

전력계통의 지락고장용량 초과개소 감소방안

이백석 · 강대인 · 박진홍 · 이진문  
한국전력공사

The decreasing study of ground fault current in power system

Lee Baek Seok · Kang Dae Yeon · Park Jin Hong · Lee Jin Moon  
KEPCO

**Abstract** - 전력계통의 연계 및 대단위발전단지의 증가로 지락고장용량이 단락용량을 초과하는 개소가 발생함에 따라 이에 대한 대책수립이 필요한 실정이다. 우리계통은 유효접지권을 유지하기 위해 345kV급 변압기는 주로 직접접지를 시행하고 154kV급 변압기는 일부 비접지 및 직접접지를 시행하고 있으나 지락고장전류 감소를 위하여 대단위 발전단지의 승압변압기를 비접지로 운전할 경우 중성선 전위상승으로 절연협조에 문제가 발생할 우려가 있다. 이에 따라 본 논문에서는 2003년 계통에서의 삼천포화력 차단기 차단용량 대비 지락고장용량 초과 해소 대책으로 관련기기의 BIL범위 내에서의 주변압기 비접지 운전 가능 대수와 비접지 운전시 차단기 결상으로 인한 변압기의 중성선 전위상승 방지 대책으로 중성선에 직렬로 NGR 설치시 전위저감 효과 및 지락고장전류 감소효과 등의 결과를 검토함으로써 향후 대책을 제시하였다

하였다. 변압기의 중성점 비접지운전에 발생할 수 있는 과전압으로부터 기기 보호를 고려하여 피뢰기 설치 경우를 검토하였으며 중성점 리액터 설치에 의한 고장전류 저감 효과에 대해서도 검토하였다.

표2 삼천포 승압변압기 중성점 권선 및 붕싱 BIL

발전소	Bank명 (#1-#6)	중성점권선 (BIL)	중성점붕싱 (BIL)
삼천포화력	승압변압기	450kV	550kV

2. 본 론

2.1 직접접지 개소 분리운전에 따른 전위상승

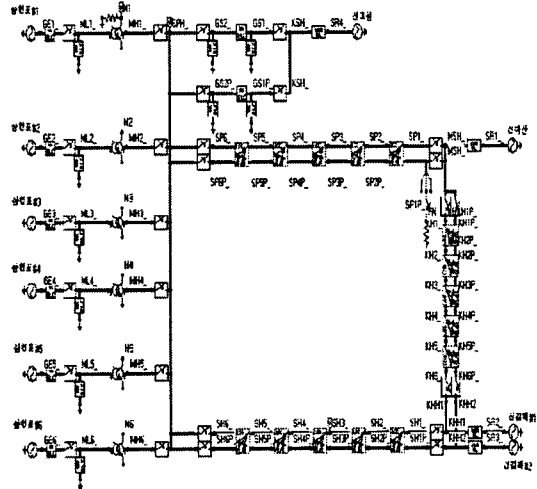


그림1. 삼천포화력 변압기 중성점 비접지운전 해석모델

1. 서 론

전력계통의 확장과 변압기의 중성점 직접접지 방식운전에 따라 지락고장용량이 차단기 정격을 초과하는 문제점이 나타나고 있다. 이에 대책으로 변압기의 중성점을 비접지운전하여 고장전류를 저감하고자 할 때 고려되는 사항들에 대하여 검토를 수행하고 결과를 정리 하였다. 본 논문은 삼천포 T/P의 345kV Step-Up 변압기 6대를 대상으로 발변전소 주변압기 직접접지 분리운전 가능대수, 발변전소 주변압기 비접지운전시 관련기기 BIL 초과여부 및 대책, 주변압기 차단기 결상시 변압기 중성점 이상전압 발생 여부 및 대책, NGR(Neutral Ground Reactor) 설치시 적정 임피던스등을 검토하였다

표1. 삼천포 T/P 고장 용량 2003년 하계 Peak 기준

발·변전소	차 단 기 차단용량	3상 단락 고장용량	1선 지락 고장용량	비고
삼천포T/P	40 kA	35.17kA	40.96kA	2003년 하계 Peak (48,851MW)

삼천포T/L 지락고장에 따른 건전상 최대 전위상승 크기를 모의한 결과는 아래와 같다.

