

배전자동화 기반의 비접지계 지락고장처리 방안 연구

설일호*, 허복남*, 정미애*, 강문호*, 이상호**
*한전 전력연구원 **한전 중앙교육원

A Study of Line-to-ground Fault Solution in Ungrounded Network
base on the Distribution Automatic System

Ieelho Seol*, Boknam Ha*, Miae Jeong*, Moonho Kang*, Sangho Lee**
*KEPRI **KEPCO Central Education Institute

Abstract - 최근 한국전력은 중국, 인도 등 동남아시아 지역을 주요대상으로 자체개발한 종합배전자동화시스템을 수출하고자 활발하게 접촉하고 있다. 이들 대부분 수출대상 주요국가의 배전계통이 비접지로 운영하고 있어 배전계통 운영자의 공통된 관심사가 지락고장이 발생한 경우에 고장처리 방법이다. 비접지 계통은 단락고장의 경우 고장전류가 커 쉽게 고장구간 탐색이 용이하지만, 지락고장의 경우 고장전류가 매우 적어 배전자동화시스템에서 지원하는 고장처리 기능을 수행하기에 곤란하다. 따라서 해외시장의 기술적 우위확보와 종합배전자동화시스템의 다목적 기능을 수행하고자 연구를 시작하였다. 지락고장이 발생하였을 때의 각종 파라메타를 중심으로 검토하였으며, 영상전압과 영상전류의 위상을 비교하여 고장구간 탐색기법을 제시하였다. 현재 연구결과를 바탕으로 현장실증시험이 진행되고 있다.

1. 서 론

전력계통의 접지방식은 중성점과 대지간의 임피던스 종류에 따라 구별하며 그 종류로는 직접접지, 비접지, 저항접지 및 리액터 접지로 구분하고 있다. 어느 접지방식을 선택하느냐에 따라 그 계통의 전압계급, 보호계전방식, BIL, 제한전압, 전선크기와 지지물의 높이 등 계통의 모든 사항을 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있으며 국가의 전력계통당부에서 구내 수변전설비까지 계통을 구성하고자 할 때 가장 먼저 고려되어야 할 사안이다.

우리나라의 송전선로는 직접접지로서 사실상 유효접지이고, 배전계통에서는 직접접지의 다중접지 방식을 사용하고 있다. 비접지는 서울 중심부에 22kV와 6.6kV급 배전선로가 일부 남아 있다. 그 외로는 울릉도 등 열해가 심한 도서지역에서 6.6kV를 사용하고, 특고압 수전고객의 구내설비에서 소규모 사용하고 있다.

또한 배전자동화시스템의 주요 수출 대상국으로 삼고 있는 중국, 인도, 리비아 및 동남아 일부국가에서는 등에서 비접지방식을 사용하고 있다. 비접지방식은 접지형 변압기에 의한 접지 이외에 따로 계통의 중성점을 접지하지 않는 방식이다. 따라서 비접지 방식은 지락고장전류의 귀로도체가 형성되어 있지 않고 대지와의 충전용량에 의해서 고장전류가 귀로하게 되므로 고장전류의 크기가 작고 고장검출 기법에 제한을 받고 있으며 보호방식 선정에도 곤란한 문제점을 갖고 있다.

2. 비접지 계통의 보호방식

2.1 단락보호

비접지 선로의 선간단락고장은 직접접지계통과 다르지 않고 고장전류의 크기가 커 쉽게 고장검출 및 고장구간 탐색이 용이하다. 일반적으로 6.6kV급 배전선로에서는 CT 2개를 사용하여 V결선하고 과전류계전기(OCR) 2개를 쓰는 방식으로 과전류계전방식을 사용하고 있다.

