

비접지 배전계통 지락고장 검출 알고리즘 및 프로그램 개발

박소영^{*}, 신창훈¹
¹한전전력연구원

Development of Algorithm and Program for the Ground Fault Detection in Ungrounded Distribution Power System

So-Young Park^{1*} and Chang-Hoon Shin¹

¹Korea Electric Power Research Institute

요약 비접지 배전계통에서 전체고장의 약 70%를 차지하는 지락고장 발생시에는 지락전류가 작아 검출이 어렵지만 고장상태로 전원 공급을 지속할 경우 사고 파급 및 기기 소손을 유발할 가능성이 있기 때문에 지락고장 처리는 매우 중요하다. 본 논문에서는 GPT(접지형 계기용 변압기, Ground Potential Transformer)에서 감지하는 영상전압 신호를 이용하여 고장선로를 검출하고, 비상시 연계선로를 이용하여 정전구역을 복구하기 위해 평상시 개폐기가 열려 있는 상태로 배전선로 사이를 연결하는 상시개방점을 이동하며 각 구간을 차례로 분리하면서 GPT 신호의 사라짐 여부를 감시하여 고장구간을 검출하는 방법을 제안한다. 고장구간 탐색 시 전체 정전이 없고, 고장구간 검출과 건전구간 복구가 동시에 가능하며 다양한 형태의 배전계통 구성에 적용 가능하다는 점에서 효율적이다. 본 논문에서 제안하는 고장처리 방법을 프로그램으로 개발하여 베트남 배전자동화 시범사업에 적용함으로써 알고리즘 및 프로그램의 적정성을 검증하였다.

Abstract The ground fault is occupying 70% among the total number of faults in ungrounded distribution power system. When the ground fault occurs in ungrounded system, the fault current is so small that it is hard to detect. But fault handling is very important because to continue power supply during fault conditions may cause the fault spreading and the distribution device in trouble. This paper presents the fault line detection method by using GPT signal detecting zero sequence voltage, and the fault section detection method by detecting whether GPT signal is disappeared or not during shifting normally open switch, which is connecting switch between distribution lines with open state in order to restore the outage area under emergency situation, and during isolating each section one by one which belongs to the fault line. This method is efficient because there is no whole power interruption during the fault section detection, and it is possible to perform both the fault section detection and the service restoration for the outage area at the same time, and it can apply to various distribution system configuration. Program for the fault restoration was developed applying proposed method, and it has been validated by applying to the pilot project of distribution automation system in Vietnam which has the ungrounded distribution system.

Key Words : Fault Detection, Ground Fault, Ungrounded Power System

1. 서론

전력공급은 현대 산업사회에서 매우 중요하고 산업이 발달함에 따라 고품질 고 신뢰도의 전력공급에 대한 요구

구 또한 증가하고 있다. 이러한 사회 환경에서 고장으로 인한 전력공급의 중단은 고객에게 큰 불편을 줄뿐만 아니라 사회적으로 큰 손실을 초래할 수 있기 때문에 신속하게 고장을 처리하는 것이 전력회사의 큰 관심사항이다.

본 논문은 CMD 2008 학술대회 논문집에 게재된 "A Fault Detection and Service Restoration Method by Shifting the Feeder Tie Switch for Ungrounded Distribution System" 논문의 확장논문임.

*교신저자 : 박소영(parksy@kepco.co.kr)

접수일 09년 08월 20일

수정일 (1차 09년 09월 17일, 2차 09년 09월 30일)

게재확정일 09년 10월 14일

선로 내 전기설비의 정기적인 점검과 전력회사의 관리로 고장횟수를 줄이는 것은 가능하지만 설비의 노후나 수목접촉 및 다른 주변 환경으로 인한 사고가 고장을 발생시킬 수 있기 때문에 사실상 고장은 피할 수 없는 문제이다. 고장처리는 고품질 고신뢰도 전력공급과 밀접한 관계가 있으므로 신속하고 믿을 수 있는 고장검출 및 복구방안에 대한 많은 연구가 수행되어왔다.

배전자동화 시스템이 도입되면서 배전선로에 산재되어 있는 자동화 개폐기를 단말장치(FRTU : Feeder Remote Terminal Unit)를 통해 원격에서 감시 및 제어하는 것이 가능해졌고[1] 고장정보 또한 원격에서 검출하고 고장분리 및 건전부하절체를 위한 조작명령을 내릴 수 있게 됨으로써 고장처리 시간을 단축시킬 수 있게 되었다.[2]

접지계통인 한국에서는 고장발생시 정상전류에 비해 큰 고장전류를 감지하여 FRTU에서 고장표시기(FI : Fault Indicator)를 동작시키고 중앙제어장치로 FI 발생정보를 전송한다. 중앙제어장치에서는 FI 발생정보를 이용하여 고장인지 및 고장구간 검출을 수행하고 고장처리를 위해 필요한 조작절차를 수행한다.[3]

