

6600V 비접지 전력계통 지락보호계전기의 오부동작에 관한 연구

김병태*, 전명수**
 부산교통공사*, (주)신우디엔시/일렉연구소**

A Study on the Ground Fault Protection Relay's malfunction or non-tripping in 6600V Non-grounding High Voltage Power System

Byung-Tae Kim*, Myung-Soo Jeon**
 Busan Transportation Corporation*, Sinwoo DnC**

Abstract - 6.6KV 고전압 위험으로 접지계통용변압기(GPT)와 영상 변류기(ZCT)의 2차측에 전압 전류 시험 유입방식으로는 해당 지락보호계전기의 정·부동작이 정확한지 검증이 되지 않아 안전사고 발생의 우려성이 존재하고 있었으며, 이의 해결을 위하여 6.6KV 고압측에 인공 지락시험을 통하여 국내의 일부 계전기의 동작 전압 전류 극성이 사양과 상이한 것을 발견하여 실제통에 합당하도록 시정함과 동시에 감전시 인체 저항을 감안한 지락보호계전기(OVGR, SGR) 정정값을 도출하여 인명을 보호하게 하기 위한 지락보호계전 시스템에 대한 연구이다.

1. 서 론

고압 비접지 지락보호설비에 있어 현재의 기술동향은 SGR 보호계전 방식에서 변압기 중성점을 저항접지 하고 OCGR 보호계전 방식으로 가는 추세이다. 이는 지금까지 지락사고 발생시 정확한 선택 차단에 난해함이 있었기 때문이라 할 수 있겠다. 인축의 감전, 전력케이블 절연과 과 등 지락사고 발생시 해당 지락보호계전기의 부동작으로 해당 사고 구간의 차단기가 동작하지 않거나 오동작으로 정상적인 전력을 공급중인 인접 차단기가 오동작하는 사례가 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하고자 6.6KV 비접지 전력계통의 보호방식을 연구하여 지락사고 발생시 고장구간을 신속하게 차단하여 피해를 최소화할 수 있도록 6.6KV 전기설비에 인공 지락시험을 할 수 있는 결합시험 장비를 개발하여 실제 시험을 통하여, 사고구간의 보호계전기와 차단기가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

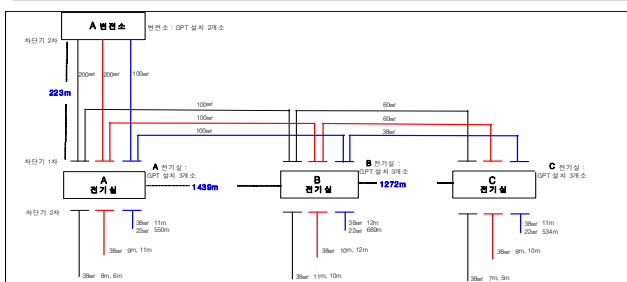
2. 본 론

2.1 연구대상 설비구성

변전소(24개소) 및 전기실(106개소)에 6.6KV 고압배전 전력계통의 지락보호방식은 지락과전압계전기(OVGR) 또는 지락과전압계전기(OVGR)와 선택지락보호계전기(SGR)를 이용한 보호방식을 사용하고 있다.

2.1.1 고압 지락보호설비 설비현황

구분	설 비 현 황				보호방식			비 고
	GPT	ZCT	OVGR	SGR	OVGR	SGR	OVGR +SGR	
변 전 소	32	53	32	53			53	유도원관형
	13	23	13	23			21	디지털
전 기 실	-	-	-	-	변전소에서 보호차단			설치없음
	52	105	52	105	12	49	56	유도원관형
	58	58	58	58			54	디지털집합형
	계	155	239	155	239	12	49	186



〈그림 1〉 6.6kV 계통 구성 및 케이블 규격

2.2 지락보호계전기 오·부동작 사례

2.2.1 직원 감전사고

전기실 정비작업 중 분기회로 차단기 1차 측에서 직원 감전사고가 발생되었으나 관련 ○○변전소의 해당 분기회로 공급 지락계전기는 동작하지 않고 정상 전력을 공급중인 다른 Feeder의 지락계전기가 오동작되어 공급이 중단됨. 사고 구간 차단은 상위 차단기의 과전류보호계전기(OCR)가 동작하여 차단기가 개방되었다. 지락사고가 단락사고로 진전되면서 과전류보호에 의하여 차단되는 현상이 발생한 사례로 추정할 수 있다.

