

비접지 계통에서 영상전류 위상을 이용한 고장표시 생성 알고리즘

論 文

57-7-4

A Fault Indicator Generation Algorithm using Phase Angle of Zero-Sequence Current in Ungrounded System

林熙澤* · 林一亨** · 崔勉松† · 李承宰***

(Hee-Taek Lim · Il-Hyung Lim · Myeon-Song Choi · Seung-Jae Lee)

Abstract - Most faults are single-phase-to-ground fault in ungrounded system. The fault currents of single-phase-to-ground are much smaller than detection thresholds of measurement devices, so detecting single-phase-to-ground faults is difficult and important in ungrounded system. This paper proposed to a FI(Fault Indicator) generation algorithm in ungrounded system. The algorithm just using line-to-line voltage and zero-sequence current detects fault line, fault phase, fault section and FI(Fault Indicator) at terminal device, This paper also proposed to application plan for this algorithm. In the case study, the proposed algorithm has been testified in demo system by Matlab/Simulink simulations.

Key Words : Distribution System, Distribution Automation, Ungrounded System, FI, Fault Indicator, Zero-Sequence Current

1. 서 론

비접지 계통은 우리나라 배전자동화시스템의 주요 수출 대상국으로 삼고 있는 중국, 인도, 리비아 및 동남아 일부 국가 등 전 세계의 약 80% 국가에서 사용하는 방식이다[1]. 접지계통과는 달리 지락고장 시 고장전류의 귀로도체가 형성되지 않아 고장전류의 크기가 매우 작아서 사람이나 전력 설비에 대한 충격이 작기 때문에 많이 사용된다.

비접지 계통은 1선 지락 고장시 건전상의 대지 정전용량에 의한 고장전류가 고장 점으로 유입되지만 그 크기가 매우 작아서 전력공급을 계속할 수 있고, 또한 변압기 교체나 수리 시 V결선으로 전환하여 전력공급을 계속할 수 있는 장점이 있다.

반면에 단락사고의 경우 접지계통과 동일하게 고장전류의 크기가 커져서 보호계전기가 계통을 보호하는데 큰 어려움은 없지만 지락 고장에 대해서는 고장 전류의 크기가 매우 작기 때문에 고장검출의 어려움이 있어 지락보호계전기의 확실한 동작을 기대하기 어렵다. 그리고 지락고장을 제거하지 않은 상태에서 2선 지락으로 확대될 경우 계통의 외란으로 작용하여 큰 영향을 미치고, 사용전압이 높고 선로의 공장이 길어지면 충전전류가 커져 충전전류에 의한 간헐 아크 지락으로 인해 이상전압이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

이러한 계통보호와 관련된 문제점 때문에 지금까지는 비

접지 계통에서 지락사고 시 고장검출을 한 번에 하지 못하고 고장회선을 판별하고 구간을 판별하는 2개의 과정을 통해 지락사고를 처리하고 있다. 하지만 이 방법들조차도 쉬운 방법이 아니기 때문에 지금까지도 많은 연구들이 진행되어 오고 있다.

고장회선의 판별을 위한 연구들로는 wavelets transform 을 이용하여 판별하는 방법[2-3], similitude power를 이용하여 고장회선을 판별[4]하는 방법 등 다양한 연구가 있었지만, 그 복잡도와 설비의 가격 또는 실 계통 운영에 대한 신뢰도 때문에 적용이 어렵다. 현재 주로 사용하는 방법은 GPT로 이상전압을 측정하여 고장상황을 판단하고, ZCT로 영상전류의 방향을 측정하여 고장 회선을 판별하는 방법을 주로 사용하고 있다[5].

고장 구간의 판별 방법은 과도전류를 이용한 방법[6], 고장에 의해 발생하는 고조파 전압의 과도 신호를 이용한 방법[7], 방향지락계전 방식을 응용하고 전압, 전류 측정 점으로부터 고장거리를 계산하는 알고리즘[8], 기본파 전압, 전류를 이용하여 고장의 방향을 진단하는 알고리즘[9], 고저항 접지계통의 고장 거리계산을 위한 신호 해석[10],과 자동화 개폐기를 이용한 방법으로 자동화개폐기의 순차투입을 통하여 고장구간을 탐색하는 순송방식[11], 상시 연계점을 이동하여 고장구간을 검출하는 방법[12] 등 여러 가지 다양한 방법들이 있다.

이러한 방법들은 좋은 방법들이긴 하지만 고장회선, 고장상에 국한되어 있거나, 고장구간을 판별하더라도 복잡한 알고리즘과 실존하지 않는 설비 때문에 적용에 어려움이 있거나, 개폐기의 투입 개방으로 일시적인 정전이 발생하고 많은 개폐기의 투입 개방으로 개폐기의 수명을 단축시키는 특징들이 있다. 또한 이러한 모든 방법들은 대부분 중앙운영의 방법들이기 때문에 통신속도에 의해 고장구간 판별 소요시간에 영향을 주기도 한다.

* 學生會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 博士課程

† 교신저자, 正會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

E-mail : mschoi@mju.ac.kr

*** 優待會員 : 明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 5月 13日

最終完了 : 2008年 6月 11日

따라서 본 논문에서는 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출할 수 있도록 단말에서 FI(fault indicator)를 발생하도록 하여 계통운영자가 쉽고 빠르게 고장구간을 판단하여 분리할 수 있는 방법을 제안하고 있다. 또한 실 계통에 적용을 고려하여 적용에 대한 방안도 제시하기 위해 비접지 배전자동화 시스템 적용을 고려하여 flowchart를 제시하고 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증은 Matlab simulink를 통하여 계통 상황을 모의한 결과를 제시하고, 실계통 적용을 고려하여 white noise를 포함하여 모의한 결과 제시를 통해 실시하였다.

2장에서는 비접지 계통에 대하여 전반적으로 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 비접지 계통에서 지락사고에 대한 FI 발생 알고리즘을 설명하고, 4장에서는 사례연구를 통해 제안한 방법의 타당성과 실적용 가능성을 입증할 것이다.

2. 비접지 계통의 운영

2.1 1선 지락고장 시 비접지 계통의 특징

비접지 계통에서 지락고장 발생 시 고장전류는 대지 정전용량에 의한 충전전류에 의해 결정된다. 그림 1과 같은 배전계통에서 No.1선로에 1선 지락 고장이 발생하면 지락전류의 분포는 그림 2와 같이 나타난다.

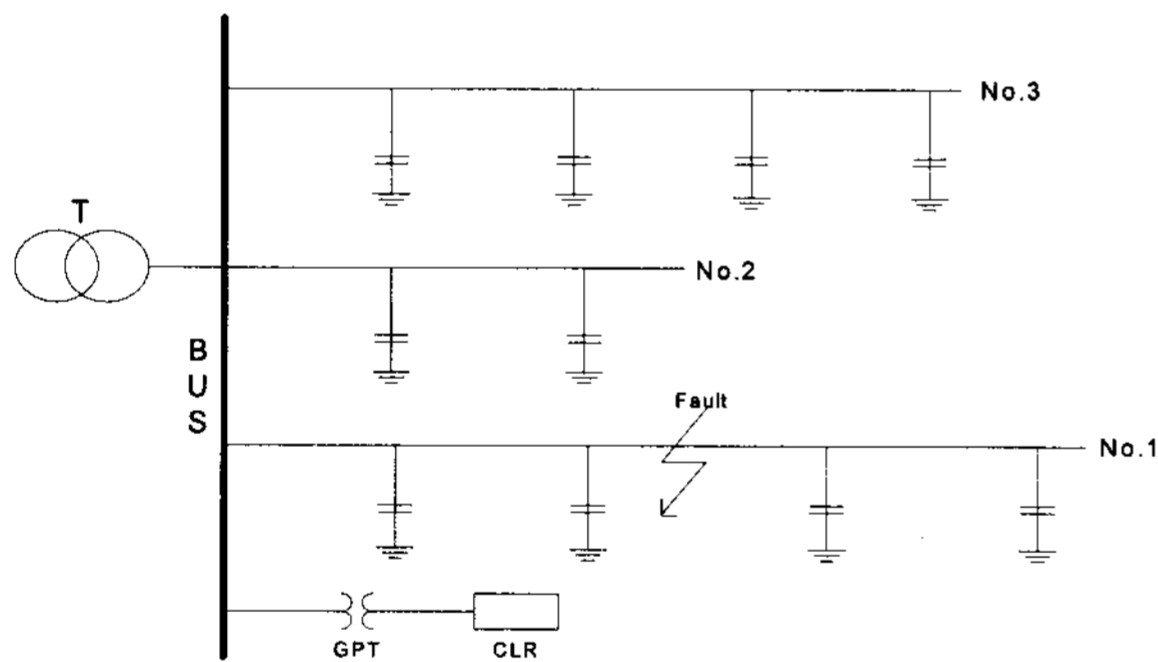


그림 1 비접지 배전 계통
Fig. 1 Ungrounded distribution system

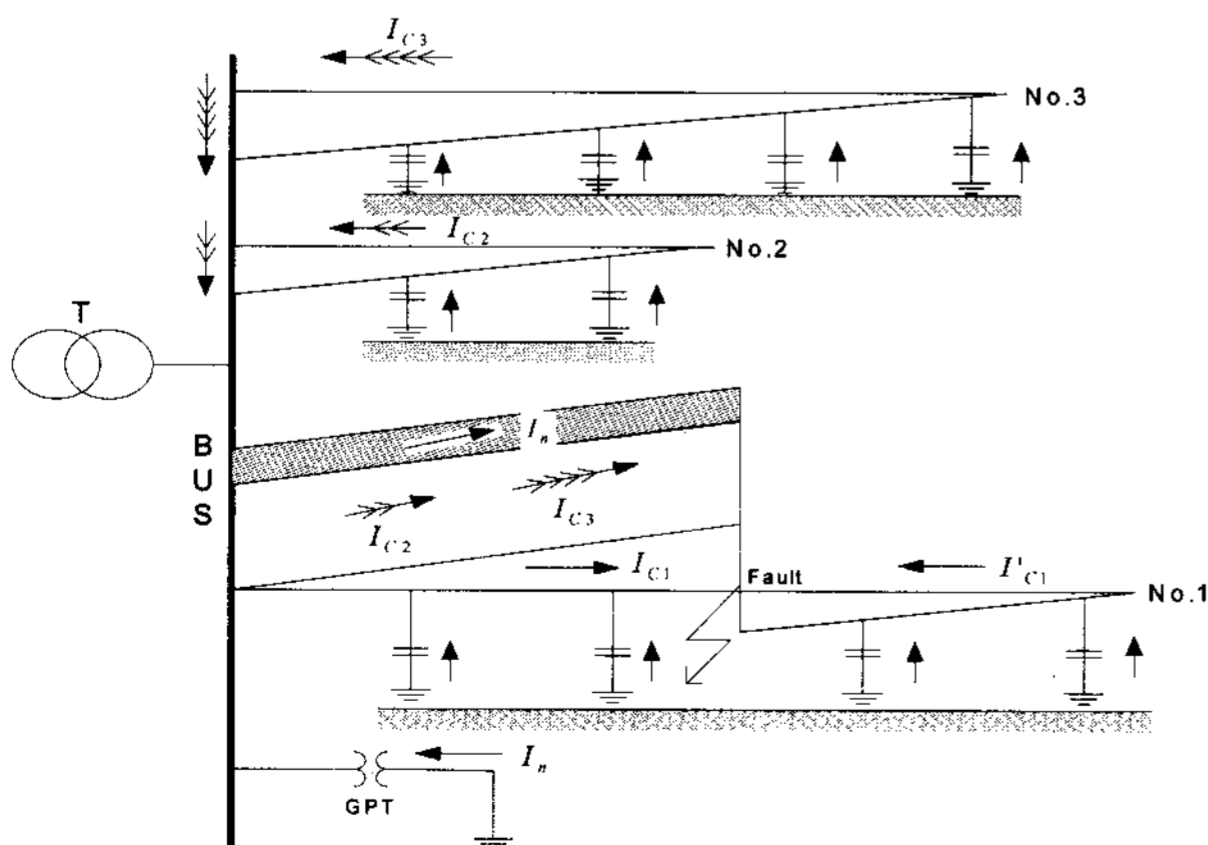


그림 2 비접지 계통에서 1선지락 고장시의 고장전류분포
Fig. 2 Distribution of fault current at phase to ground fault on an ungrounded system