계통을 접지하지 않고 운전하는 비접지 방식에서는 전체고장의 약 70%를 차지하는 지락사고 시 지락전류가 수 A정도에 지나지 않기 때문에 과전류를 검출하여 생성하는 FI 알고리즘으로는 지락고장 검출이 어렵다. 하지만 지락사고 시 건전상의 전위가 상승하기 때문에 이를 방지하면 심각한 과도 이상전압이 대지 간에 발생할 수 있고 이것은 기기 소손 및 사고 파급을 초래할 수 있기 때문에[4] 비접지 계통에서의 지락고장 검출은 어렵지만 매우 중요한 문제이다.[5]

비접지 계통에서 고장선로 검출 방법으로는 방향선택 지락계전기(SGR : Selective Ground Relay)를 이용한 방법[4], wavelet transform을 이용하는 방법[6] 등이 연구되었고 고장구간 검출 방법으로는 자동화 개폐기의 순차투입을 통하여 고장구간을 검출하는 순송방식이 주로 사용되고 있다.[7] 하지만 순송방식은 고장구간 검출과정에서 정전을 피할 수 없고 스위칭 횟수도 많아 스위칭 조작 실패 가능성이 높다. 이외에도 선로를 1/2씩 탐색하는 이분찾기 방식과 선간전압과 영상전류의 위상차를 이용하여 고장구간을 검출하는 방법이 연구되었으나[8] 단말장치에 영상전류 검출 및 고장정보 생성, 전송 기능이 있어야 하므로 적용이 제한적이다.

본 논문에서는 비접지 계통에서 지락사고 시 GPT 신호를 이용한 고장선로 검출, 상시개방점 이동방식을 이용한 고장구간 검출 방법을 연구하였다. 제안하는 방법은 기존 방식의 문제점인 고장구간 검출 시 전체 정전이 발

생하지 않고, 단말장치에 지락고장정보 생성 기능을 필요로 하지 않으며 다양한 계통 구성에도 적용 가능하므로 활용 범위가 넓다. 또한 제안하는 지락고장 검출 방법을 프로그램으로 개발하였고 이를 베트남 배전자동화 시범사업에 적용하여 해외 실 계통을 대상으로 성능을 검증하였다.

2. 비접지 계통 지락고장의 특징과 기존 고장처리 방식

2.1 비접지 계통 지락고장의 특징

배전계통에서 비접지 방식은 선로의 공장이 짧고 전압이 낮은 계통에 주로 사용되고, 대지 정전 용량이 작기 때문에 충전 전류도 크지 않고 따라서 1선 지락고장 발생 시 고장점으로 흐르는 지락고장전류 또한 매우 작다. 작은 고장전류 때문에 지락고장 시에도 중단 없이 전원을 공급할 수 있지만 장시간 방치하면 건전상의 전위가 $\sqrt{3}$ 배 상승하여 사고가 파급되거나 기기에 소손을 가져올 가능성이 있고, 또한 지락사고 시 계통보호가 복잡한 단점이 있다.

2.2 기존 고장처리 방식

비접지 계통에서 지락사고 시 고장처리 방식으로 순송방식, 이분찾기 방식, 영상전류 위상 비교 방식이 있다.

2.2.1. 순송방식

순송방식은 일본과 유럽에서 많이 사용하는 고장처리 방식으로, 선로에 고장이 발생하여 SGR에 의해 고장선로를 판정한 후 차단기(CB : Circuit Breaker)가 동작하고 타이머 기능을 가지는 순송식 개폐기가 무전압을 감지하여 자동으로 개방됨으로써 고장선로 전체가 정전을 경험한다. 일정시간 후 CB가 투입되어 가압되는 순간부터 타이머가 동작하여 일정시간 후 자동화 개폐기들이 전원측부터 순차적으로 차례대로 투입되며 고장구간을 검출한다. 만약 고장구간 직전 전원측 개폐기가 투입되면 사고가 재 검출되어 CB가 다시 개방되는데 정해진 시간 이내의 정전 여부와 전압 가압 상태 유지 여부를 판단하여 고장구간 전원측과 부하측 개폐기가 Lock되면서 고장구간을 검출할 수 있다. 이후 CB가 일정 시간 후에 재투입되고 무전압을 감지하여 개방되었던 Lock 되지 않은 개폐기들이 투입되면서 고장구간을 제외한 구간을 모두 가압한다.

순송방식은 고장선로 전체 정전이 반드시 동반되고,

스위칭 조작횟수가 많아 스위칭 실패 가능성이 높다는 문제점이 있다.

2.2.2. 이분찾기 방식

이분찾기 방식은 실제 베트남에서 사용하는 방식으로, SGR을 이용하여 고장선로 검출 후 CB를 투입하고 1/2 지점에 가까이 위치한 개폐기를 개방하여 1/2 지점까지만 전원을 가압하여 고장검출 여부를 감지한다. 이 때 고장이 검출되면 고장 구간은 CB와 1/2 지점 사이에 위치한 것이고, 고장이 검출되지 않으면 1/2 지점과 그 부하측 사이에 위치한 것으로 판단한다. 고장 구간이 위치한 것으로 판단된 구간을 1/2로 분할하여 탐색하는 방법을 반복하여 수행함으로써 고장구간을 검출한다.

이분찾기 방식은 고장처리 조작절차를 미리 계산해놓을 수 없고 조작 개폐기 위치가 순차적이지 못하고 크게 변동된다는 문제점이 있다.