2.2.2 쥐의 감전에 의한 지락사고

전기실내의 차단기 2차 측에 쥐가 감전되면서 인근 전기실과 ○○전기실의 정전이 약 35분~48분간 발생하였다. 사고내용을 분석하면 선택지락계전기(SGR)는 설치되어있지 않고 지락과전압보호계전기(OVGR)만 설치된 지락 보호설비로 쥐의 감전시 지락과장점에서 가까운 곳의 OVGR이 검출 감도가 먼곳의 OVGR 보다 민감한 것을 알 수 있었다.

2.2.3 전력케이블 절연불량에 따른 지락사고

변전소~전기실간 R상 케이블의 절연불량으로 지락사고가 발생되었을 때 고장구간 SGR 의 상위의 차단기의 SGR 및 정상 전력을 공급중인 다른 분기의 SGR이 동작 Trip 됨. 사고내용을 분석하고 지락시험 결과 선택지락보호계전기(SGR) GPT의 입력극성이 설계도서와 상이 하였다.

2.3 영상전압, 영상전류 검출 및 기본 동작원리

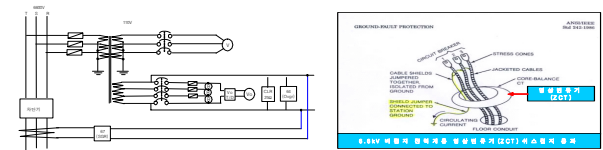
2.3.1 영상전압 및 영상전류 검출

6.6KV 전력계통 지락보호는 변전소, 전기실에 OVGR(GPT), SGR(ZCT+GPT)등으로 보호회로를 구성하고, 보호계전기는 유도원관형 또는 디지털 보호계전기로 구성되어 있다. 고압배전 전력계통의 영상전압을 검출하기 위해 GPT(GVT)를 사용한다.

(가) GPT 전압사양 : $\frac{6600}{\sqrt{3}} / \frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{190}{3} [V]$

(나) CLR 저항 : 25[Ω]

(다) CLR 용량 : 1444[W] (연속적격)



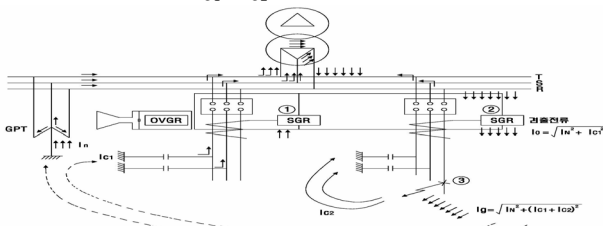
〈그림 2〉 GPT 오픈델타 접속 및 영상변류기 스위스점지 통과

선택지락계전기(SGR)는 지락사고시에 영상전압과 영상전류로 동작하는 전력형 방향계전기로서 그림3과 같이 사고회선을 선택 차단한다. 변전소의 지락보호계전 시스템은 선택지락계전기(SGR)는 사용시에 기계적 충격에 약해 오동작 가능성이 있으므로 선택지락계전기(SGR)와 지락과전압계전기(OVGR)를 조합해서 사용하고 있고, 전기실은 선택지락계전기(SGR)만 사용하는 개소와 지락과전압계전기(OVGR)와 조합해서 사용하는 곳이 있다. 영상변류기의 2차측 접지는 변류기와 동일하게 한곳만 배전반측에서 한다. 또 케이블 관통형을 적용할 때의 케이블 스위스의 접지는 그림2(b)(케이블의 전원측에 ZCT를 설치할 경우)와 같이 접지선을 영상변류기를 통과해서 접지한다. 만일 그림2(b)처럼 영상변류기를 통과하지 않고 접지하면 지락사고시에 스위스를 흐르는 전류가 도체에 흐르는 전류를 상쇄하게 되어 부동작의 원인이 된다. 디지털형 선택지락계전기 최소동작전류는 동작영상전압 4V~76V 와 동

작형상전류 0.9mA~5.4mA / 0.3mA 로 셋팅이 가능하며, 동작위상각 (RCA)은 0°~90°이며, 동작시간특성은 0.1~10초/0.1step 이다.