건전회선의 충전전류는 모선을 통해 고장 점으로 흘러 들어가고 사고회선 No.1의 모선 측과 부하 측의 충전전류도 고장 점으로 흘러 들어간다. 하지만 이 충전전류는 매우 적은 값이기 때문에 우리나라와 같은 다중접지방식과 같이 Feeder 인출 단의 OCR 또는 계통 내의 Recloser에 의한 자동재폐로 후 고장회선 분리는 불가능 하다. 따라서 다른 보호계전기의 동작도 확실하다고 할 수 없다.

비접지 계통에서 지락고장 발생 시 전압의 변화를 살펴보면 그림 3과 같이 중성점이 고장 상으로 옮겨 간다. 따라서 고장 후 선간전압의 변화는 없고 건전상의 대지전압은 고장 전에 비해 $\sqrt{3}$ 배 증가하고 고장상의 대지전압은 0이 된다. 하지만 비 접지 계통에서는 접지를 할 수 없기 때문에 모선을 제외하고는 대지전압은 측정할 수 없다. 따라서 건전상이나 고장상의 대지전압의 변화는 선로 중간의 측정 장치에 의해서 측정할 수 없기 때문에 단말에서의 고장 상이나 구간 검출의 관점에서 보았을 때는 무의미 하다.

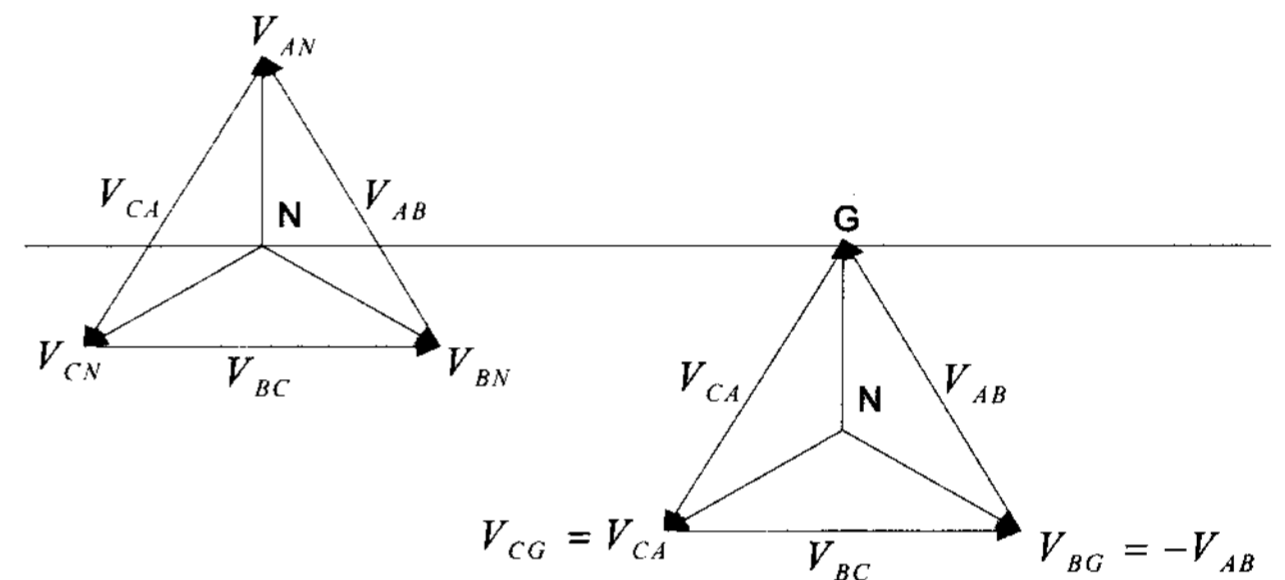


그림 3 비접지 계통의 정상 시 전압벡터와 1선 지락 고장 시 전압벡터
Fig. 3 Voltage triangle of a normal ungrounded system and one with a ground fault

2.2 지락사고 시 비접지 계통의 고장구간 판별

비접지 계통에서는 작은 고장전류 때문에 고장판별이 어렵다. 대표적인 방법으로 일본의 경우에는 선택지락과전류계 전기를 이용하여 고장회선을 판단한 후에 고장구간을 탐색하는 순송 방식이 사용되고 있다.

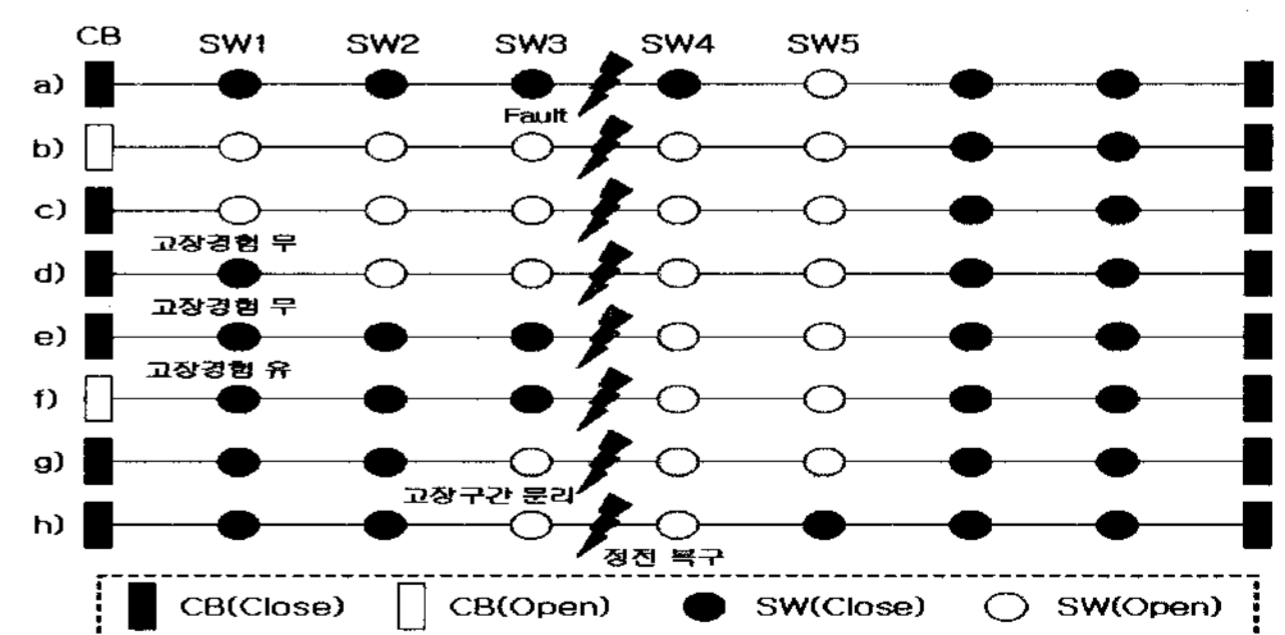


그림 4 일본 배전자동화 시스템의 비접지 계통 지락사고 시 정전 복구
Fig. 4 Service restoration of distribution automation system in Japan when a ground fault in ungrounded system

그림 4와 같이 배전선로에 고장이 발생하면 모선에서 측정되는 영상전압과 영상전류를 이용한 방향지락계전기(SGR)에 의해서 고장회선을 판정한 후에 차단기가 동작하여 고장난 회선의 선로가 정전된다. 차단기가 동작하여 무전압이 되면 해당 배전선로의 모든 순송식 자동화개폐기가 자동으로 개방된다. 일정시간 후에 CB가 재폐로하여 배전선로를 가압시키고 순차적으로 첫 번째, 두 번째, 세 번째 순으로 자동화 개폐기가 투입된다. 고장구간의 바로 직전의 자동화 개폐기가 투입되면 영구고장 상태가 지속되고 있으므로 변전소의 차단기가 다시 동작하며, 이때 고장지점 바로 앞에서 최종적으로 투입됐던 개폐기는 투입된 후 정해진 시간 이전에 다시 정전되었기 때문에 자기가 보호하는 구간에서 영구 고장이 발생했음을 판단한다.

이러한 순송방식은 시스템과 통신망 의존도가 낮고 실패 가능성이 낮아서 신뢰도가 높다는 장점이 있으나 개폐기의 동작횟수가 많고 수용가의 정전 경험 횟수가 많다는 단점이 있다.

3. 고장표시 생성 알고리즘

비접지 계통은 1선 지락고장 시 고장전류의 크기가 매우 작기 때문에 고장전류의 크기로 고장을 판별하는 것은 매우 어려운 일이다. 매우 작은 고장전류의 크기를 측정할 수 있는 계측기를 사용한다 하더라도 고장전류의 크기가 워낙 작기 때문에 외부의 작은 간섭으로도 크게 영향을 받을 수 있다. 따라서 영상전류의 위상을 이용한 새로운 고장표시 생성 알고리즘과 실계통 적용을 위한 방안을 제안하고자 한다.

3.1 영상전류 위상을 이용한 고장표시 생성 알고리즘

비접지 계통에서 1선 지락고장 발생 시 각 상에서의 고장을 고려하여 이상적인 환경일 때의 전압과 영상전류 벡터도를 그림 5, 6에서와 같이 나타내었다.

