(A)

k : 영상보상계수 $k = (Z_{0L} - Z_{1L})/3Z_{1L}$

I_0 : 고장시 영상전류(A)

Z_{OM} : 회선간 상호 영상임피던스(Ω /km)

I_{OM} : 회선간 상호 영상전류(A)

R_F : 고장점 저항(Ω)

I_F : 고장점 전류(A)

계전기가 지락고장에 대한 정확한 고장점 표정을 하기 위해서는 이론적으로 상기와 같은 요소가 필요하다.

IEEE 국제 규격에서는 다음과 같은 이유로 지락고장에 대해 계전기 고장점 표정은 오차가 발생한다고 기술하고 있다.

1) 계전기에 지역 특성을 고려한 정확한 고장점 저항값(R_F) 입력 불가

2) 회선간 상호 영상임피던스(Z_{OM})와 상호 영상전류(I_{OM}) 미적용

3) 765kV송전선로는 비연가선로로 상간 임피던스 차이 발생 (최대 20%) 등

3. 결 론

본 논문에서 2차 프로젝트인 신태백변전소와 신가평변전소에서 운전 중인 송전선로 보호계전시스템의 성능을 실제통 고장을 통해서 확인하였다. 즉 보호계전기 동작사항, Event 동작사항 및 고장점 표정 기능 측면에서의 분석을 통해 정동작 여부를 판단해 보았다.

보호계전기 동작사항에서는 고장 구간을 신속하게 계통에서 분리하여 고장이 파급되지 않도록 동작을 한 것을 확인할 수 있었다. Event 동작사항 분석에서는 각 차단기별 재폐로 동작시간과 각 단계별 동작시간을 분석해 봄으로써 보호시스템의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 또한, 송전선로 계전기의 재폐로 기능(HSCS 동작 포함)도 확인할 수 있었다. 이는 시운전 기간 중의 양단 계통 모의 고장시험에서 검증한 것처럼 실제통 고장에서도 정동작을 하여 계통의 안정적인 운전에 기여를 하였다. 고장점 표정 측면에서는 ±0.32%의 오차율을 확인하여 고장점 표정의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

본 자료는 향후 국내의 전력계통에 도입되어 운전 중인 설비의 운용 방법 개선과 향후 계통망 검토에서 중요한 자료가 되리라고 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] 윤장완외 2, "765kV 신태백S/S 준공시험 보고서", TM.C97ES01.G2004.821, 2004
- [2] 오세일외 4, "765kV 신가평S/S 준공시험 보고서", TM.C97ES01.G2004.822, 2004
- [3] 전명렬외 4, "765kV 송전선로 보호시스템 신뢰성 검증을 위한 End to End Test 실제통 적용", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2003
- [4] Multilin Relay Instruction Manual
- [5] 이재욱외 5, "RTDS를 이용한 디지털 보호계전기 Reach Test 계통 모델 선정 방안", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 388~390, 2004