2003년 하계 피크시의 조류를 상정한 PSS/E 계산결과에 기초하여 삼천포 T/P와 주변 변전소 3개소(신마산 S/S, 신고성S/S 신김해S/S)와 이를 연결하는 송전선로(삼천포T/L, 삼해T/L, 신김해T/L)에 대한 EMTP 해석 모델을 수립하였다. 삼천포T/P의 중성점 비접지운전 변압기수를 변화시켜가면서 1선 지락시 건전상 전위상승정도를 고장 위치와 고장 상에 대하여 각각 계산하였으며 동시에 중성점의 전위상승이 BIL을 초과하는지 검토하였다. 비접지 운전대수가 3대 이상으로 증가하면 1선 지락에 의한 건전상 전위상승이 1.3P.U를 초과하는 결과를 확인하였고, 또한 선로의 전위상승 제한 값 1.35P.U에 대한 마진을 고려하여 비접지운전 경우의 수를 2대까지로 하여 검토를 진행

비접지 대수	고장위치	고장위치 설명 및 내용 (삼천포 T/L)	최대 전위 상승 위치	건전상 전위 (P.U.)
1 대	MSH_A, SPL_A	신마산 S/S 모선, A상 지락	SP1_B, 사고지점 B상	1.242
	SP2_A	신마산 S/S 기점 12.3 km A상 지락	SP2_B, 사고지점 B상	1.240
	SP3_A	신마산 S/S 기점 24.6 km A상 지락	SP3_B, 사고지점 B상	1.233
	SP4_A	신마산 S/S 기점 36.9 km, A상 지락	SP4_B, 사고지점 B상	1.219
	SP5_A	신마산 S/S 기점 49.2 km A상 지락	SP5_B, 사고지점 B상	1.186
	SP6_A	삼천포 T/P 모선, A상 지락	345 kV 변압기 C상	1.261
2 대	SPL_A	신마산 S/S 모선, A상 지락	SP1_B, 사고지점 B상	1.245
	SP2_A	신마산 S/S 기점 12.3 km A상 지락	SP2_B, 사고지점 B상	1.245
	SP3_A	신마산 S/S 기점 24.6 km A상 지락	SP3_B, 사고지점 B상	1.239
	SP4_A	신마산 S/S 기점 36.9 km, A상 지락	SP4_B, 사고지점 B상	1.227
	SP5_A	신마산 S/S 기점 49.2 km A상 지락	SP5_B, 사고지점 B상	1.200
	SP6_A	삼천포 T/P 모선, A상 지락	345 kV 변압기 C상	1.292

표3. A상 지락고장 경우

비접지 대수	고장위치	고장위치 설명 및 내용 (삼천포 T/L)	최대 전위 상승 위치	건전상 전위 [PU]
1 대	MSH_A, SPL_B	신마산 S/S 모선, B상 지락	SPL_B, 사고지점 C상	1.242
	2 대	신마산 S/S 기점 12.3 km B상 지락	SP2_B, 사고지점 C상	1.259
	SP3_B	신마산 S/S 기점 24.6 km B상 지락	SP3_B, 사고지점 C상	1.259
	SP4_B	신마산 S/S 기점 36.9 km, B상 지락	SP4_B, 사고지점 C상	1.247
	SP5_B	신마산 S/S 기점 49.2 km B상 지락	SP5_B, 사고지점 C상	1.210
	SP6_B	삼천포 T/P 모선, B상 지락	345 kV 변압기 A상	1.263
2 대	SPL_B	신마산 S/S 모선, B상 지락	SPL_B, 사고지점 C상	1.245
	SP2_B	신마산 S/S 기점 12.3 km B상 지락	SP2_B, 사고지점 C상	1.263
	SP3_B	신마산 S/S 기점 24.6 km B상 지락	SP3_B, 사고지점 C상	1.264
	SP4_B	신마산 S/S 기점 36.9 km, B상 지락	SP4_B, 사고지점 C상	1.254
	SP5_B	신마산 S/S 기점 49.2 km B상 지락	SP5_B, 사고지점 C상	1.224
	SP6_B	삼천포 T/P 모선, B상 지락	345 kV 변압기 A상	1.294