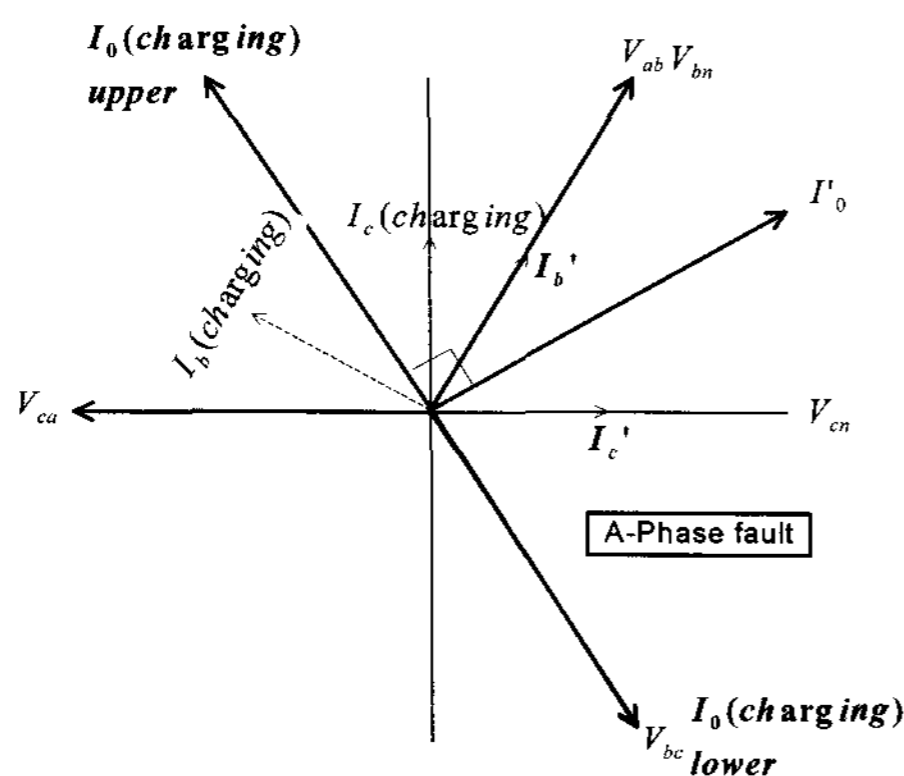


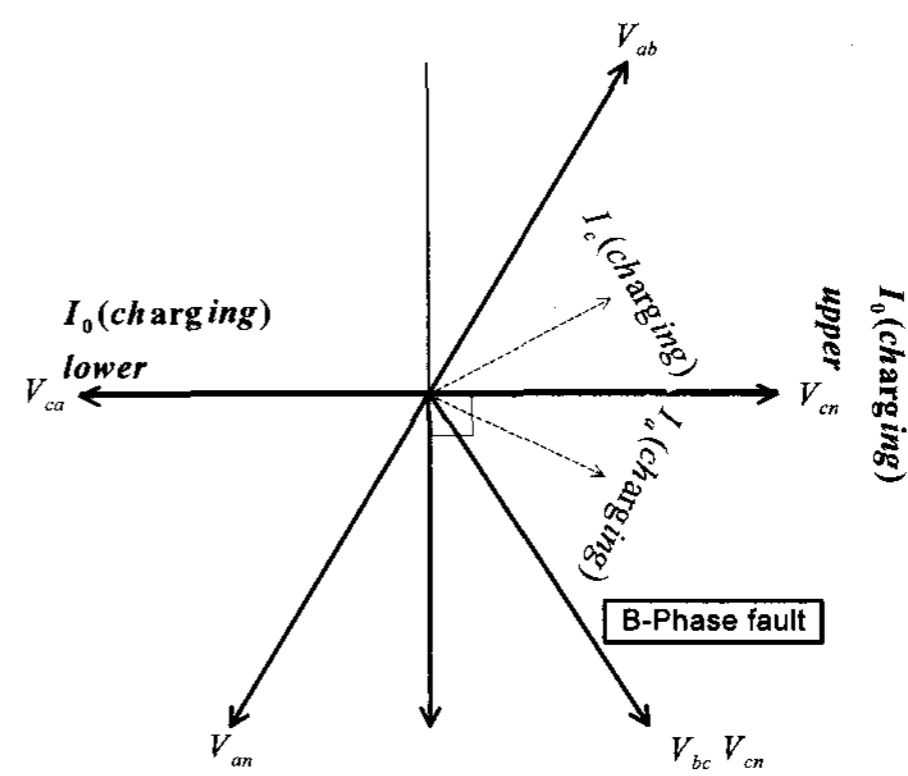
그림 5 A상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 5 Voltage and zero sequence current vector at a-phase fault

비접지 계통에서 1선 지락고장 발생 시 고장 상의 전위는 대지와 같아지므로 고장 상에는 충전전류가 없어진다. 그러나 건전상의 대지전위는 정상상태보다 $\sqrt{3}$ 배 증가하므로 고장 상단을 기준으로 고장 시의 선간전압과 영상전류의 방향

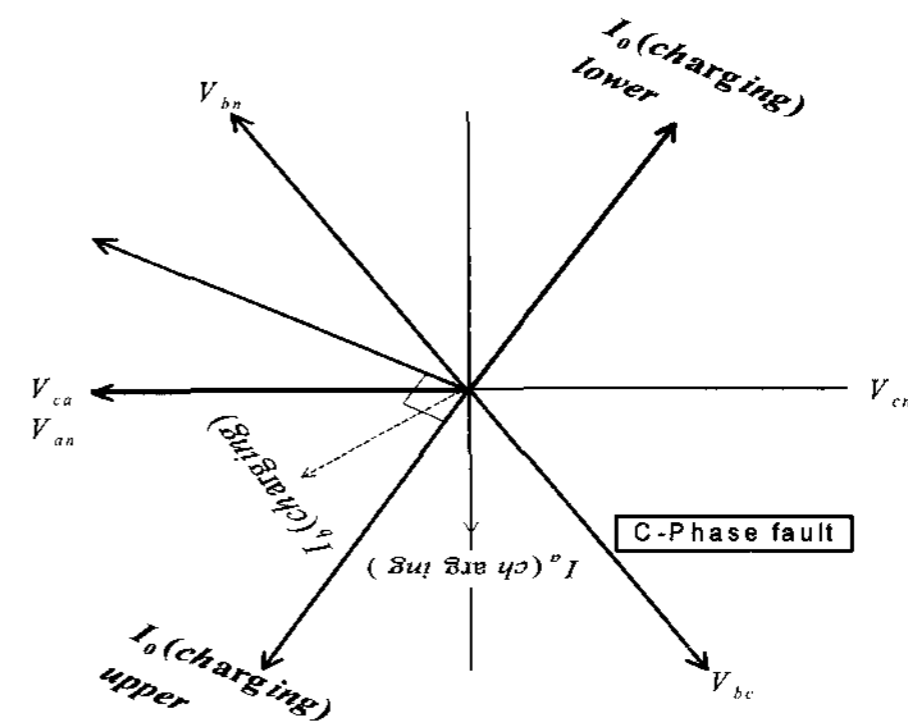
은 그림 5와 같이 나타난다.

a상 지락 고장 시 B, C상의 대지상의 전위는 V_{bn} , V_{cn} 이 된다. 선로의 저항성분만을 고려할 경우 전류는 상 전압과 동상이 되므로 영상전류의 방향은 I_b' 와 I_c' 의 합의 방향이 되므로 I_0' 의 방향이다. 하지만 대지 정전용량에 의한 충전전류이기 때문에 캐패시턴스 성분만을 고려할 경우 충전전류는 상 전압보다 90° 앞서므로 영상전류의 방향은 I_0 방향이 된다. 여기서 특징은 선간전압 V_{bc} 와 180° 의 위상차를 갖는 것이다.

B상고장 과 C상고장에 관한 벡터도는 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 캐패시터 성분만을 고려한 경우 B상고장은 선간전압 V_{ca} , C상고장은 V_{ab} 에 영상전류가 180° 의 위상차를 갖는 것을 볼 수 있다.



(a) B 상 지락고장 시 벡터도



(b) C 상 지락고장 시 벡터도

그림 6 b, c 상 각각의 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 6 Voltage and zero sequence current vector when b-phase and c-phase fault

선로의 저항, 리액턴스 그리고 캐패시턴스 성분을 모두 고려하면 영상전류의 방향은 캐패시턴스 성분만을 고려한 경우보다 뒤지게 된다. 또한 고장 상단과 하단의 영상전류의 방향은 180° 의 위상차를 갖는다. 그림 7에 캐패시턴스 성분만 고려한 벡터도와 모두 고려한 벡터도를 도시하였다.

고장 상단에서 보았을 때 각 상의 영상전류의 방향은 캐패시턴스, 선로의 저항, 리액턴스 성분에 따라 고장 상을 제외한 선간전압과 $(90^\circ \sim 180^\circ)$ 의 위상차를 가질 수 있으나 대

부분의 계통에서 캐패시턴스에 의한 영향이 상대적으로 크기 때문에 (130°~180°)의 위상차를 가진다. 따라서 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류의 위상이 선간전압의 위상보다 (130°~180°)앞선 영역을 동작영역으로 정정한다. 각 상의 동작영역을 그림 8에 도시하였다. 이를 바탕으로 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류의 위상만으로 그림 9와 같이 계통에 FI를 발생시켜 고장회선, 고장 상, 고장구간을 한 번에 알 수 있으므로 계통운영자의 빠른 판단에 의해 정전경험도 적고 정확한 계통 운영 결과를 낼 수 있다.