2.2.3. 영상전류 위상 비교방식

영상전류 위상 비교방식은 SGR을 이용하여 고장선로를 검출하고, 고장선로의 단말장치에서 측정된 선간전압과 영상전류의 위상차를 비교하여 고장구간을 검출하는 방식이다. 이는 고장점을 기준으로 영상전류의 위상이 반대가 되는 특징을 이용한 것이다.

영상전류 위상 비교방식을 적용하기 위해서는 단말장치에 영상전류를 측정할 수 있는 영상변류기(ZCT : Zero Current Transformer)가 있어야 하고, 영상전류의 위상차를 이용하여 고장표시기를 생성할 수 있는 기능이 있어야만 하기 때문에 적용이 제한적이다.

3. 상시개방점 이동방식을 이용한 지락고장 검출 알고리즘

본 논문에서는 GPT만이 설치되어 있는 비접지 계통에서 GPT 고장신호를 이용하여 고장선로를 검출하고, 상시개방점 이동방식을 이용하여 고장구간을 검출하는 방법을 제안한다.

3.1 고장선로 검출

SGR 없이 GPT만 설치되어 있는 비접지 계통에서는 지락사고 시 GPT 고장신호가 발생한 बैं크에 소속된 선로들의 CB를 차례대로 개방하면서 고장선로를 검출한다. 선로 내 단일고장뿐 아니라 बैं크측 모선고장과 다중고장 또한 검출 가능하며 그 내용은 아래와 같다.

3.1.1. 선로 내 단일고장

지락사고 시 GPT에서 검출하는 영상전압을 감지하여 지락고장 발생을 감지한다. 비접지 계통에서는 지락전류의 경로를 만들어 영상전압을 검출하기 위해 GPT를 설치하여 사용하고, 건전시에는 3차측에 전압이 나타나지 않지만 지락사고 시 3상 불평형이 발생하면 GPT 1차측에 영상전류가 유입되고 유입된 전류에 의해 GPT 3차측에 영상전압이 나타나게 된다. 따라서 बैं크에 설치되어 있는 GPT 3차측 영상전압 신호는 지락사고 여부를 확인할 수 있는 중요한 데이터이므로 변전소 및 배전자동화 시스템에서는 주요 감시 데이터이다. 특히 변전소 자동화 시스템과 연계된 배전자동화 시스템에서는 GPT 신호를 실시간으로 감시 가능하므로 GPT 영상전압 신호가 발생하면 지락사고가 발생하였음을 감지할 수 있다.

주변압기 बैं크에 소속된 선로들 중 고장선로를 판단하기 위해 선로의 CB를 차례로 개방/투입하면서 GPT 고장신호가 사라지는지 여부를 확인한다. 하나의 CB를 개방하였을 때 GPT 고장신호가 사라지는 선로가 고장선로이다.

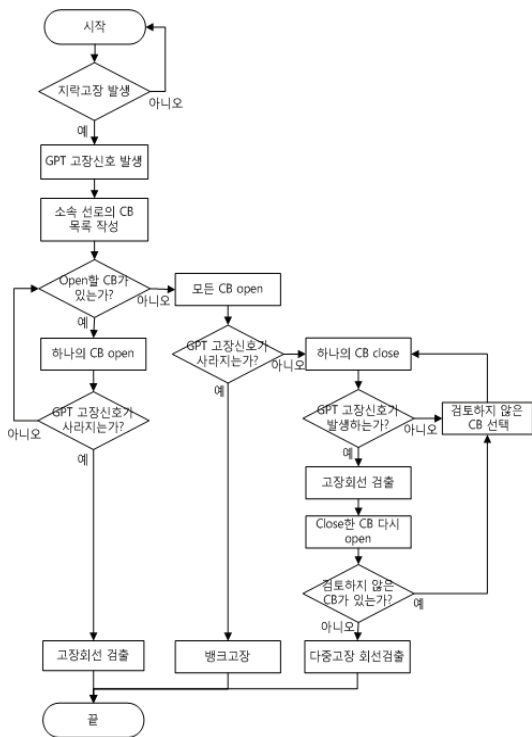
모든 CB를 차례로 개방/투입하여도 GPT 고장신호가 사라지지 않는다면 बैं크측 모선고장이거나 다중고장이므로 고장종류 및 위치를 판단하기 위한 추가적인 검출 단계가 필요하고 이에 대해 3.1.2와 3.1.3에서 설명하겠다.