표4. B상 지락고장 경우

비접지 대수	고장위치	고장위치 설명 및 내용 (삼천포 T/L)	최대 전위 상승 위치	건전상 전위 [PU]
1 대	SPL_C	신마산 S/S 모선, C상 지락	SPL_A, 사고지점 A상/R상	1.223
	2 대	신마산 S/S 기점 12.3 km C상 지락	SP2_A, 사고지점 A상/R상	1.220
	SP3_C	신마산 S/S 기점 24.6 km C상 지락	SP3_A, 사고지점 A상/R상	1.213
	SP4_C	신마산 S/S 기점 36.9 km, C상 지락	SP4_A, 사고지점 A상/R상	1.201
	SP5_C	신마산 S/S 기점 49.2 km C상 지락	SP5_A, 사고지점 A상/R상	1.173
	SP6_C	삼천포 T/P 모선, C상 지락	345 kV 변압기 A상	1.261
2 대	SPL_C	신마산 S/S 모선, C상 지락	SPL_A, 사고지점 A상/R상	1.226
	SP2_C	신마산 S/S 기점 12.3 km C상 지락	SP2_A, 사고지점 A상/R상	1.224
	SP3_C	신마산 S/S 기점 24.6 km C상 지락	SP3_A, 사고지점 A상/R상	1.218
	SP4_C	신마산 S/S 기점 36.9 km, C상 지락	SP4_A, 사고지점 A상/R상	1.208
	SP5_C	신마산 S/S 기점 49.2 km C상 지락	SP5_A, 사고지점 A상/R상	1.186
	SP6_C	삼천포 T/P 모선, C상 지락	345 kV 변압기 A상	1.292

표5. C상 지락고장 경우

삼천포T/L 고장시 변전소간 선로 중앙에서 건전상의 전위상승정도가 감소되며 선로양단 변전소에서 건전상의 전위상승이 증가하는 것으로 나타났다. 변압기 2대의 비접지운전에서는 삼천포 모선에서의 1선지락 사고시 최대 전위상승은 1.294PU이고 변압기 중성점전압은 최고 90kV까지 상승하나 중성선용 피뢰기 정격이 108kV인 점을 감안할때 문제가 없는 것으로 판단된다

구분	선로 고장위치지점	건전상 전위 [P.U.]			비접지 중성점 전위 [선로값, kV]			
		고장점 임피던스	고장점 임피던스	고장점 임피던스	고장점 임피던스	고장점 임피던스	고장점 임피던스	
	삼천포 T/L	0.001 Ω	1.000 Ω	5.000 Ω	0.001 Ω	1.000 Ω	5.000 Ω	
변압기 1대 비접지	SP1_B	신마산 S/S 모선, B상 지락	1.242	1.215	1.252	21.2	20.9	18.3
	SP2_B	신마산 S/S 기점 12.3 km B상 지락	1.259	1.236	1.238	19.6	19.4	17.7
	SP3_B	신마산 S/S 기점 24.6 km B상 지락	1.259	1.238	1.226	21.1	20.9	19.2
	SP4_B	신마산 S/S 기점 36.9 km, B상 지락	1.247	1.225	1.175	25.5	25.5	23.2
	SP5_B	신마산 S/S 기점 49.2 km B상 지락	1.210	1.210	1.184	37.4	37.4	32.0
	SP6_B	삼천포 T/P 모선, B상 지락	1.263	1.306	1.274	81.3	79.4	55.5
변압기 2대 비접지	SPL_B	신마산 S/S 모선, B상 지락	1.245	1.258	1.258	25.7	21.7	21.7
	SP2_B	신마산 S/S 기점 12.3 km B상 지락	1.263	1.223	1.245	23.1	20.9	20.9
	SP3_B	신마산 S/S 기점 24.6 km B상 지락	1.264	1.201	1.235	24.8	26.8	22.6
	SP4_B	신마산 S/S 기점 36.9 km, B상 지락	1.254	1.188	1.223	30.1	27.2	27.2
	SP5_B	신마산 S/S 기점 49.2 km B상 지락	1.224	1.173	1.202	43.2	37.2	37.2
	SP6_B	삼천포 T/P 모선, B상 지락	1.294	1.294	1.312	89.9	63.7	63.7

표5. 1선 지락고장시 고장임피던스와 전위상승

표5는 고장임피던스와 건전상 및 변압기 중성점과의 전위상승을 검토한 결과 삼천포 모선사고시에는 고장점 임피던스증가와 함께 건전상 전위가 다소 상승하는 결과가 있었으며 고장임피던스가 커질수록 변압기 중성점 전위상승이 감소하는 것으로 나타났다