2.2 지락보호

1선지락고장시 지락전류의 크기가 10A이하로 매우 작아 계통의 안정도에 큰 영향을 끼치지 않으므로 지락고장이 발생하였다더라도 지속적인 송전을 할 수 있는 장점이 있어 중요한 설비 또는 유도장해의 영향을 적게 하기 위한 주요 장소에서 적용하고 있다. 그러나 지락고장을 제거를 하지 않는 상태에서 2선지락으로 확대될 경우 선간단락고장과 같이 고장전류의 크기가 커지므로 계통의 외란으로 작용하여 큰 영향을 미치고, 사용전압이 높고 선로공장이 길어지면 충전전류가 커져 충전전류에 의한 간헐 아크지락으로 인해 이상전압이 발생할 수 있으므로 1선지락고장이 발생하였다더라도 조기에 고장제거가 필요하다. 지락보호방식에는 단일선로에서는 지락과전압계전방식을 사용하며, 다회선의 Feeder가 있을 경우 대부분 방향지락계전방식을 사용하고 있다.

2.2.1 지락과전압계전방식

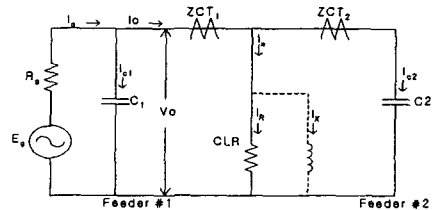
지락고장시 발생하는 영상전압의 크기를 검출하여 지락과전압계전기가 동작하여 경보 또는 차단기를 동작시킨다. 여러 Feeder가 있을 경우 이 방식으로는 고장발생선로를 선택할 수 없어 단일선로에서만 사용한다.

2.2.2 방향지락계전방식

지락고장시 영상전압과 영상전류와의 곱으로 동작하는 전력형의 방향계전기로써 각 배전선의 영상변류기에 흐르는 전류는 정상상태와 고장상태에서 전류방향이 달라 고장선로를 검출할 수 있는 원리를 이용하였다. 모선에 GPT를 설치하고 중성점을 대지와 직접접지하여 2차측 개방Delta 결선에 한류저항(CLR)을 삽입한 구조이다.

정상상태에서 CLR 양단자의 영상전압은 0이지만, 1상 완전지락시에 양단자 전압은 3V₀가 발생되고 이 전압으로 SGR이나 OVGR의 전압단자에 인가되어 CB를 동작시켜 고장선로를 차단한다.

2.3 지락고장전류 해석



$I_1 = I_{c1} + I_{c2} + I_0$
 $I_0 = I_{c1} + I_{c2}$
E₁: 지락점 전류 R₁: 지락고장저항
C_{1,2}: 선로용량 I₀: CLR전류
I₁: 지락전류 I₀: GPT에 흐르는 전류
I_{1'}: GPT, SGR 여자전류

그림 1. 지락고장전류의 등가회로

Feeder #1의 충전전류I_{c1}은 ZCT₁을 기준으로 정방향, 역방향으로 통과하여 상쇄되어 ZCT₁에서는 I_{c1}을 감지할 수 없으며 Feeder #2의 충전전류I_{c2}와 I_n를 검출하게 된

다. 따라서 검출할 수 있는 전류는 인근선로의 충전전류와 GPT로 유입되는 전류($I_r + I_o$)의 크기로 결정된다. 만약 Feeder #2와 CLR이 없다면 ZCT의 검출전류는 GPT 여자전류와 부단전류뿐 이므로 SGR이 감지할 수 없는 매우 적은 전류만 흐른다. Feeder #2가 없더라도 I_{C2} 에 비하여 I_N 가 상대적으로 크므로 결국은 I_N 에 의하여 SGR을 구동할 수 있다

2.4 일본의 지락고장처리 방법

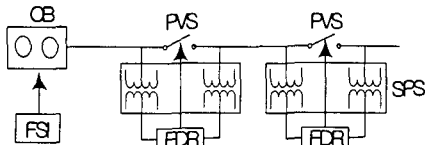
비접지계통인 일본 배전자동화시스템의 고장처리는 VSS(Voltage Sensing System)와 CSS(Current Sensing System) 두 가지 방식을 사용하고 있다.