3.1.2. बैं크측 모선고장

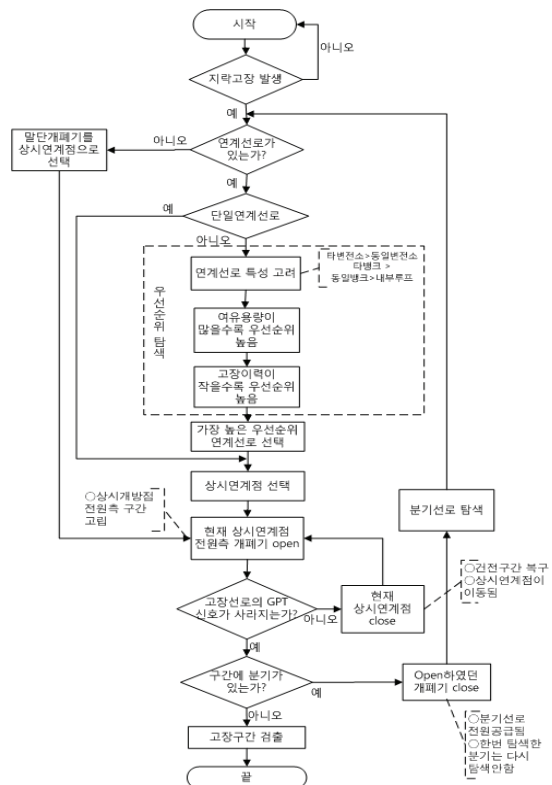
बैं크측 모선고장인 경우에는 모든 CB를 차례로 개방/투입하여도 GPT 고장신호가 사라지지 않으므로 모든 선로의 CB를 개방한다. 이 때 GPT 고장신호가 사라지면 बैं크측 모선고장으로 판단하여 배전계통 고장처리에서는 더 이상 고려하지 않는다.

3.1.3. 다중고장

모든 선로의 CB를 개방하였을 때 GPT 고장신호가 사라지면 두 선로 이상에서 고장이 발생한 다중고장이므로 CB를 하나씩 투입하며 GPT 고장신호 발생여부를 확인한다. 하나의 CB를 투입하였을 때 GPT 고장신호가 발생하면 이를 고장선로로 검출한 후 다시 개방하고, 다음 CB를 차례대로 투입하며 동일한 방식으로 또 다른 고장선로를 탐색한다.



[그림 1] 고장선로 검출 Flowchart



[그림 2] 고장구간 검출 Flowchart

3.2 상시개방점 이동방식을 이용한 고장구간 검출 및 복구

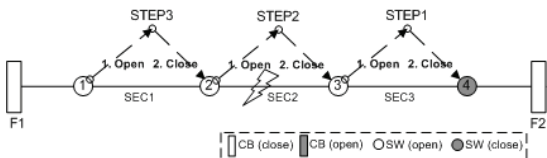
고장선로 검출 후 고장구간을 검출하기 위해 상시개방점을 이동하여 고장선로 내 각 구간을 고립하면서 GPT 고장신호가 사라지는 구간을 탐색하고, 구간이 고립되었을 때 GPT 고장신호가 사라지는 구간을 고장구간으로 판단한다.

배전계통은 비상시 원활한 부하절체를 위해 여러 개의 연계선로와 연계될 수 있다. 고장선로가 여러 연계선로와 연계되어 있을 경우에는 연계선로의 소속 정보와 여유용량, 고장이력 등을 고려하여 우선순위를 선정한 후 우선순위가 높은 순으로 차례로 탐색한다. 먼저 연계선로 특성부터 고려하여 연계선로가 타 변전소 소속, 동일변전소의 타 뱅크 소속, 동일뱅크 소속, 한 선로에 두 개 이상 연계되어 있는 선로, 연계선로가 없는 말단, 내부부프 순으로 우선순위를 선정한다. 연계선로의 소속 특성이 동일한 선로들 중에서는 연계선로의 여유용량이 많을수록 고장이력이 적을수록 우선순위가 높다.

3.2.1. 단일 연계선로인 경우

우선순위가 높은 연계선로를 선택한 후 고장구간 탐색 절차는 그림 3과 같이 단일 연계선로인 경우와 동일하다. 그림 3에서 1번 개폐기는 SW1로 설명하겠다. 그림 3의 고장선로 F1에는 상시개방점을 포함하여 SW1,2,3,4의 총 4개 조작 가능한 개폐기가 있다. 고장구간 탐색 순서를 STEP1,2,3으로 나타내었고, 표 1에서 SEC2가 고장구간인 경우 탐색 절차를 차례로 설명하였다.

하나의 STEP은 각 구간을 분리하고 상시개방점을 이동하는 2번의 조작절차로 구성되고, 고장구간이 SEC2인 경우 STEP2 수행 시 F1이 소속된 뱅크의 GPT 신호가 사라지고, 이를 감지하여 분리된 구간 SEC2가 고장구간임을 검출한다.



[그림 3] 단일 연계선로인 경우 고장구간 탐색 절차

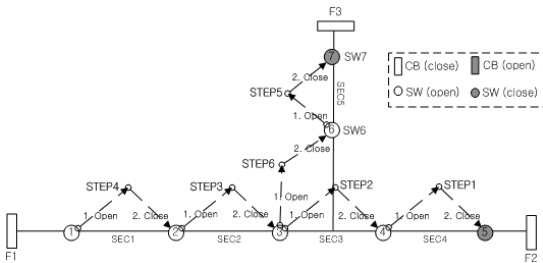
[표 1] [그림 3]에서 고장구간(SEC2) 탐색 절차

STEP	SW번호	Open	Close	GPT	비고
STEP 1	3	O		발생	SEC 3 분리
	4		O	발생	상시개방점 이동
STEP 2	2	O		사라짐	SEC 2 분리
					고장구간 검출

SW4는 STEP1에서 close하였으므로 SEC3를 연계선로 F2로 복구하는 절차가 따로 필요하지 않다. 즉 고장구간 검출 및 분리와 복구가 동시에 수행되므로 시간과 스위칭 조작절차를 줄일 수 있다. STEP 내 조작절차는 고장선로와 연계선로가 루프 되지 않도록 상시개방점 전원측 개폐기를 먼저 open하고 상시개방점 개폐기를 후에 close 하도록 조작순서를 정한다.