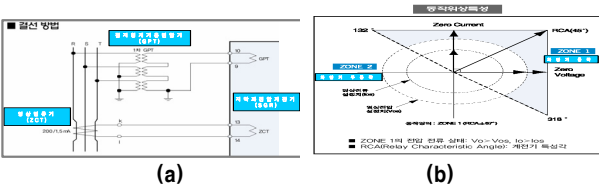
2.3.2 GPT와 ZCT에 의한 기본 동작원리

그림3 에서 점 ③에 지락 고장이 발생하면 R상의 모든 선로가 대지 전위(0전위)로 되며, GPT 중성점을 통하여 유효분전류 I_n 이 흐르고 S,T상에는 충전전류 I_{C1} , I_{C2} 의 전류가 흐른다.



〈그림 3〉 비접지 계통에서 지락전류 흐름도

③점에서 완전 지락이면 GPT를 통하여 흐르는 전류(I_n)는 최대치인 0.38A가 흐르고 이 때 Open-Delta에 유기되는 영상전압(V_0)은 190V 까지 올라간다. 이 회로도에서 지락전류는 화살표와 같이 흐르며, 동일 변압기에서 공급하는 어느 한 분기선에서 지락고장 발생시 해당 변압기에서 공급되는 여러 Feeder에 설치된 모든 GPT에는 동일한 영상전압이 나타나며, 건전 Feeder에 설치된 ZCT에는 지락 고장 회로의 영상전류 방향과 반대 방향의 영상전류가 흐르게 되므로 SGR이 동작하지 않으며, 지락고장회로는 In과 타회로 충전전류의 합성 전류가 GPT 영상전압 V_0 와 근접하는 방향으로 흐르므로 SGR이 선택 차단할 수 있게 된다. 기존의 유도형 SGR에서는 GPT의 영상전압 V_0 와 ZCT의 I_0 와 위상각에 의한 전력형 이므로 부동작 범위가 크며, 최근의 디지털형의 SGR은 V_0 와 I_0 의 값을 각각 조정할 수 있으므로 동작범위가 넓게 예민하게 정정할 수 있어 유리하다.



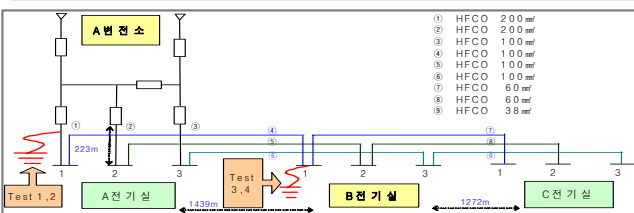
〈그림 4〉 보호계전기 카다로그(결선도 및 SGR 동작위상 특성)

2.4 인공지락시험

인공지락시험은 다음과 같은 조건에 의하여 현장에서 실시한 시험결과에 따른 차단시간, 영상전압, 건전상의 전압상승 등의 사항을 확인하였으며, 문제점 해결을 위하여 SGR의 동작 값을 분석 변경해 가면서 얻은 결과 현재 사용중인 일부 SGR은 영상전압 동작극성에 문제점이 있어 해당 SGR이 아닌 건전 Feeder의 SGR이 동작되었다. 또한 고압케이블 등이 절연과피 되었을 때에는 동작 되었으나, 인축의 감전(500~2000Ω) 시에는 신속한 동작이 되지 않는 점을 확인할 수 있었다. 따라서 고저항 지락시에 유도형 SGR의 동작이 관련한 것이 확인 된 것이다.

2.4.1 인공지락시험 조건

구 분	내 용	비 고
시험조건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 디지털보호계전기(OVGR+SGR) ○ A변전소 GPT 2개 설치 ○ 전기실 3개소(A~C전기실) GPT 9개 설치 ○ Test 1 (지락저항) : 500Ω ○ Test 2 (지락저항) : 2000Ω ○ Test 3 (지락저항) : 2000Ω ○ Test 4 (지락저항) : 2000Ω 	
시험장소	A변전소 차단기 2차측 R상에서 지락시험 B전기실 차단기 2차측 R상에서 지락시험	Test 1, 2 Test3, 4

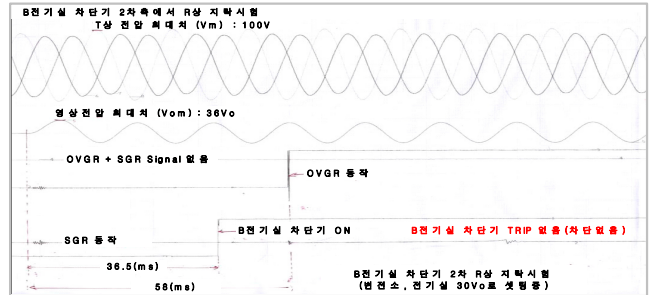


〈그림 5〉 전력공급계통 도면 (변전소, 전기실 차단기 2차 지락시험)

2.4.2 상황별 시험결과

동작값은 Memory Recorder로 측정된 파형으로 결과는 다음과 같다.