2.4.1 배전자동화 고장검출 설비구성

지락고장의 경우 다음과 같은 설비로 구성되어 고장을 검출하게 된다

- PVS(Pole-mounted Vacuum Switch) : 선로에 전압이 공급되고 있는 중에는 여자코일에 전압이 인가되어 투입 상태를 유지하고, 전압상실되면 자동적으로 개방된다.
- SPS(Switch Power Supply) : PVS 양단의 전압감지 및 여자코일에 전압을 인가하여 PVS의 동작력을 가진다.
- FDR(Fault Detecting Relay) : 내부에 한시접점(X-time), a접점(Y contact) 제공을 위한 마그네틱SW와 Manual SW(On, Off)로 구성되어 있다.

VSS를 주로 사용하고 있으며, 배전자동화 주장치 및 통신장치가 정상적인 기능을 수행할 수 없더라도 순차적인 투입방식에 따라 고장발생구간의 앞 구간까지는 송전이 가능한 장점이 있다. 그러나 고장발생시 공급하고 있는 모든 구간이 정전되어야 하고, CB측의 재폐로에 의한 정전발생 횟수가 많고 순차적으로 투입하게 되므로 고장구간 탐색에 시간소요가 큰 단점을 가지고 있다. 이를 보완하고자 PVS가 투입될 때마다 건전구간을 역송전이 가능하도록 계산하는 기능을 갖추도록 개발하고 있다.



FSI : Fault Section Indicator

그림 2. 일본의 지락보호 시스템

2.4.2 VSS(Voltage Sensing System)

VSS는 전원을 상실했을 때 자동적으로 구간을 분리하는 자동화 시스템이다. VSS를 사용하여 계통을 구성하게 되면 전압 및 시간을 파라미터로 이용하여 사전에 규정된 연속적인 진행절차에 따라 고장구간을 탐색·분리하게 된다. 정상선로에서 고장이 발생하면 다음 절차에 따라 고장구간을 분리하고 고장점 이후의 건전구간은 원격으로 복구한다.

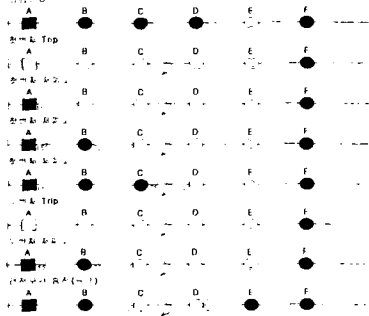


그림 3. VSS

2.4.3 CSS(Current Sensing System)

CSS는 VSS와는 달리 각각의 개폐기에 설치되어 있는 OCR를 이용하여 고장구간을 탐색하고 CB의 재폐로와 원격제어로 고장구간을 분리 및 건전구간을 송전하는 것으로 과전류계전방식을 이용하였다.

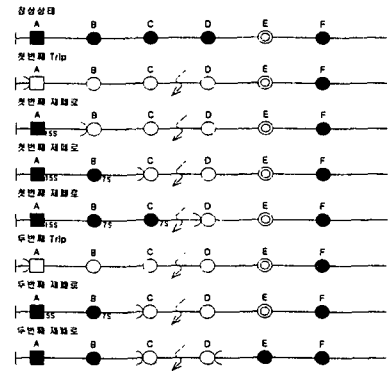


그림 4. CSS

3. 고장구간 탐색을 위한 제안 알고리즘

기존의 방식에서는 변전소에서 집중된 자료를 이용하여 고장을 검출하였지만 즉, 선로구간별로 전압, 전류 등 실제 운전중인 현장자료를 취득할 수 없었으나 자동화개폐기를 설치하게 되면 원하는 지점의 모든 자료를 원격으로 취득할 수 있어 이를 이용하여 다양한 방법을 모색할 수 있다. 또한 배전변전소에 GPT의 설치유무와 관계없이 FRTU에서 취득한 현장자료를 이용하여 배전자동화 주장치에서 고장검출 및 구간파악이 가능하도록 고려해야 한다.