3.2.2. 분기가 있는 경우

선로에 분기가 있는 경우에는 분기점이 있는 구간을 분리하였을 때 GPT 고장신호가 사라지는지 확인한다. 그림 4에서 고장선로 F1에 연계선로가 2개 있는 경우 F2가 우선순위가 높다고 가정하면 우선순위가 높은 F2를 먼저 선택하여 상시개방점 SW5를 이동하며 고장구간을 탐색한다.



[그림 4] 분기가 있는 경우 고장구간 탐색 절차

STEP2에서 분기점이 있는 SEC3를 분리할 때 분기선로에 고장이 있는 경우에는 GPT 고장신호가 사라지므로 표 2와 같이 최근에 open하였던 SW3을 다시 close하여 분기선로에 전원을 공급한 후 분기선로를 탐색한다. 분기선로에 고장이 없는 경우에는 GPT 고장신호가 사라지지 않으므로 분기선로를 탐색하지 않고 단일 연계선로인 경우와 동일한 절차 STEP1→2→3→4 순으로 고장구간을 탐색한다.

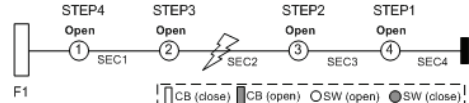
[표 2] 분기선로 내 고장구간(SEC6) 탐색 절차

STEP	SW번호	Open	Close	GPT	비고
STEP 1	4	O		발생	SEC 4 분리
	5		O	발생	상시개방점 이동
STEP 2	3	O		사라짐	SEC 3 분리
	3		O	발생	분기선로 전원공급
STEP 5	6	O		사라짐	SEC 5 분리
					고장구간 검출

탐색결과 고장구간이 없는 것으로 판정된 분기 및 선로는 재탐색하지 않는다. 분기선로에 여러 연계선로가 있는 경우에는 이들 중 우선순위를 다시 선정하여 고장구간 탐색 절차를 진행한다.

3.2.3. 연계선로가 없는 경우

고장선로에 자동화 개폐기로 연계된 연계선로가 없는 경우에는 말단 개폐기부터 open하며 고장구간을 탐색한다. 연계선로가 없기 때문에 상시개방점 이동시 open하였던 개폐기를 close하여 정전구역을 복구하는 절차는 필요하지 않고, 따라서 일부구간 정전을 피할 수 없다.



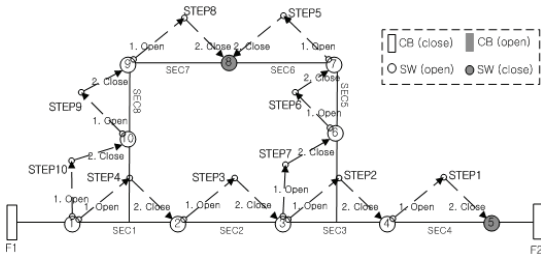
[그림 5] 연계선로가 없는 경우 고장구간 탐색절차

[표 3] 연계선로가 없는 경우 고장구간(SEC2) 탐색절차

STEP	SW번호	Open	Close	GPT	비고
STEP 1	4	O		발생	SEC 4 분리
STEP 2	3	O		발생	SEC 3 분리
STEP 3	2	O		사라짐	SEC 2 분리
					고장구간 검출

3.2.4. 내부루프가 있는 경우

그림 6과 같이 고장선로에 내부루프와 연계선로가 있는 경우에는 연계선로가 우선순위가 높기 때문에 연계선로로부터 탐색한다. 내부루프 내부 상시개방점 SW8은 사고 선로 내에서 연계되어 있는 경우이므로 우선순위를 낮게 정의하였다. 그림 6에서 내부루프 내부에 고장 발생 가능한 구간은 SW8을 기준으로 (SEC6,5,3), (SEC7,8,1), (SEC2)로 구분할 수 있다.



[그림 6] 내부루프가 있는 경우 고장구간 탐색 절차

대표적으로 SEC6, SEC7, SEC2가 고장구간일 때 탐색 절차를 살펴보겠다. SEC6이 고장구간인 경우에는 STEP1→2에서 SW3을 open하였을 때 GPT 고장신호가 사라지므로 분기선로를 탐색하여 STEP5에서 고장구간을 검출할 수 있다. SEC7이 고장구간인 경우에는 STEP1→2→3→4에서 SW1을 open하였을 때 GPT 고장신호가 사라지므로 분기선로를 탐색하여 STEP8에서 고장구간을 검출할 수 있다. SEC3이 고장구간인 경우에는 STEP1→2→3에서 고장구간을 검출할 수 있고 SEC1과 같이 고장구간이 내부루프 밖이라면 STEP1→2→3→4→5로 분기의 유무와 관계없이 고장구간을 검출할 수 있다.

