

신재생 에너지 전원을 고려한 배전선로 고장구간 판단 기법

Faulted Section Identification Method in The Distribution Systems with Renewable Energy Resources

이 한 성* · 전 철 우 · 김 영 국 · 임 성 일*
(Han-Seong Lee · Cheol-Woo Jeon · Young-Kook Kim · Seong-Il Lim)

Abstract - Faulted section identification is one of the most important function in distribution automation systems. Conventional over current detection based fault indicators frequently mal-operate due to the reverse fault current from the renewable energy resources. This paper present a new faulted section identification method based on the fuzzy decision making technique. In order to establish feasibility of the proposed method, case studies using Matlab Simulink has been performed.

Key Words : Faulted Section Identification, Renewable Energy Resource, Fuzzy Decision Making Technique

1. 서 론

배전자동화시스템은 배전선로에 설치된 보호기기 및 개폐기를 원격으로 제어하고 감시하는 시스템이다. 배전자동화시스템은 선로에 고장이 발생하면 신속하게 고장을 인지하고 고장구간을 판단해야 한다. 이후 건전구간과 고장구간을 분리하고 연계선로를 이용하여 정상적으로 전력을 공급해야 한다.

고장이 발생한 경우 정전구역에 단시간 내 전력을 공급하기 위해서 정확한 고장구간을 판단하는 것이 가장 중요하다. 고장구간을 잘못 판단하면 건전구간에 정전이 발생하거나 연계선로를 이용하여 정전구역을 복구할 경우 2차적인 고장이 발생할 수 있다.

우리나라 배전선로는 접지방식이기 때문에 고장구간을 판단하기 위해서 YES-NO방식을 이용한다. YES-NO방식은 단말장치(Feeder Remote Terminal Unit)에서 생성되는 고장표시기(Fault Indicator) 동작정보를 이용하는데, 선로인출단을 기준으로 고장표시기가 마지막으로 동작한 개폐기와 고장표시기가 동작하지 않은 개폐기 사이를 고장구간으로 판단한다[1]. 하지만 배전선로는 3상으로 구성되어 지락 고장과 같은 불평형 고장이 발생할 경우 고장점 부하측 고장표시기가 오동작하여 잘못된 고장구간을 판단할 수 있다. 또한 고장점 부하측에 중부하, 신재생 에너지 전원, Yg- Δ 변압기가 연계되면 N상 고장전류가 변화할 수 있다. 특히 Yg- Δ 변압기가 연계된 경우 영상 임피던스 크기가 작아져서 N상 고장전류 크기가 커질 수 있다. 이에 따라 고장점

부하측 N상 고장표시기 오동작이 빈번하게 발생할 수 있다.

배전선로의 고장구간 판단 방법에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 중앙집중식이 아닌 자율적 고장구간 판단을 위해 FRTU간 1:1 통신으로 연결하여 주고 받은 데이터를 이용하여 고장구간을 판단하는 방법[2], 3상 회로를 직접 해석하거나 반복추정기법을 이용하여 고장구간을 판단하는 방법[3-4], 멀티 에이전트 기반의 고장구간을 판단하는 방법[5] 등이 연구되었다. 하지만 이와 같은 연구들은 배전선로에 신재생 에너지 전원이 도입되기 이전에 고장구간을 판단하기 위해 제안된 방법으로 신재생 에너지 전원, Yg- Δ 변압기 등에 의한 고장표시기 오동작, 고장전류 증감 등은 고려되지 않았다.

본 논문에서는 신재생 에너지 전원이 연계된 배전계통에서 지락 고장과 같은 불평형 고장이 발생한 경우 현재 설치된 보호기기 및 FRTU에서 취득되는 각 상별 전류의 크기를 이용하여 고장구간을 판단하기 위한 방법을 제안한다. 취득된 전류의 위상은 오차가 크지만 크기는 비교적 정확하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장에서는 기존 고장구간 판단 방법의 문제점에 대하여 설명한다. 2.2장에서는 지락 고장과 같은 불평형 고장이 발생한 경우 단말장치에서 취득된 전류의 크기를 입력으로 Fuzzy Logic을 이용하여 고장구간을 판단하는 방법에 대하여 설명한다. 2.3장에서는 사례연구를 통하여 본 논문에서 제시된 방법에 대한 유용성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 기존 고장구간 판단 방법의 문제점

2.1.1 YES-NO방식을 이용한 고장구간 판단 방법

배전선로에 고장이 발생하면 고장전류가 흐르고, 고장전류를 경험한 단말장치의 고장표시기가 동작한다. 기존에는

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Kyungnam University, Korea.

E-mail: slim@kyungnam.ac.kr

* Dept. of Electrical Electronic Engineering, Kyungnam University, Korea.