현장자료 취득시 주의 해야 할 사항으로는 영상전압 및 전류의 크기가 작아 일반적인 변성기에 비하여 감도가 높아야 한다는 점이다. 변성기별로 특성이 다르므로 측정지점의 변성기가 취득하고자 하는 값에 알맞은 기기 인지를 먼저 확인해야 한다. 앞 장에서 비접지계통의 지락보호에 대하여 설명한 것을 토대로 FRTU에서 취득할 수 있는 각종의 파라미터(전압분포, 영상전압, 영상전류, 대지충전전류 등)를 검토·조합하여 실현가능성을 가지고 다양한 지락검출기법을 연구한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

3.1 지락고장전류의 특성

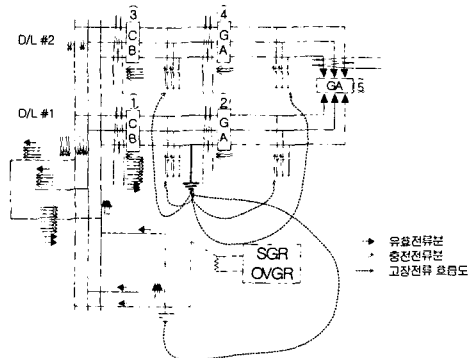


그림 5. 지락고장전류 상세 흐름도

그림 5를 이용하여 다음과 같은 해석을 할 수 있다.
 • GPT에서 취득한 영상전압의 방향과 ZCT②, ③, ④의 영상전류의 방향은 지락고장점으로 향하고 있어 방향

이 서로 반대현상이 일어난다.

- 고장점의 전원측에 있는 ZCT①의 고장전류 방향은 GPT 영상전압의 방향과 같지만 ZCT②의 고장전류와 반대방향이다.
- ZCT③보다 ZCT④의 전류크기는 작지만 방향은 동일하며 이 때의 전류크기는 선로의 충전용량에 의해 결정된다.
- 따라서 고장점을 중심으로 두 전류의 방향이 달라 전류의 방향으로 고장구간을 알 수 있게 된다.
- 또한 그림에서 보는 바와 같이 ZCT①과 ②의 고장전류의 크기는 현저한 차이를 갖게 되므로 전류의 방향과 두 전류의 차이를 검출하면 고장구간 탐색에 더욱 신빙성을 갖게 된다.
- 상시개방점의 이동에 따라 자동화개폐기의 평상시 전류흐름 방향을 주장치에서 인식 또는 설정하였다면 고장구간 검출은 더욱 쉬워진다. 즉, 현재의 FRTU에서 취득한 상전압을 벡터합으로 계산하고 ZCT에서 취득한 전류방향과 FRTU내에서 위와 같은 알고리즘을 적용하여 비교한 후 방향이 반대일 경우 Unsolicited 메시지로 주장치로 전송해준다면 현재의 FI(Fault Indicator)의 기능과 동일하게 처리할 수 있게 된다.

3.2 고장구간 탐색을 위한 전제조건

위 항의 고장전류 검출을 위해서는 다음과 같은 필요조건이 따르게 된다.

- 배전변전소 GPT 설치 : 현 계통에서 지락고장이 발생 유무 및 고장전류와의 방향을 비교하기 위하여 영상전압의 크기와 방향을 검출해야 한다. 만약, GPT가 설치되어 있지 않다면,
 - 1안) : 고장구간의 탐색은 각 자동화용개폐기에서 취득한 2개 이상의 데이터에서 전류방향과 크기의 차이로 고장구간을 결정할 수 있다.
 - 2안) : FRTU내에 전류의 흐름을 미리 원격 또는 현장에서 설정하고 개폐기 자체내에서 취득한 각 상의 전압의 벡터합으로 영상전압을 계산하고 전류의 위상과 비교한다.
- D/L 인출점 ZCT 설치 : 고장선로 인출점에서의 영상전류는 다른 건전선로의 영상전류의 방향이 다르게 되므로 어떤 선로에서 지락고장이 발생되었는지 회선선택이 가능하다. 인출점 ZCT가 설치되어 있지 않았다면,
 - 1안) : 당해 Bus에서 공급하고 있는 모든 선로의 자동화개폐기에서 전송되어 온 데이터를 비교해야 하므로 보다 많은 연산시간이 필요하게 된다.
 - 2안) : FRTU내에 전류의 흐름을 미리 원격 또는 현장에서 설정한다면 FRTU에서 Unsolicited 메시지를 주장치로 보내어 고장구간을 검출할 수 있으므로 인출점 ZCT는 불필요하다.
- ZCT내장형 자동화개폐기 개발 : 개폐기 설치점에서의 영상전류를 이용하여 고장구간을 탐색하였으므로 반드시 ZCT내장형 개폐기가 필요하다.