고장구간 탐색 과정 중 건전구간은 연계선로로 절체 및 복구가 동시에 이루어지기 때문에 각 탐색 단계에서 연계선로의 과부하 여부와 전압강하 기준 초과 여부를 확인하여야 한다. 예를 들어, 그림 6에서 STEP1에서 SEC4를 연계선로 F2로 절체하고자 할 때 연계선로 F2가 제한조건을 만족하지 못한다면 SW5는 open한 상태로 유지하고 더 이상 F2를 탐색하지 않으며 F2를 제외한 다른 경로로 고장구간을 탐색한다. 상시개방점을 이동하기 전에 절체 구간 용량과 현재 연계선로의 용량을 더한 용량이 과부하 기준을 초과하는지 검토하고, 연계선로로 절체하였을 때 고장선로와 연계선로의 말단 최대전압강하 기준을 초과하는지 검토한다. 배전자동화 시스템에서는 현재 선로용량과 구간부하에 대한 데이터를 관리하고 있고, 선로 임피던스 및 선로에 흐르는 전류를 이용하여 말단 최대전압강하를 계산할 수 있으므로 상시개방점을 이동하기 전에 이를 계산하여 검토할 수 있다. 국내의 경우 배전선로의 비상시 용량은 14MW, 전압강하는 10%를 초과할 수 없고 나라마다 다르게 운영하는 기준을 반영하여 검토할 수 있다.

단일 및 다중 연계선로인 경우, 말단인 경우, 내부루프가 있는 경우 각각에 대해 고장구간 탐색 절차를 설명하였다. 연계선로, 말단, 내부루프 등의 여러 형태의 조합으로 구성된 고장선로의 경우에도 각 경우에 해당하는 고장구간 탐색 절차를 따라 고장구간을 검출할 수 있다.

4. 고장처리 프로그램 개발

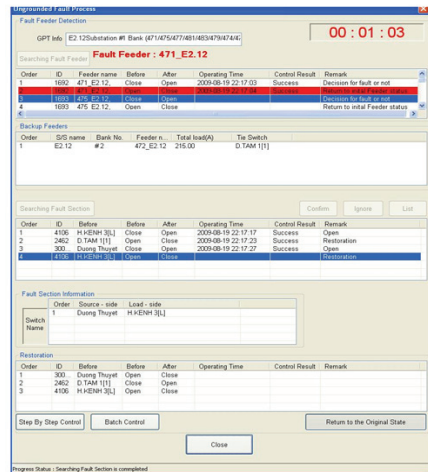
본 논문에서 제안하는 알고리즘을 배전자동화 기반의 고장처리 프로그램으로 개발하였고 프로그램은 고장선로 및 고장구간 검출을 수행하고 각 단계에 필요한 절차를 제시할 수 있다. 배전자동화 시스템에서는 관리하는 현재 선로용량과 구간부하, 선로임피던스 정보를 이용하여 고장구간 검출 단계에서 연계선로의 과부하 여부를 판단하기 위해 부하용량 계산을 수행할 수 있다.

고장처리 프로그램은 주변압기 बैं크의 GPT에서 영상 전압 검출신호를 감지하여 고장이 발생하였음을 인지하고 구동된다.

뱅크에 소속된 선로들의 CB를 차례대로 개방/투입하는 조작절차를 제시하고 “고장선로 검출”을 실행하면 조작절차 순서대로 자동으로 제어명령을 내리며 GPT 신호가 사라지는 시점을 감지하여 고장선로를 검출한다. 선로 내 단일고장, बैं크고장, 다중고장의 경우 모두 검출 가능하다.

고장선로 검출 후 연계선로의 조건을 고려하여 우선순위를 지정하고 “고장구간 검출”을 실행하면 우선순위가 높은 연계선로와의 상시개방점과 CB 사이에 조작 가능한 개폐기 목록을 생성하고 고장구간을 검출하기 위한 상시개방점 이동 조작절차를 제시한다.

프로그램에서 원격으로 제어명령을 내릴 수 있고 제어 성공 후 다음 조작절차를 자동 또는 수동으로 제어명령을 내릴 수 있다. 프로그램이 GPT 고장신호가 사라지는 시점을 감지하여 고장구간을 검출하여 제시하고, 현장 보수 후 원상복귀 절차 제시 및 수행 완료 후 프로그램을 종료한다.



고장발생 인지
고장회선 검출
연계선로 정보
상시개방점 이동
고장구간 검출
원상복귀

[그림 7] 비접지 고장처리 프로그램 개발

[표 4] 상시개방점 이동 조작절차 제시 예시

STEP	SW번호	Open	Close	비고
STEP 1	4106	O		구간 분리
	2642		O	상시개방점 이동
STEP 2	3000	O		구간 분리
	4106		O	상시개방점 이동

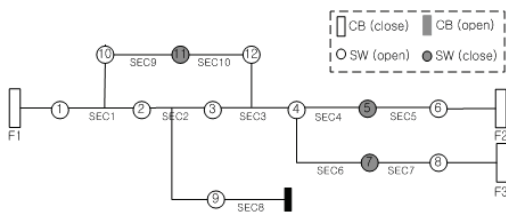
5. 사례연구

그림 8은 연계선로, 말단, 내부루프가 있는 경우를 모의한 계통도이다. 고장선로 F1에는 연계선로가 F2, F3 2개가 있고, 말단 분기선로가 1개 있으며 내부루프가 1개 있다. 이 때 연계선로 F2, F3 모두 타 변전소 소속이라고 가정한다면 F2와 F3의 여유용량과 고장이력을 고려하여 우선순위를 정한다. 표 5와 같이 여유용량이 많은 선로가 우선순위가 높고, 여유용량이 동일한 경우에는 고장이력이 적은 선로가 우선순위가 높다. 본 예제에서는 CASE1과 같이 F2가 우선순위가 높다고 가정하겠다.