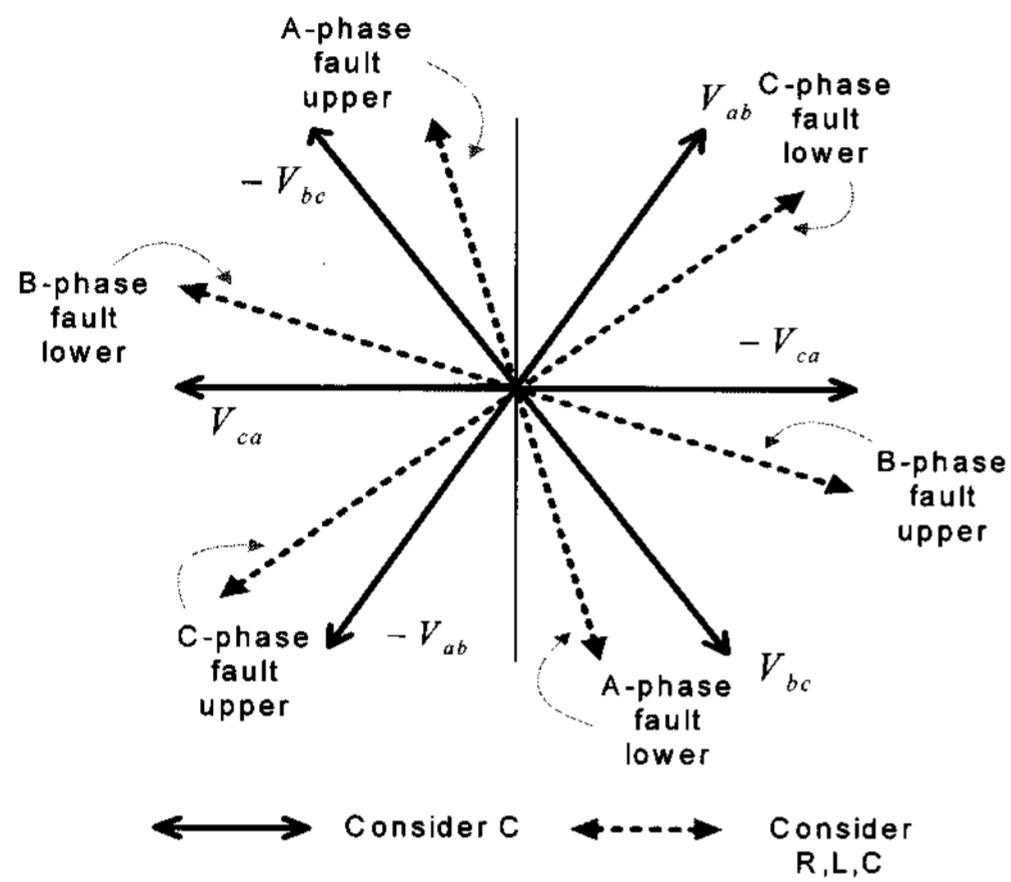


그림 7 C만 고려한 경우와 R,L,C를 고려한 경우의 영상전류 방향의 비교
 Fig. 7 Comparison of zero-sequence current direction between consider C and consider R, L, C

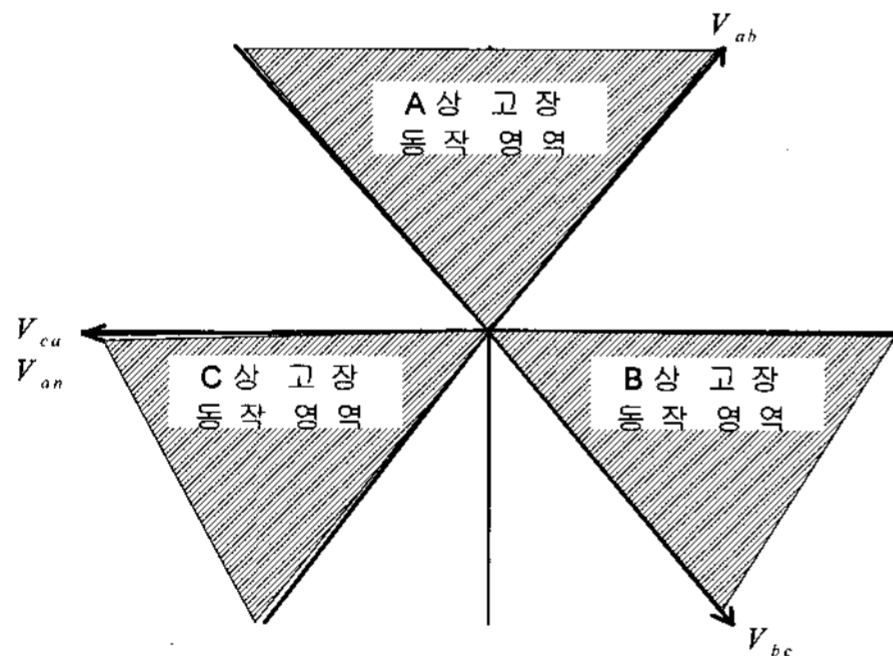


그림 8 각 상의 1선 지락고장 동작 영역
 Fig. 8 Active area of each phase when single ground fault

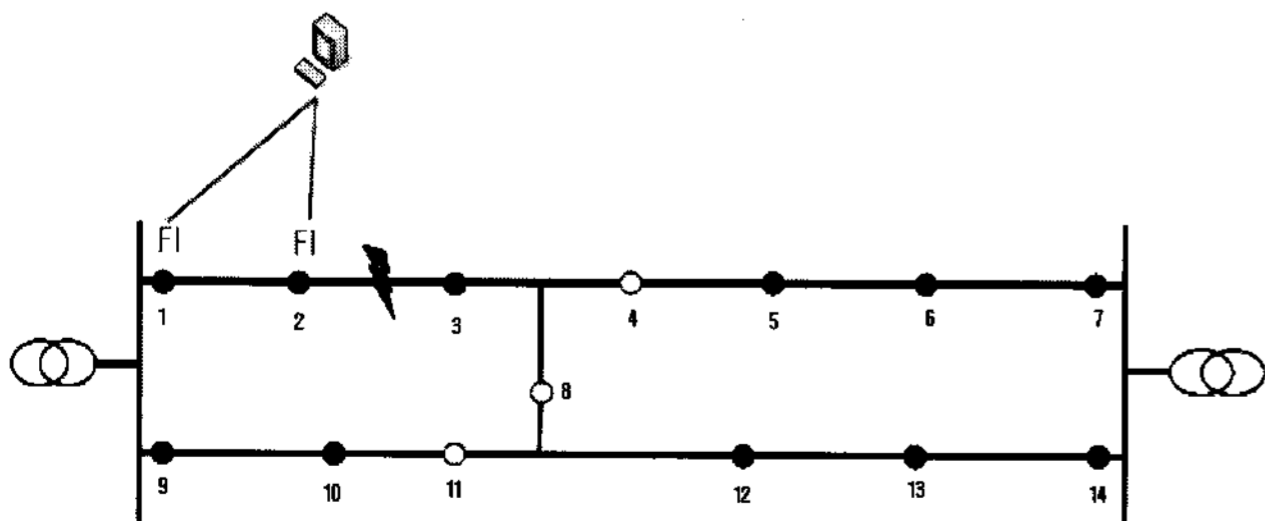


그림 9 FI발생의 예
 Fig. 9 Example of FI generation

3.2 고장표시 생성 알고리즘 적용 방안

본 논문에서는 제안하는 알고리즘만을 제시한 것이 아니라 비접지 배전자동화 시스템에 적용하기 위해 고려해야 할 여러 사항들을 포함하는 적용 방안도 제시하고 있다.

이 알고리즘의 적용을 위해서는 중앙과 단말의 역할들이 있다. 먼저 중앙에서 해주어야 할 역할들은 그림 10과 같이 flowchart로 나타낼 수 있으며, 여기서 핵심은 고장 동작 영역의 정정이라 할 수 있다. 앞서 제시한 알고리즘은 C성분만을 고려하였을 때 선간전압의 180° 반대방향으로 영상전류의 위상이 존재하는 것과, R, L의 영향에 따라 위상이 변함을 확인할 수 있었다. 대부분의 계통에서는 1선 지락 고장 시 앞서 제시한 고장 동작 영역(선간전압보다 130°~180°앞선 영역)으로 영상전류의 위상이 나타나지만 R, L의 크기가 아주 큰 계통 등을 고려하여 중앙에서 R, L로 인하여 틀어지는 각도를 예측하여 단말에 정보를 내려주어 세팅을 변경할 수 있다.

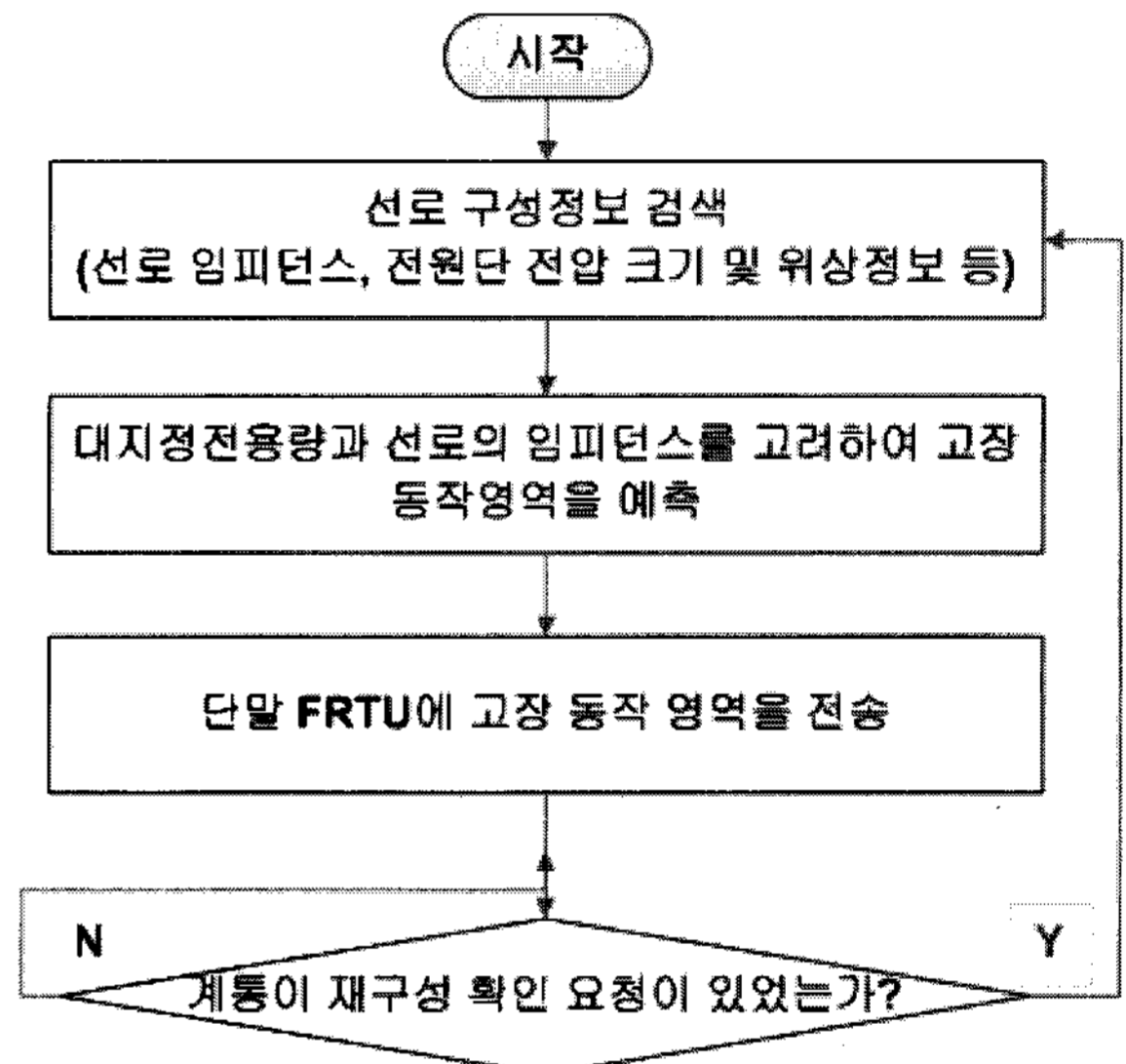


그림 10 비접지 계통에서 FI를 이용하여 지락사고 구간을 판단하기 위한 중앙의 flowchart
 Fig. 10 A flowchart of central for detecting ground fault area using FI in ungrounded system

중앙의 간단한 역할과는 달리 단말에서는 많은 일들을 해주어야 한다. 우선 이 단말이 비접지용 FRTU라고 할 때 1선 지락사고에 대해 FI를 띄우는 방안에 대하여 동작에 대한 flowchart를 그림 11에서와 같이 제안하였다.