## 2.2 주변압기용 차단기 단순결상시 중성점 전위 주변압기용 연계 차단기 조작용 단순 결상발생시의 중성점 전위상승을 검토한 결과는 아래 표6와 같다

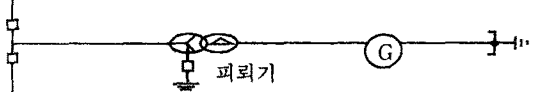


그림2. 삼천포화력 4대 직접접지 2대 비접지

구분	1대 비접지, 1대 1상결상	2대 비접지, 2대 1상결상	2대비접지 1대 2상결상	3대 비접지, 3대 1상결상	6대 비접지, 6대 1상결상
중성점 전압 [선로값, kV]	4.91	5.55	9.67	6.58	14.48
최대 피크전압 [Peak kV]	21.00	21.05	22.61	21.14	29.06

표6. 단순결상 발생시 경우

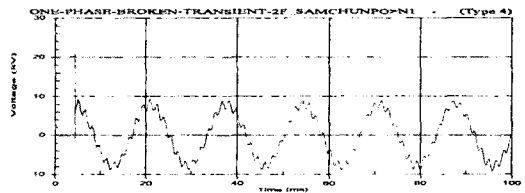


그림 3. 비접지2대 변압기 2상 결상시 중성점 전위 상승 (t=5 ms 시점에서 결상 발생)

주변압기연계 차단기가 단순결상만 발생한 경우는 중성점 전위상승이 최대 23kV정도로 크지 않으며 비접지 운전시에도 피뢰기 정격 이내로 문제가 없음을 알 수 있다

## 2.3 주변압기 연계선로 지락후 결상시 중성점 전위 주변압기 연계 차단기가 지락고장후 결상시 중성점의 전위상승을 검토한 결과는 표6과 같다

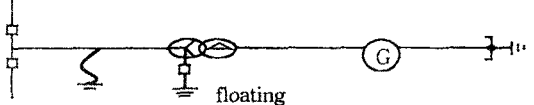


그림 4. 지락고장후 결상 발생 경우

(삼천포화력 4대 직접접지 2대 비접지)

점도조건	A,B open		A open		B open		C open	
	C close상대 전압비접지 TR	C close상대 전압비접지 TR	B,C close상대 전압비접지 TR	B,C close상대 전압비접지 TR	A,C close상대 전압비접지 TR	A,C close상대 전압비접지 TR	A,B close상대 전압비접지 TR	A,B close상대 전압비접지 TR
중성점 전압 [선로값, kV]	198	76	113	88	120	87	31	83
최대 피크전압 [Peak kV]	274	108	170	126	172	126	158	126

표7. 지락후 결상 발생시 경우

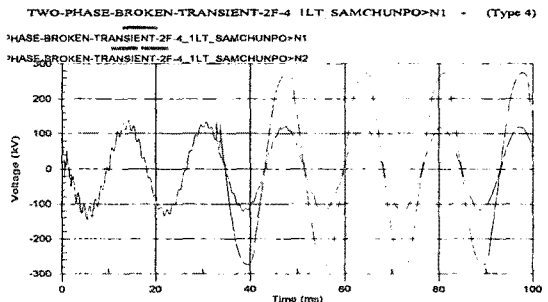


그림 5. 결상변압기와 잔여비접지변압기 중성점전위 1선지락사고후 차단실패에 의한 조건에서 t=30ms에서 a상과 b상은 개방되고 고장상인 c상이 투입되어 있을 경우 결상발생 변압기 중성점 전압은 198kV이고 잔여 비접지운전 변압기 중성점전위는 76kV로 모의되어 고장상의 차단기가 개방되지 않을 경우의 중성점에 설치된 피