[표 5] 연계선로 우선순위 결정 예시

연계선로 조건	CASE1		CASE2	
	F2	F3	F2	F3
여유용량(KVA)	3,000	1,500	3,000	3,000
고장이력(회)	5	3	5	3
우선순위	1	2	2	1

고장선로 F1의 각 구간이 고장구간인 경우 고장구간 탐색절차는 표 6과 같다.



[그림 8] 모의 계통도

표 6에서 ①과 같은 번호는 조작순서를 나타내고 일반 번호는 개폐기 번호를 나타낸다. 예를 들어 Open 필드에 ① 4 이면 첫 번째 조작절차가 4번 개폐기를 open한다는 것을 나타내고, GPT 고장신호가 사라지는 시점을 음영칸으로 표시하였다. 각 구간을 고장구간으로 가정할 모든 경우에 대하여 최대 9번 조작횟수 내에서 모두 고장구간을 검출할 수 있음을 확인할 수 있다.

[표 6] 고장구간 탐색 절차

고장구간	Open	Close	Open	Close	조작횟수
SEC1	① 4	② 5	③ 3	④ 4	7
	⑤ 2	⑥ 3	⑦ 1		
SEC2	① 4	② 5	③ 3	④ 4	8
	⑤ 2	⑥ 2	⑦ 9	⑧ 2	
SEC3	① 4	② 5	③ 3	④ 3	7
	⑤ 12	⑥ 11	⑦ 3		
SEC4	① 4				1
SEC6	① 4	② 4	③ 4		3
SEC8	① 4	② 5	③ 3	④ 4	7
	⑤ 2	⑥ 2	⑦ 9		
SEC9	① 4	② 5	③ 3	④ 4	9
	⑤ 2	⑥ 3	⑦ 1	⑧ 1	
	⑨ 10				
SEC10	① 4	② 5	③ 3	④ 3	5
	⑤ 12				

기존 방식과 제안한 방식 중 고장구간의 위치에 따라 스위칭 조작횟수가 달라질 수 있다. 순송방식은 전원측부터 고장구간을 탐색하므로 고장구간이 전원측에 가까울수록 빨리 검출할 수 있고, 제안한 방식은 상시개방점부터 고장구간을 탐색하므로 고장구간이 말단에 가까울수록 빨리 검출할 수 있으며 이분찾기 방식은 1/2 지점에 가까울수록 고장구간을 빨리 검출할 수 있다. 따라서 고장 위치에 따라 유리한 방식은 달라질 수 있다. 하지만 개폐기 수가 많아질수록 고장구간을 찾기 위한 조작횟수가 많아질 수밖에 없는 것은 모든 방식에 해당한다.

이와 같은 비교의 어려움이 있으나 SEC10이 고장구간임을 가정하고 세 가지 방식을 표 7에서 비교하였다. 영상전류 위상비교 방식은 단말장치에 ZCT가 있어야 하므로 비교 대상에서 제외하였다.

[표 7] 방식별 고장구간 탐색 절차

순송방식		이분찾기		제안방식	
SW	상태	SW	상태	SW	상태
1	C	3	O	4	O
2	C	3	C	5	C
3	C	4	O	3	O
4	C	12	O	3	C
12	C	4	C	12	O
12	O				
11	O				
9	C				
10	C				

각 방식별로 검토해보면, 순송방식은 고장선로 검출 후 CB가 동작하여 모든 개폐기가 자동 개방됨으로써 선로 전체가 정전을 경험한다. 그 후 일정시간 간격으로 전원측 자동화 개폐기부터 투입하면서 고장구간을 탐색하고, 고장구간 검출 후 다른 개폐기들은 모두 투입하여 정전구역을 복구한다. 순송방식에서는 선로 전체가 정전을 경험한다는 큰 문제점이 있고, 고장구간 분리 후 정전구역 복구를 별도로 수행해야 한다.

이분찾기 방식은 1/2 지점인 3번 개폐기를 개방하였을 때 GPT 신호가 사라지므로 고장구간은 3번 개폐기의 부하측 구역에 위치함을 검출할 수 있고, 이 방식을 반복하여 고장구간을 검출 후 다른 개방되어 있는 개폐기를 모두 투입하여 정전구역을 복구한다. 이분찾기 방식에서는 고장구간을 검출하기 위해 미리 개폐기 조작순서를 계획할 수 없다. 즉, 1/2 지점을 끊고 어느 부분이 고장 구간이 속한 부분인지 판단한 후에야 다음 개폐기 조작순서를 계획할 수 있다. 또한 개폐기 조작 순서가 말단 또는 전원측에서부터 순차적이지 못하고 여기저기 움직이기 때문에 자동화 프로그램에서는 화면이 자주 전환되어 운전자가 개폐기 순서를 확인하다 위치를 놓치는 문제점이 있을 수 있으며 고장구간 분리 후 정전구역 복구를 별도로 수행해야 한다.