우선 이 알고리즘이 적용되기 위해서는 단말에 소형 ZCT를 달아 단말에서 직접 영상전류를 측정하여야 한다. 전자공학 분야에서 사용하는 센서도 가능하지만 가격과 내구성을 고려한 전력분야에서 사용 가능한 ZCT가 완성단계에 있다.

일반 비접지용 FRTU의 기능에 그림 11과 같은 기능이 추가가 되면 이 알고리즘은 바로 적용될 수 있다. 각종 전력 계측 장비들을 이용하여 선간전압, 전류, 영상전류를 측정하고 있을 때, 측정된 선간전압은 비접지계통의 특성상 지락사고가 발생해도 변하지 않고 그대로 크기와 위상이 유지가 된다. 따라서 영상전류의 위상과 비교할 기준으로 선간전압의 정보를 기준 데이터로 설정 한다. 그 다음 중앙으로부터

내려 받은 정보를 가지고 지락사고에 대하여 FI를 띄우는 동작영역을 설정한다. 그 다음은 지락사고가 날 때까지 기다리도록 한다.

비접지계통의 특성상 지락사고가 나지 않으면 영상전류는 상간 불평형에도 영상전류가 생기지 않는다. 따라서 영상전류가 측정이 된다고 하는 것은 지락사고가 발생했다고 할 수 있다. 이 때 측정된 영상전류의 위상을 가지고 처음 기준으로 잡았던 선간전압과 동작영역 범위에 따라 영상전류의 위상 위치를 가지고 고장 상과 고장구간의 상·하단의 구별이 가능해진다.

앞서 설명한바와 같이 각 상의 고장 동작영역에 들어온 영상전류의 위상을 가지고 고장구간 상단에 FI를 발생시키는 동작을 할 수 있다.

배전계통 운영에 사용되는 DNP 3.0 프로토콜에서는 고장상단에 FI가 발생하였을 경우 unsolicited message를 바로 중앙으로 전송하도록 되어있다.

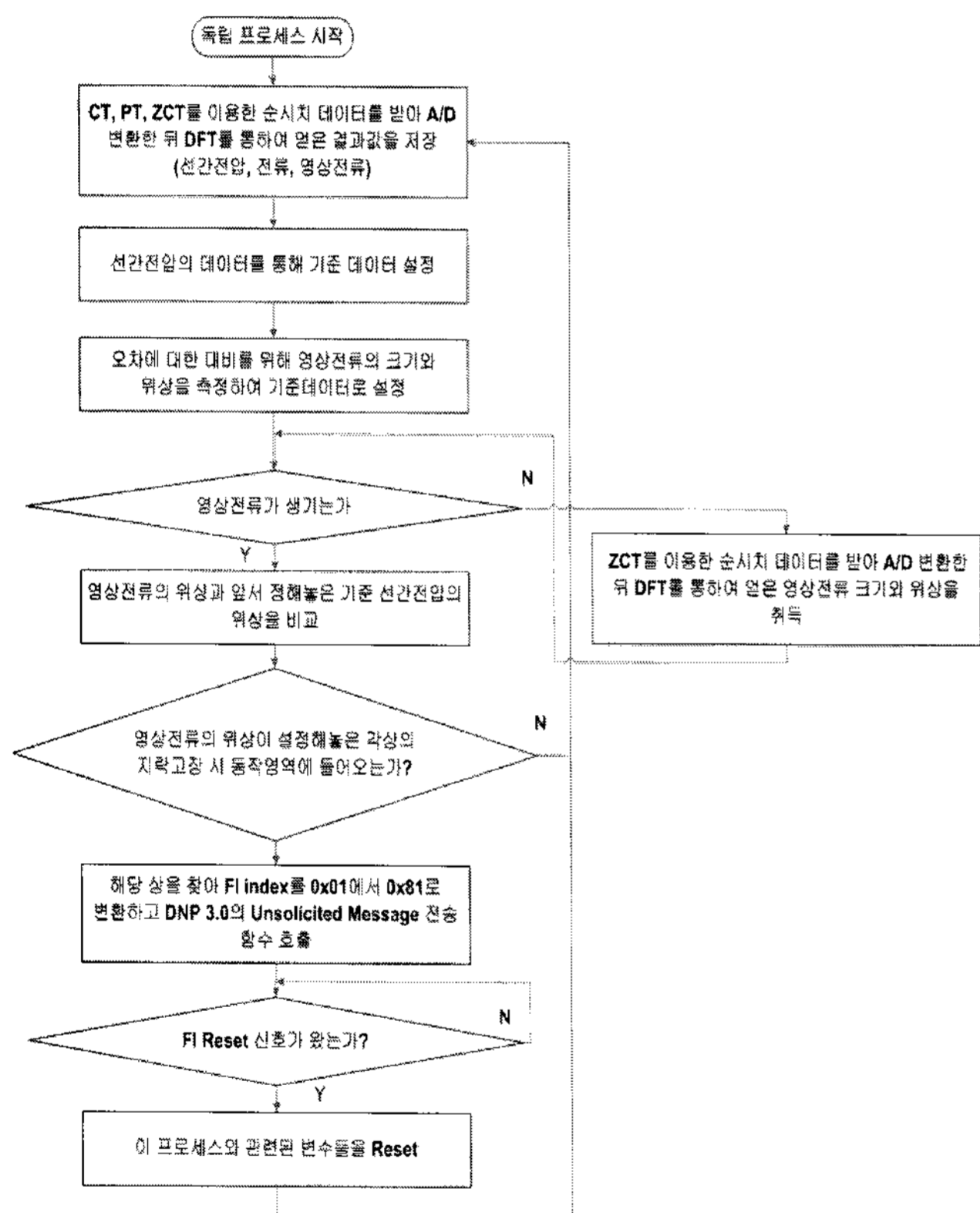


그림 11 비접지 계통에서 FI를 이용하여 지락사고 구간을 판단하기 위한 FRTU의 flowchart

Fig. 11 A flowchart of FRTU for detecting ground fault area using FI in ungrounded system

FI가 발생하여 중앙이 인지를 하면, 바로 사고구간을 분리하고 고장구간 하단에 있는 상시연계점을 닫아 사고구간 하단에 전력을 공급을 하게 되므로 신속하고 정확한 정전복구를 수행할 수 있다.

정전복구가 수행이 되면 계통 구조에 변경이 온다. 따라서 이런 점들을 인지하기 위하여, 또한 이때까지의 스위치 투입과 개방을 통해 생길 수 있는 FI 오동작을 막기 위해 FRTU는 FI를 reset 시키라는 중앙의 명령이 있기 전까지

대기한다. FI reset 명령이 떨어지면 사고구간이 잘 분리되었으며 정전복구도 완료되었다는 것을 알 수 있기 때문이다.

이 방안은 배전계통 운영을 고려하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 시스템에 적용할 수 있도록 고려하여 만들어진 방안이다. ZCT가 계통의 단말에 설치되고 제안한 이 방안이 적용된다면 그동안 비접지 계통에서 지락사고 검출에 대한 여러 문제점들을 한 번에 해결할 수 있으며, 현존하는 알고리즘과는 달리 무정전으로 정전복구를 수행할 수 있을 것이다.

4. 사례연구

4.1 영상전류의 위상을 이용한 알고리즘의 검증

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 그림 12와 같은 모델 계통에 전압은 22.9[kV], 배전선종은 ACSR 160mm² (2,400 완철 D=1,008), Z₁=3.47+j7.07, Z₀=11.9+j29.26인 계통정보를 입력하여 Matlab simulink를 통해 1선지락 고장을 모의하였다.

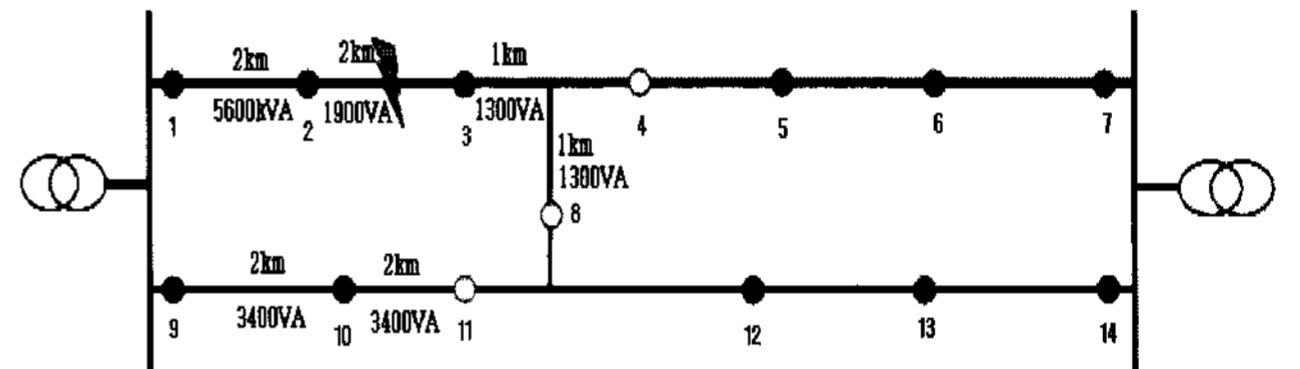


그림 12 모의 배전계통

Fig. 12 Simulation distribution network

a상 지락고장, b상 지락고장, c상 지락고장을 모의 하였으며, 각 고장 시의 영상전류의 크기와 위상은 표 1과 같이 나타났으며 이를 그림 13, 14, 15와 같이 벡터도로 나타내었다.

표 1 각 상 지락고장 시의 영상전류의 크기와 위상

Table 1 Magnitude and angle of zero-sequence current at phase to ground fault

<A-phase fault>

	Node 2	Node 3
Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	113.95°	-66°

<B-phase fault>

Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	-6°	174°

<C-phase fault>

Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	-126.05°	53.985°

그림 13, 14, 15는 그림 12에서 node 2번과 3번의 각 a, b, c상 1선 지락 고장 시의 고장 점 상단(upper)과 하단(lower)의 영상전류의 위상을 나타내고 있다.