시험장소	Test명	동작 값 분석결과			비 고
		차단 시간(초)	영상 전압(V_0)	건전상 전압(V)	
A 변전소	Test1	0.13	79.6 → (2765V)	91.9 → (5534V)	완전지락시 - 건전상 전위상승 $\frac{6600}{\sqrt{3}} \times \sqrt{3} = 6600[V]$ - 영상전압 190(Vo)→6600(V)
	Test2	0.13	28→(972)	74→(4455)	30Vo 부동작→20Vo 변경
B 전기실	Test3	트립없음	25→(868)	70.7→(4256)	30Vo : 부동작
	Test4	0.13	25→(868)	70.7→(4256)	20Vo 셋팅



〈그림 6〉 B전기실 차단기 2차 R상 지락시험 측정파형(Test3)

2.4.3 시험결과

결합시험 장비를 사용하여 인공지락시험을 실시한 결과 다음 표와 같이 24개 변전소 중 80%, 106개 전기실 중 87.5%의 비접지 전력계통 보호계전기 설비의 설계도서와 실효성이 상이하여 오동작 하는 문제점을 확인하여 보완조치하였다.

영상전압 변화 추이도	변전소, 전기실 주요 오동작 원인
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지락보호계전기 카다로그와 특성 상이 <ul style="list-style-type: none"> ※ 카다로그상 정확한 결선이나 오동작 함. ○ 지락보호계전기 설정값 정정 <ul style="list-style-type: none"> - OVGR 순시76V, 20V, 0.05sec, VI(DT) - SGR 20V, 0.9mA, 0.05sec, 45°(60°) ○ 보조릴레이 내부접점 오류 및 보호회로 누락

3. 결 론

고압 비접지 전력계통을 현장에서 인공지락시험을 실시한 결과 제품도서와 특성이 상이하여 오·부동작하므로 해당 차단기는 동작되지 않고 건전선로의 차단기가 차단되어 혼란을 가중시키는 현상이 확인되었으며, 또한 정상적으로 동작이 된다고 할지라도 동작 값을 분석 변경해 가면서 얻은 결론은 현재의 보호시스템은 전력케이블 등이 절연과피 되었을 때에 설비보호용으로만 차단이 되고, 인축의 감전사고시(고저항지락)에는 사고구간을 신속하게 차단할 수 없었다는 것이 확인되었다. 그러므로 인축의 감전사고에서 사고구간을 신속하게 보호차단 할 수 있도록 하기 위하여 앞서 언급한 바와 같이 보호계전기의 설정 값을 낮출 수 있는 디지털형 보호계전기의 설치가 필요함을 확인할 수 있었다.

선택지락계전기의 극성에 대해서도 GPT 입력 극성을 정확하게 결선할 필요성이 있으며, 구체적으로 선택지락계전기 내부의 입력극성을 변경하거나 제작회사의 카다로그의 입력극성을 변경하여야 하는 사항이 확인되었다. 고압 비접지 구간에서 케이블 소손사고시 CLR 과열에 의한 화재나, GPT의 소손 등의 예를 볼 수 있는데 이것 또한 사고시 고저항선로를 신속히 차단하지 못하고 지락 사고가 장시간 지속되는 것이 원인이라 할 수 있겠다. 끝으로 인공지락시험을 시행할시 건전상의 전압상승이 문제가 될 정도로 우려하였으나 앞서 소개한 Memory Recorder로 측정된 파형을 분석한 결과 문제가 되지는 않았다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유상봉의 7명 “보호계전시스템의 활용기술”, 기다리, P179~486, 2002년도
- [2] 이준경, “전기철도의 6.6KV 비접지 고압배전방식에서 지락보호에 대한 연구”, 한양대학교 산업대학원 공학석사 학위 논문, 2000년도
- [3] 김정철, “자가용 전기설비의 모든것”, 기다리, P63~92, 1998년도
- [4] 김정철, “전기철도의 급전시스템과 보호”, 기다리, P.376~384, 2004년도