본 논문에서 제안한 방식은 선로 전체 정전이 없고, 고장구간 분리와 건전구역 복구가 동시에 이루어지므로 건전구역 복구를 별도로 수행할 필요가 없다. 또한 고장선로 검출 후 고장구간 검출을 위한 개폐기 조작순서를 미리 계획할 수 있고 조작순서가 말단에서부터 순차적이기 때문에 배전자동화 프로그램 화면이 자주 전환되지 않으므로 운전자가 개폐기 조작 상태를 쉽게 확인할 수 있다는 점에서 다른 기존 방식에 비해 효율적이다.

6. 결론

본 논문에서는 비접지 계통에서 지락고장 발생시 고장선로 검출, 고장구간 검출 및 분리, 건전구간 복구를 위한 알고리즘을 제안하고, 배전자동화 기반의 고장처리 프로그램을 개발하였다.

고장선로 검출은 GPT에서 감지하는 영상전압 신호를 이용하여 검출하고 고장구간 검출은 상시개방점을 이동하며 고장선로 내 각 구간을 분리하면서 GPT 고장신호가 사라지는 구간을 고장구간으로 검출한다.

본 알고리즘은 다음과 같은 점에서 효과적으로 비접지 지락고장 발생 시 고장구간을 검출할 수 있다. (1)고장구간 탐색 시 고장선로 전체 정전이 없고 (2)고장구간 검출

과 건전구간 복구가 동시에 수행되며 (3)고장선로에 단일 또는 다중 연계선로가 있거나 연계선로가 없는 경우, 내부루프가 있는 경우 등의 다양한 배전계통 구성 환경에 적용가능하고, (4)GPT만 있는 비접지 계통에도 적용가능하다.

본 알고리즘은 프로그램으로 개발하기도 용이하다. (1)개폐기 조작순서가 순차적이므로 운영자 이해가 쉽고 (2)고장구간 탐색절차를 미리 계산해놓을 수 있으며 (3) 고장구간 검출 시 소요시간을 2시간 이내에서 5분 이내로 대폭 줄일 수 있다.

본 논문에서 제시하는 지락고장 검출 알고리즘 및 프로그램은 베트남 배전자동화 시범사업에 적용하여 성능검증을 완료함으로써 알고리즘 및 프로그램의 적정성을 검증하였고, 현재 한전에서 추진 중인 중국 배전자동화 시범사업에 적용 개발 중이다. 현재 한전의 주요 핵심사업인 해외사업의 일환으로 향후 비접지 계통의 해외 시범사업 및 해외 수출사업이 점차 확대될 계획이고, 이에 비접지 고장처리 방식은 국내 배전자동화 시스템의 핵심기능으로 적용하여 비접지 지락고장 검출의 어려움으로 인한 배전계통 운영 시 어려움을 해결할 수 있고 추가 해외사업 발굴시 긍정적으로 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] 하복남, 이성우, 신창훈, 박소영 “배전자동화 기술개발 현황 및 전망”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.313-314, 2008.
- [2] Gleen C.Lampley, P.E., C.E.M "Fault Detection and Location on Electrical Distribution System", Rural Electric Power Conference 2002, pp. B1-1~5, 2002.
- [3] 하복남, 이중호, 조남훈, “신 배전자동화시스템의 배전선로 고장처리 알고리즘”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.841-843, 1998.
- [4] 이성우, “비접지 방식의 특징과 지락보호 협조”, 한국전력기술인협회, 2005.
- [5] T. Baldwin, F. Renovich, L.F.Saunders, D. Lubkeman, "Fault Locating in Ungrounded and High-Resistance Grounded System", IEEE Trans. Industry Application, Vol.37, No.4,July/August, 2001.
- [6] J. Liang, Z. Yun, F. Liu, Y. Liu "A Method of Fault Line Detection in Distribution Systems Based on Waveltes", PowerCon2002 Power System Technology, pp. 2635-2639, 2002.
- [7] 하복남, 한용희, 이중호, 조남훈, 임성일 “고속순송방식 배전선로 고장처리 알고리즘”, 대한전기학회 춘계

학술대회 논문집, pp. 139-141, 1999.

- [8] 임희택, 임일형, 최면송, 이승재 “비접지 계통에서 영상전류 위상을 이용한 고장표시 생성 알고리즘”, 대한전기학회 논문집, 57권 7호 pp. 1141-1149, 2008
- [9] “베트남 배전자동화 실증시스템 개발(최종보고서)”, 전력산업기반조성센터, 2009.

박 소 영(So-Young Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : 한전 전력연구원 송배전연구소 일반연구원

<관심분야>

배전자동화, 분산전원

신 창 훈(Chang-Hoon Shin)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 1994년 2월 ~ 현재 : 한전 전력연구원 송배전연구소 책임연구원

<관심분야>

배전자동화, 분산전원 계통연계