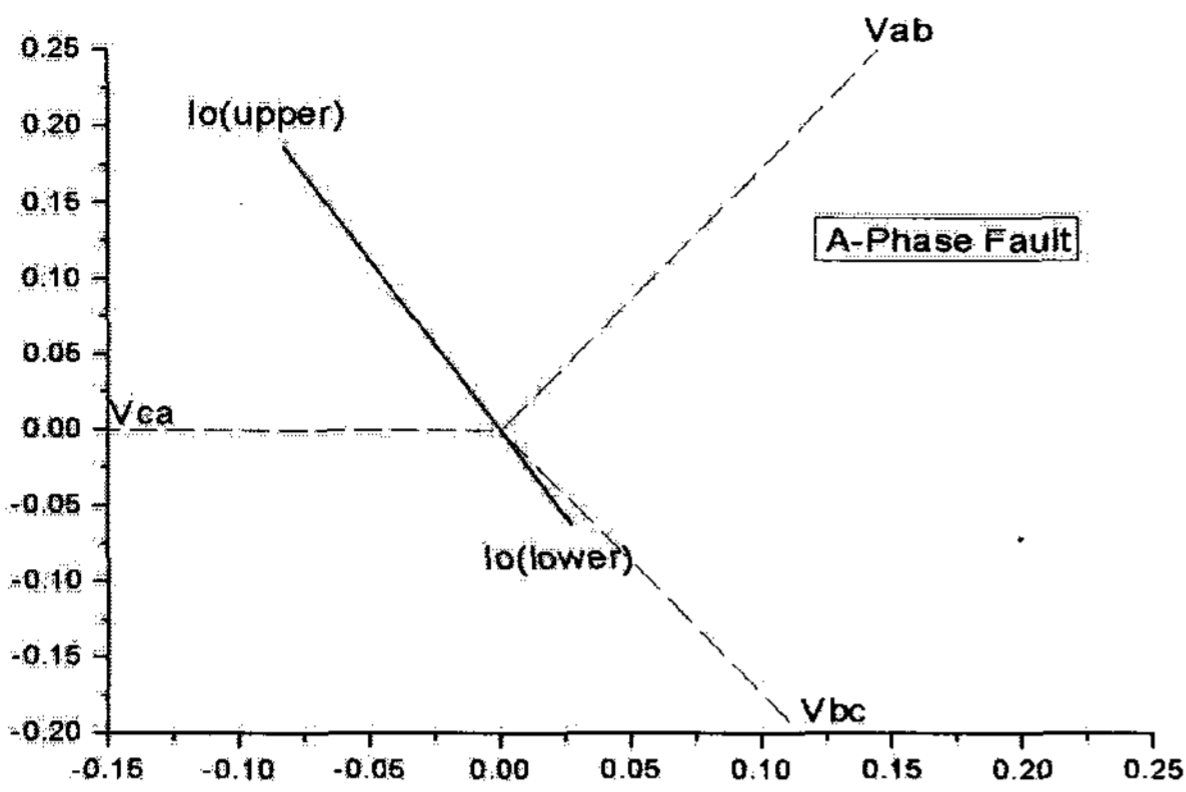


그림 13 A상 지락고장 시 선간전압과 영상전류 벡터도
Fig. 13 Voltage and zero sequence current vector diagram when A-phase fault

그림 13은 a상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과 선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 a상고장 동작영역($60^\circ \sim 120^\circ$)으로 들어왔으므로 a상고장임을 판별할 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

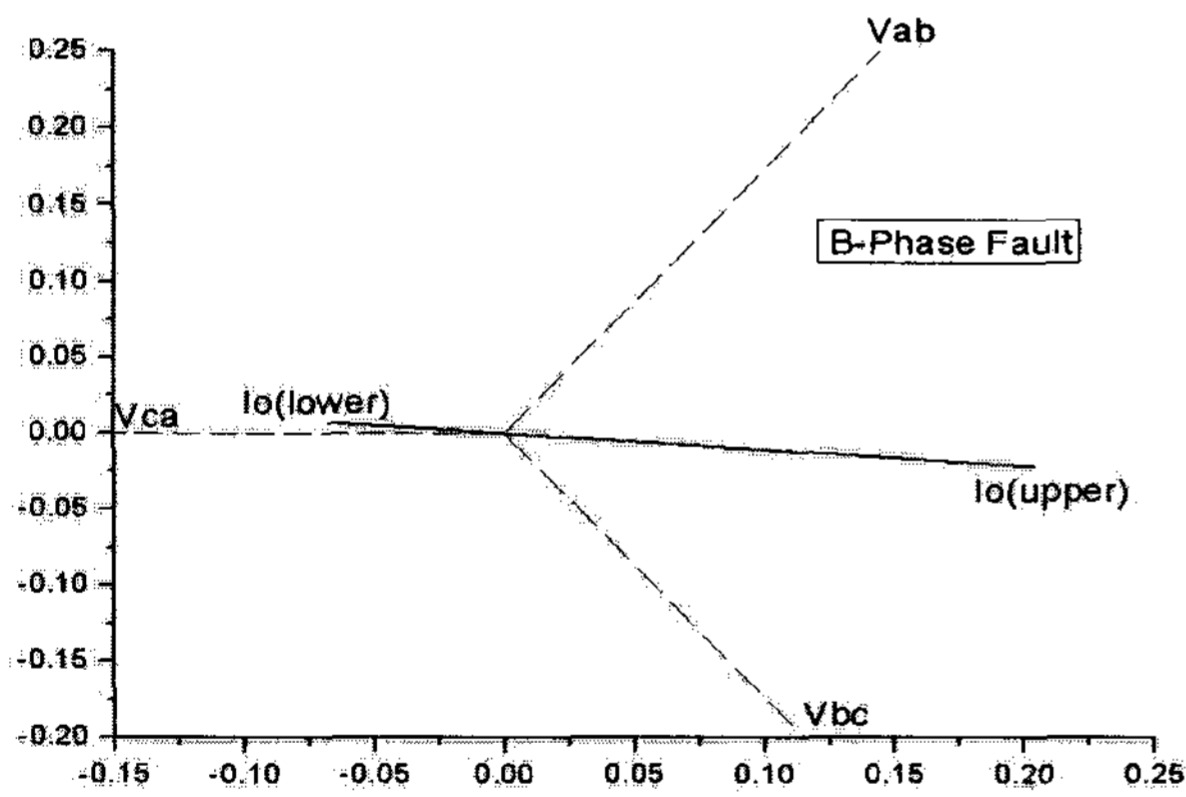


그림 14 B상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 14 Voltage and zero sequence current vector diagram when B-phase fault

그림 14는 b상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과 선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 b상고장 동작영역($-60^\circ \sim 0^\circ$)으로 들어왔으므로 b상고장임을 판별할 수 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 15는 c상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과 선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 c상고장 동작영역($-180^\circ \sim 120^\circ$)으로 들어왔으므로 c상고장임을 판별할 수 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

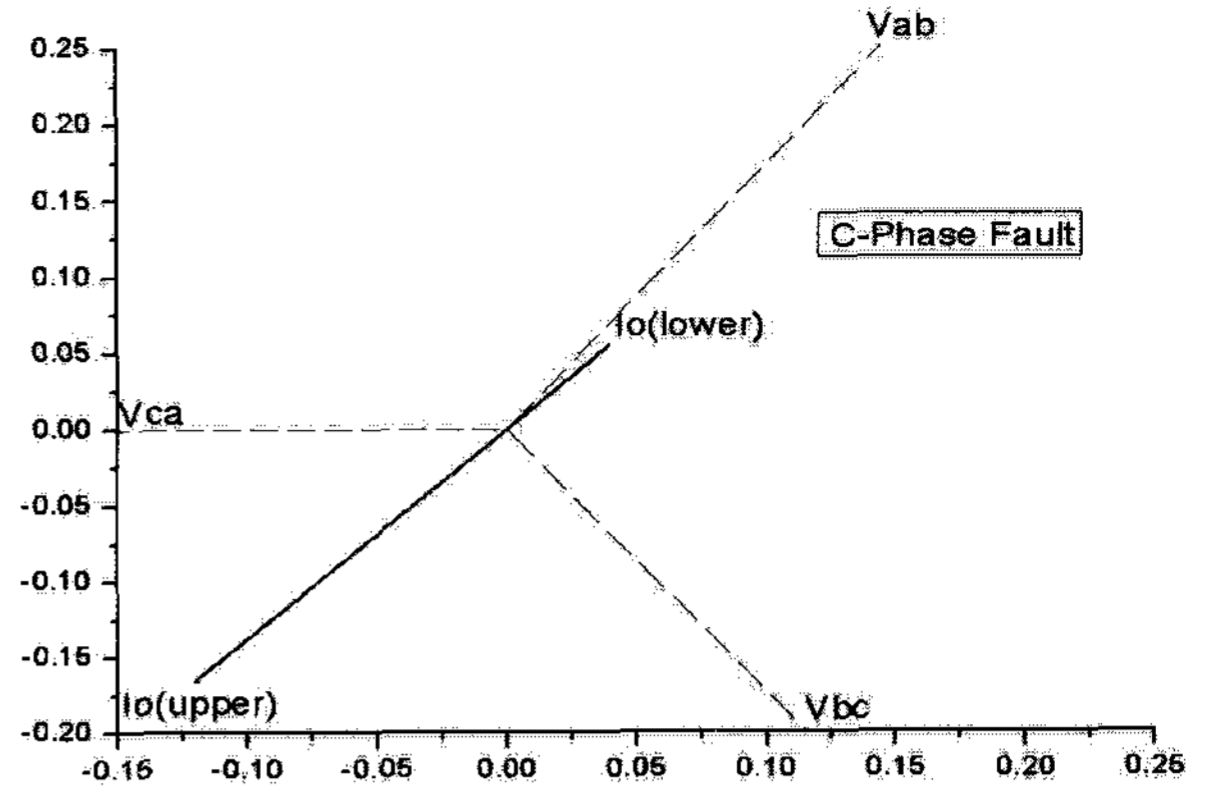


그림 15 C상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 15 Voltage and zero sequence current vector diagram when C-phase fault

영상전류의 위상은 대지 정전용량, 선로의 저항, 리액턴스에 영향을 받는다. 선로의 저항과 리액턴스 성분이 아주 큰 계통을 고려하여 각 저항과 리액턴스의 크기를 10배 증가시켜 모의 하여도 그림 12와 같이 각 상의 고장 동작영역으로 들어오는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 대지 정전용량, 선로의 저항, 리액턴스는 기지 값이기 때문에 계통의 상황에 맞게 동작영역의 수정도 가능하다.