회기 정격 108kV를 초과하며 승압변압기 중성점 상용주파내전압인 185kV를 초과하는 경우가 발생함에 따른 대책이 필요하다

**2.4 비접지 변압기 중성점에 리액터 설치시 효과**  
 지락고장전류 감소 및 결상발생시 전위상승에 따른 대책을 위해 중성점에 리액터설치를 할경우의 효과를 검토한 결과는 표8과 같다

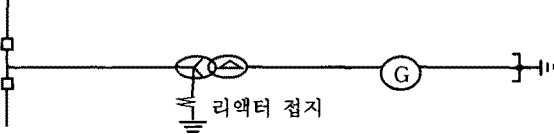


그림 6. 비접지개소에 리액터 설치

검토 조건	고장 전류 크기(kA)					
	중성점 비접지시	NGR=10	NGR=50	NGR=100	NGR=500	NGR=1000
1대 NGR 설치	38.84 kA	40.81 kA	40.37 kA	40.04 kA	39.28 kA	39.08 kA
5대 직접 접지	100.00%	105.08%	103.96%	103.10%	101.13%	100.63%
2대 NGR 설치	36.24 kA	40.66 kA	39.75 kA	39.04 kA	37.30 kA	36.84 kA
4대 직접 접지	100.00%	112.20%	109.70%	107.73%	102.94%	101.66%
6대 NGR 설치	40.96 kA	40.02 kA	36.87 kA	33.91 kA	24.18 kA	20.68 kA
6대 접지	100.0%	97.7%	90.0%	82.8%	59.0%	50.5%

표8. 리액터스 변화에 따른 고장전류 크기

2대 비접지 운전개소에 리액터스 1000용 리액터 2대 설치시 삼천포화력 모선의 지락고장전류크기는 36.84kA로 감소된다. 아래 표9은 NGR 100Ω 설치시 지락고장 및 고장상의 결상이 발생할 경우 중성점 전위상승을 검토한 결과이며 중성선용 피뢰기를 144kV용으로 상향설치하고 결상이 발생하여도 상용주파내전압이내의 전위값으로 제한이 됨을 볼 수 있다

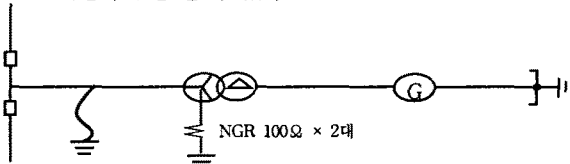


그림7. NGR설치개소에 지락고장 발생시

검토조건	A, Bφ open, Cφ close상태	
	결상 TR	잔여비접지 TR
중성점 전압	138	73
최대 피크전압	351	110

표9. 주변압기 C상 지락후 결상

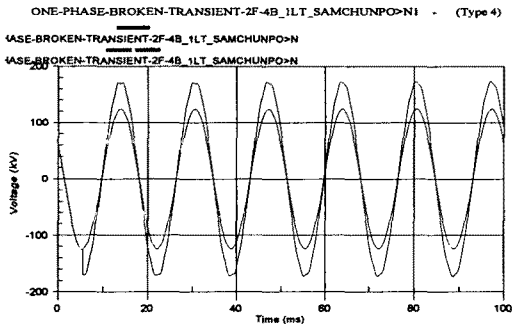


그림8 결상변압기와 잔여비접지변압기 중성점전위

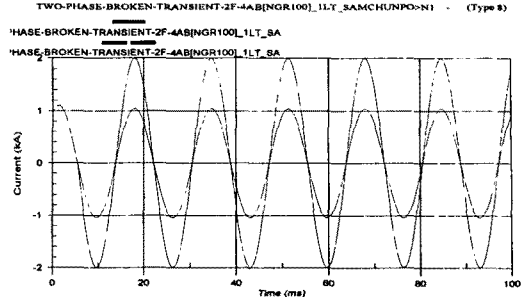


그림9 결상변압기와 잔여비접지변압기 중성점전류

### 3. 결 론

삼천포화력 주변압기에 NGR설치시 지락고장전류 감소 및 차단기 결상시 중성점 전위억제 효과 등이 있으나 향후 인근계통에 발전소 추가 및 계통변경에 따른 지락고장전류가 증가될 것으로 예상되므로 2대 설치개소이외에도 잔여 변압기에 추가 설치가 필요함에 따라 리액터의 설치가능 장소, 크기, 중량 등의 상세 검토가 요구된다 또한 소요대수가 적음에 따른 리액터 개발비 상승 등 상세한 경제성 검토가 수반되어야 하며 비접지 운전중 결상 발생 확률 등을 고려한 종합적인 대책수립이 필요하다. 장기적으로는 지락고장용량이 차단기고장용량을 초과하는 개소는 대부분 단락고장용량도 초과하는 관계로 차단정격상향 차단기 설치 및 모선구분 차단기 설치, 계통변경 등으로 대처하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력, "2002년장기송변전설비계획",2002.12
- [2] PTI, PSS/E APPLICATION MANUAL, 2001