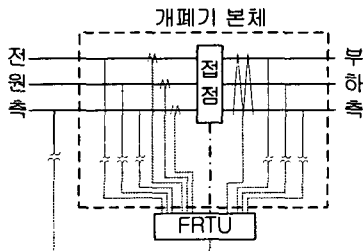


그림 6. ZCT내장형 자동화개폐기 구조

- FRTU 기능추가 및 DNP Index 수정 : FRTU내에서 영상전류와 영상전압의 방향을 비교하여 동작범위내에 있을 경우 Unsolicited Message로 주장치 전송하는 기

능이 부여되어야 한다. 이는 주장치에서는 Unsolicited 메시지 전송개폐기와 보내지 않은 개폐기 사이를 고장구간으로 판정하기 때문에 중요한 기능이다.

3.3 고장전류 방향을 이용한 고장구간 검출Flow 앞에서 살펴 본 결과를 배전자동화시스템에

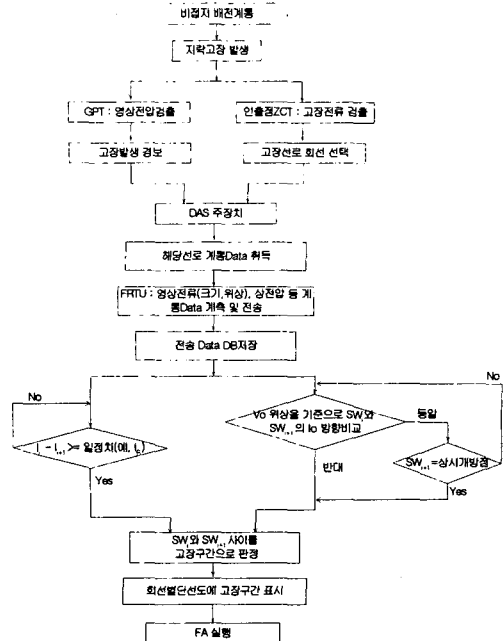


그림 7. 고장처리 흐름도

4. 결 론

기존에 운영하고 있는 배전자동화용 가스절연개폐기에 ZCT를 내장하여 영상전류를 취득하고 제어함에서 전류 위상을 산출할 수 있도록 개폐기 구성을 마치고 구매를 하기 위하여 제작발주를 마쳤다. 또한 개폐기에 내장되어 있는 PT를 이용하여 영상전압 검출 및 위상을 판별하고 FI처리 등 지락고장처리 알고리즘을 적용한 FRTU 제작을 시작하였다. 고장 배전실증시험장의 시험선로를 비접지 계통으로 전환함으로써 본 알고리즘의 실증시험을 진행하고 있다. 이를 통하여 위상의 크기, 선로조건별 판별상태, 현장적용시의 문제점, 운영 노하우를 습득하고 그 결과를 새로운 지면에서 보고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 하북남의 KEPRI, "수출형 배전자동화 시스템 개발" 중간보고서, 2003
- [2] 한국전력, "계통보호업무 참고자료"
- [3] TM T&D, Distribution Automation Equipment
- [4] 유상봉의 기다리, "보호계전 시스템의 실무활용기술" 2003
- [5] 김정철 기다리, "현장실무를 위한 전기기술" 2002
- [6] 신대승 기다리, "보호계전시스템기술" 2001