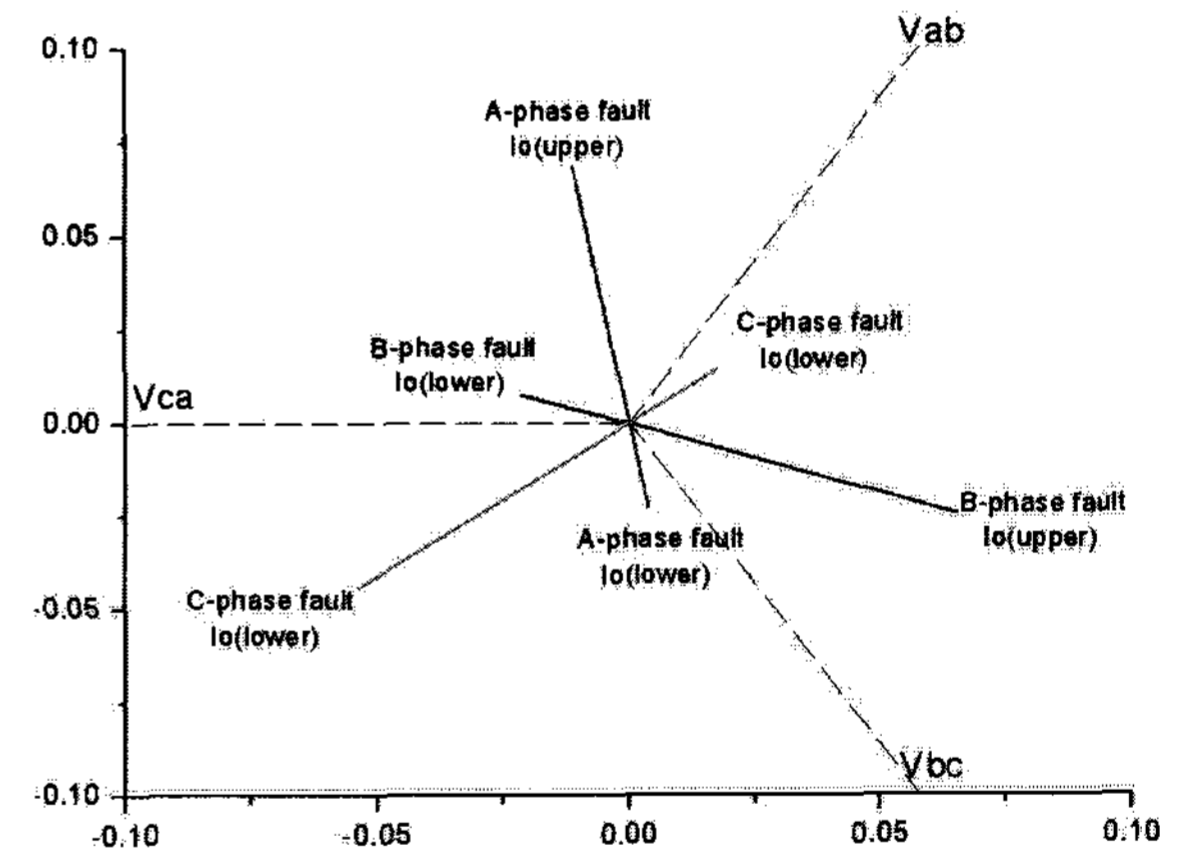


그림 16 R, L 성분이 큰 계통의 1선 지락 고장 시 벡터도
Fig. 16 Vector diagram of network with big R, L component when a phase ground fault

4.2 White noise를 고려한 알고리즘의 검증

제안한 알고리즘을 실계통 적용을 고려하여 검증하기 위해 본 논문에서는 그림 12와 같은 모의 계통에 white noise를 포함시켜 외부 간섭요인이 있을 경우를 모의하였다. 그림 17은 white noise를 포함하지 않은 상태의 계통 모의이며, 그림 18은 약간의 white noise를 포함시켜 모의하였고, 마지막으로 보다 큰 white noise를 포함시켜 계통을 모의하여 그 결과를 비교하였다.

그림 17은 white noise가 없는 상태에서 0.1초 고장발생 시 고장점 상단 노드의 영상전류 파형, 크기, 위상을 나타내고 있다.

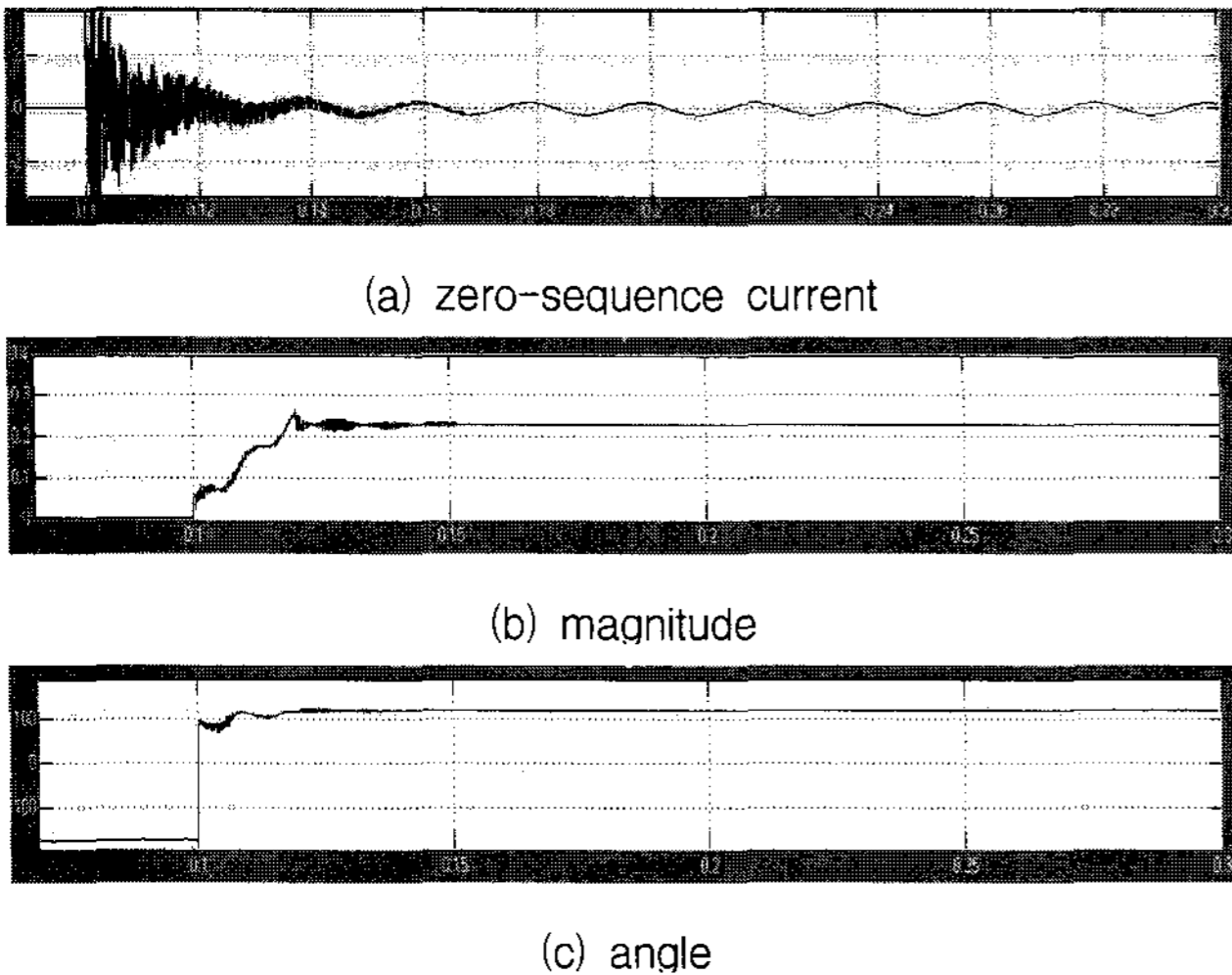


그림 17 White noise를 포함하지 않은 영상전류의 크기와 위상

Fig. 17 Magnitude and angle of zero-sequence current without white noise

그림 18은 Noise power 0.5×10^{-5} , Sample time 0.1×10^{-4} 의 white noise를 포함하여 모의한 결과이다. 그림 17의 (c)와 그림 18의 (c)를 비교해보면 약간의 oscillation이 있지만 동작영역 범위 안에 일정하게 들어가 고장 상과 고장점 상 단임을 판별할 수 있다는 것을 확인 할 수 있다.

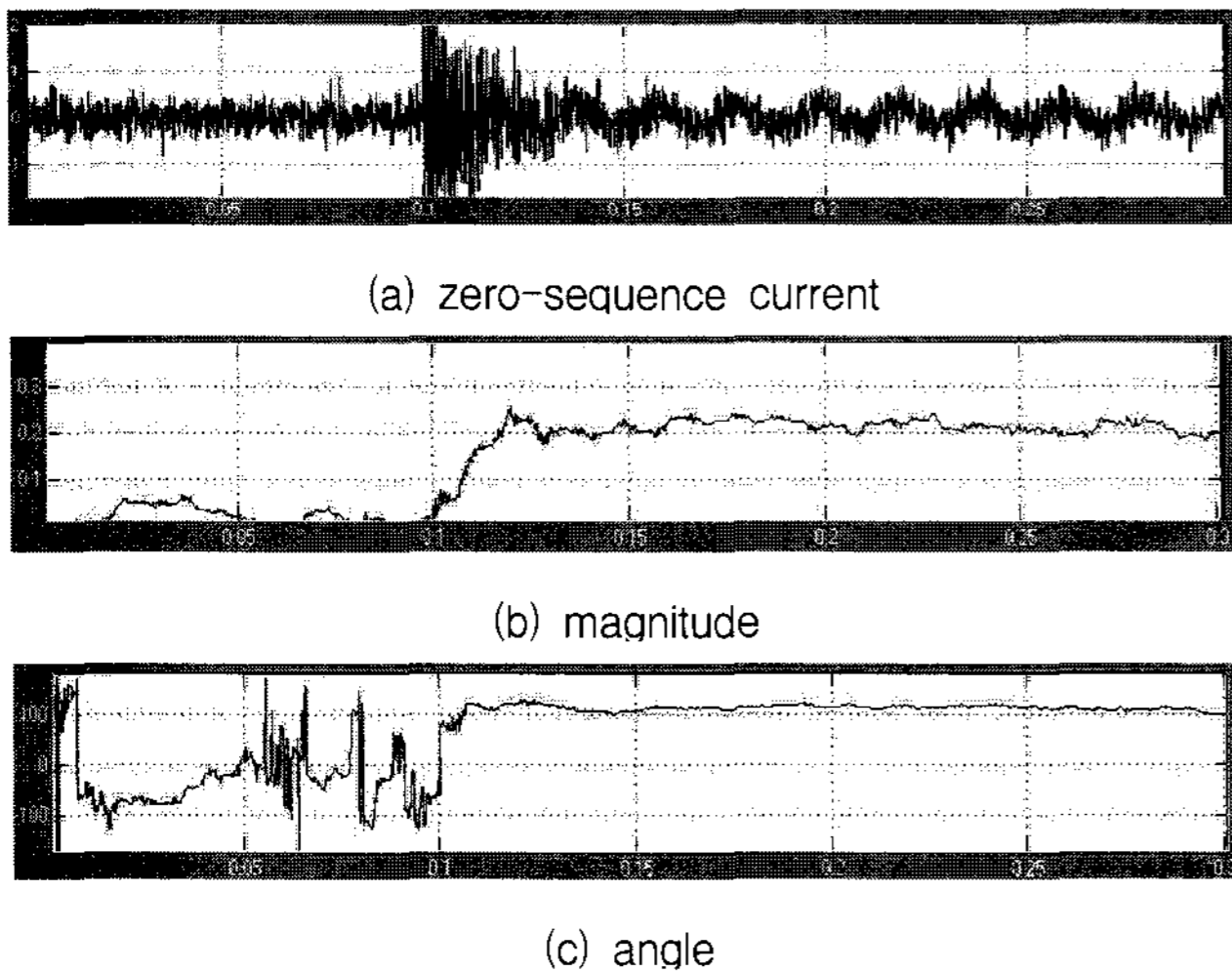


그림 18 White noise를 포함한 영상전류의 크기와 위상

Fig. 18 Magnitude and angle of zero-sequence current with white noise

그림 19는 Noise power 0.1×10^{-3} , Sample time 0.1×10^{-4} 의 보다 큰 noise를 포함시켜 모의한 파형이다. 만약 그림 17-(b)와 같이 이상적인 전류 크기가 측정이 된다면 FI를 발생시키는데 영상전류의 크기만 가지고도 가능하겠지만, 그림 19-(b)의 파형을 살펴보면 고장전류의 크기가 oscillation하는 것을 확인할 수 있다. 이는 비접지시스템의 영상전류의 크기는 비록 작지만 특정전류크기 이상일 경우에 FI를 발생시키는 방법은 그림 19-(b)의 파형에서 나타나듯이 불가능

하다는 것을 알 수 있다.

하지만 본 논문에서 제안한 영상 전류의 위상 비교방식은 그림 19-(c)에서 확인 할 수 있듯이 oscillation하지만 대부분 고장동작 영역으로 들어오기 때문에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용할 경우 Noise power 0.1×10^{-3} , Sample time 0.1×10^{-4} 의 noise에서도 고장을 판별할 수 있음을 확인할 수 있다.

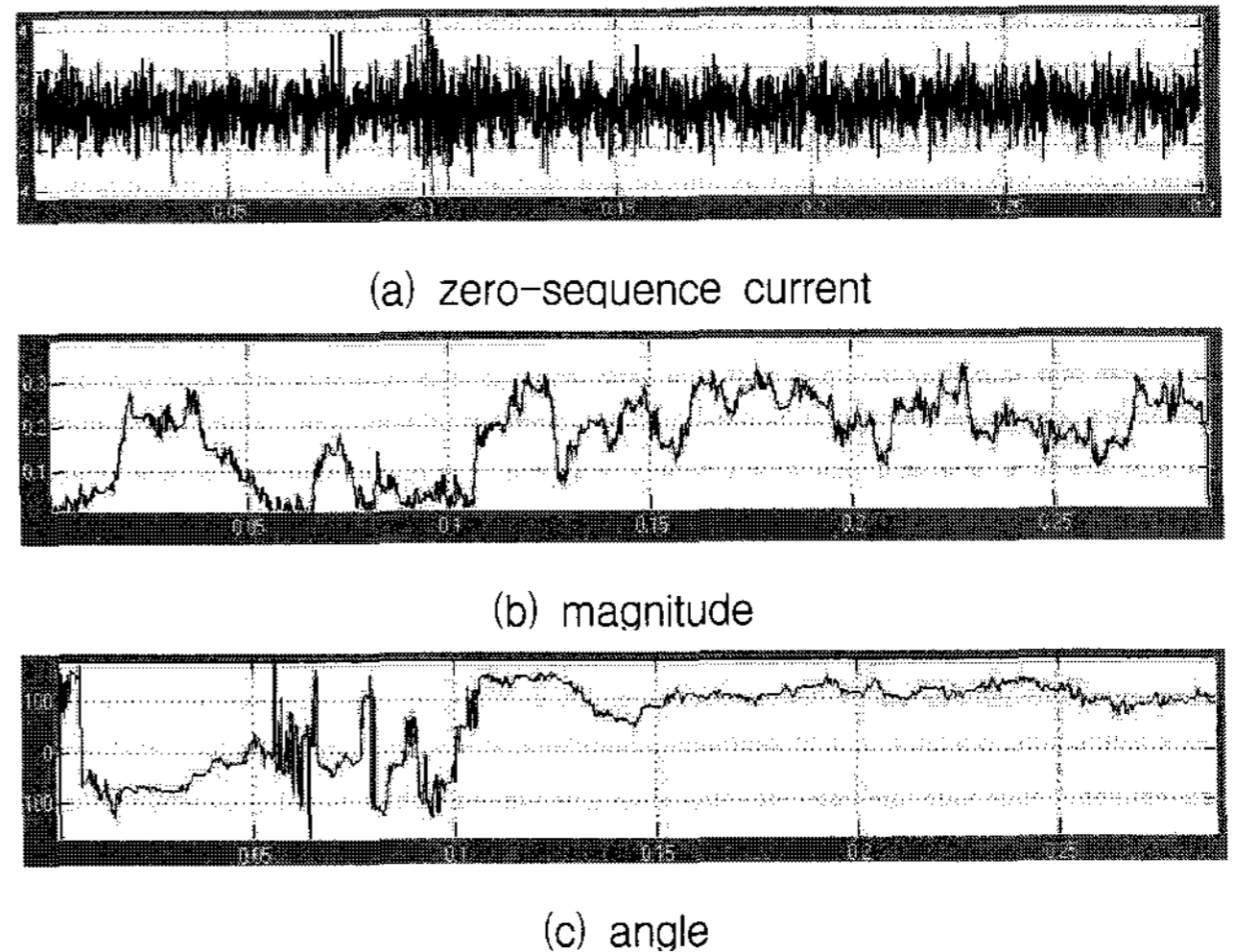


그림 19 보다 큰 white noise를 포함한 영상전류의 크기와 위상

Fig. 19 Magnitude and angle of zero-sequence current with more big white noise

5. 결 론

본 논문에서는 전 세계 배전시스템의 약 80%를 차지하는 비접지 시스템의 특징을 간략하게 살펴보고, 비접지 시스템 운영에 있어서 중요한 문제가 되고 있는 지락사고 중 1선 지락사고에 대한 고장점 상단의 FI 발생 알고리즘을 연구하였다.

본 논문에서는 제안한 알고리즘은 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출하고 단말에서 직접 FI를 발생시키는 알고리즘이다. 이 방법은 선로상의 자동화 개폐기에서 취득된 영상전류의 위상정보만을 이용하여 FI를 발생시키므로 계통운영자가 쉽고 빠르게 고장 구간을 판별 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한 현재 배전자동화 시스템의 장비와 구성을 고려하여 비접지 배전자동화 시스템에 적용할 수 있는 적용방안을 제안하기 위해 flowchart를 통해 자세하게 제시하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 실계통 적용에 대한 타당성도 Matlab simulink를 통한 사례연구를 통해 검증하였다. 실계통 적용 시 오차를 내는 요인을 고려하기 위하여 white noise를 포함한 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 white noise가 특정수치 이상 간섭이 되면 영상전류의 크기가 워낙에 작기 때문에 오차를 또한 커져 크기를 이용한 고장구간 판정은 불가능하며, 대신 영상전류의 위상을 이용한 방법만으로 판정이 가능하다는 것을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘과 적용방안은 현존하는 비접지용 지락사고구간 검출방법의 잦은 스위칭 동작 또는 고

장구간 판정 중 건전구간의 정전발생에 대한 단점을 보완한 알고리즘이다. 본 알고리즘은 ZCT를 이용하여 단말에서 영상전류를 측정해야 하므로 설비가격에 대한 부담이 있을 수 있으나 미래에는 매우 유용하게 쓰일 수 있기 때문에 투자 가치가 충분히 있다고 생각된다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 우리나라의 전력IT 산업의 수출에 직접지용 배 전자동화 시스템 부분에서 큰 경쟁력을 가져다 줄 것이라고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력IT IDMS(Intelligent Distribution Management System) 과제와 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

참 고 문 헌

[1] Leel Ho Seol, Bok Nam Ha, Mi Ae Jeong, Moon Ho Kang, Sang Ho Lee, "A study of line-to-ground fault solution in ungrounded network base on the distribution automatic system", KIEE summer conference, July 14-16, 2004.

[2] Hong-chun Shu, Bai Xiao, "A novel fault line selection algorithm of single-phase ground faults in ungrounded neutral system using wavelets transform", PowerCon 2002, Vol.4, pp. 2532-2536, Oct. 2002.

[3] Qianli Su, XinzhouDong, Shenxing Shi, Bin Su, Jiali He, "A new principle of fault line selection for distribution", Seventh International Conference on (IEE) Developments in Power System Protection, pp. 89-93, June 2004.

[4] Chengyong Zhao, Yanfen Guo, Gengyin Li, "The similitude power detection on single phase-to-ground fault in the non-solidly grounded system", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China, pp. 1-5, 2005.

[5] 박영문, 김재철, 전력계통기술계산 응용, 도서출판 의제, 1998.

[6] Bingyin Xu, Yongduan Xue, Jing Li, Yu Chen, "Single phase fault detection technique based on transient current and its application in non-solid grounded network", IEE 2001 Conference in Developments in Power System Protection, No.429, 2001.

[7] Z. Q. Bo, G. Weller, M. A. Redfern, "Accurate fault location technique for distribution system using fault-generated high-frequency transient voltage signals", IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, issue 1, pp.

73-79, Jan. 1999.

[8] Baldwin, T.; Renovich, F., Jr.; Saunders, L.F.; L.F.; Lubkeman, D., "Fault locating in ungrounded and high-resistance grounded systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37 No. 4, pp. 1152-1159, July-Aug. 2001

[9] Baldwin, T.; Renovich, F.; Saunders, L., "Directional ground fault indicator for high-resistance grounded systems", 2002 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp. 103-109, 2002

[10] Baldwin, T.; Renovich, F., "Analysis of fault locating signals for high-impedance grounded systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38 No. 3, pp. 810-817, May/June 2002

[11] 하복남 외6, The Development of the New Distribution Automation System, KEPRI '98 전력연-단663, 1998.

[12] In Sun Choi, Myeon Song Choi, Seong Il Lim, Seung Jae Lee, "A new algorithm of the line to ground fault section isolation & restoration in ungrounded distribution power system", Trans. KIEE. Vol. 53A, No. 10, Oct. 2004.

저 자 소 개



임희택 (林熙澤)

1981년 3월 15일생, 2007년 명지대학교 전기공학과 졸업,(학사) 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 031-336-3290
Fax : 031-330-6816
E-mail : swish41@mju.ac.kr



임일형 (林一亨)

1979년 4월 13일생. 2005년 명지대학교 전기공학과 졸업.(학사) 2007년 동대학 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 031-336-3290
Fax : 031-330-6816
E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr



최 면 송 (崔 勉 松)

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기 공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-336-3290

E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이 승 재 (李 承 宰)

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학).

1994년 Univ. of Washington 교환 교수. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-336-6362

E-mail : sjlee@mju.ac.kr