Received : March 06, 2014; Accepted : August 28, 2014

고장표시기의 동작정보를 이용하여 고장구간을 판단하는 YES-NO방식을 사용하였다. YES-NO방식은 선로인출단을 기준으로 고장표시기가 마지막으로 동작한 개폐기와 동작하지 않은 개폐기 사이를 고장구간으로 판단한다. 그림 1은 구간 3에 지락 고장이 발생하여 고장전류를 경험한 CB, S₁, S₂ 단말장치의 고장표시기가 동작함을 나타내고 있다. 이때 고장표시기가 마지막으로 동작한 S₂와 고장표시기가 동작하지 않은 S₃ 사이의 구간 3을 고장구간으로 판단한다.

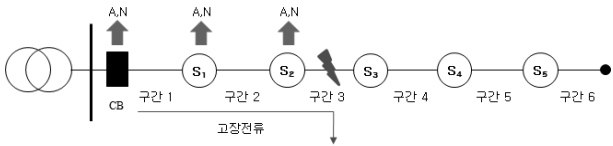


그림 1 YES-NO방식을 이용한 고장구간판단 방법
Fig. 1 The YES-NO method for fault identification

2.1.2 기존 고장구간 판단 방법의 문제점

배전선로가 단상 회로로 구성된 경우 CB부터 선로 말단까지 한쪽 방향으로 전류를 공급하기 때문에 고장점 부하측의 고장표시기가 오동작할 수 없다. 하지만 배전선로는 3상 회로로 구성되어 1선 지락 고장과 같은 불평형 고장이 발생할 경우 고장점 부하측 고장표시기가 오동작할 수 있다. 또한 선로에 연계된 부하, 신재생 에너지 전원, Yg-Δ 변압기에 의해 부하측에서 전원측으로 전류를 공급하여 고장점 부하측 고장표시기가 오동작할 수 있다.

그림 2는 구간 3에 지락 고장이 발생한 경우 고장점 부하측 S₃의 N상 고장표시기가 오동작한 것을 나타내고 있다. 기존 방식을 이용하여 고장구간을 판단하면 고장표시기가 마지막으로 동작한 S₃과 고장표시기가 동작하지 않은 S₄ 사이의 구간 4를 고장구간으로 잘못 판단하게 된다.

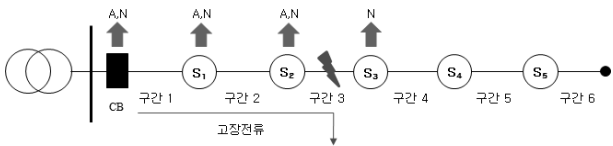


그림 2 YES-NO방식의 문제점
Fig. 2 Problem of The YES-NO method

그림 3과 같이 배전선로에 부하, 신재생 에너지 전원, Yg-Δ 변압기가 연계된 경우 고장점 부하측 N상 고장전류 크기가 증가하여 고장표시기의 오동작이 빈번하게 발생될 수 있다. N상 고장전류 크기 변화에 영향을 미치는 요소는 2가지이다. 첫 번째는 고장점 임피던스의 크기, 두 번째는 고장점 부하측에 연계된 부하량, 신재생 에너지 전원 및 Yg-Δ 변압기 용량이다.

고장점 부하측에 연계된 부하 임피던스의 총합이 고장점 임피던스보다 같거나 작은 경우, 고장이 발생한 경우 신재생 에너지 전원이 선로와 분리되어 전류를 공급하지 않아야 하지만 전동기 관성에 의해 발전기처럼 동작하는 경우, 신재생 에너지 전원을 선로에 연계하기 위해 Yg-Δ 변압기를 설치

하여 영상 임피던스 크기가 매우 작아진 경우 고장점 부하측 N상 고장전류 크기가 증가할 수 있다.

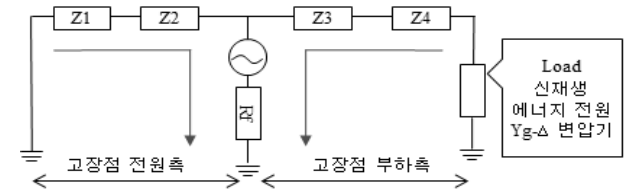


그림 3 지락 고장 발생 시 영상분 회로
Fig. 3 Ground circuit in the event of ground fault

2.2 제안하는 고장구간 판단 방법

2.2.1 중앙집중식 고장구간 판단

배전선로에 신재생 에너지 전원이 도입됨에 따라 보호기기 오동작이 빈번하게 발생하였다. 보호기기 오동작을 해결하기 위해 보호기기가 경험한 고장전류에 대하여 방향성 정보를 파악하려 하였다[6]. 이와 같이 배전선로에 산재되어 있는 모든 단말장치 고장전류의 방향성 정보를 파악하여 고장구간을 판단할 수도 있다. 하지만 배전선로에 설치된 단말장치를 모두 교체한다면 엄청난 비용과 많은 시간이 소비될 것으로 예상된다.

그림 4와 같이 배전선로에 설치된 단말장치를 교체하지 않고, 취득된 데이터를 중앙제어장치로 전달하여 중앙제어장치의 어플리케이션이 고장구간을 판단한다. 단말장치에서 취득된 정보에는 3상전압 크기, 3상전류 크기, 3상역률, 영상전류 크기 및 고장표시기 동작정보 등이 포함되어 있다. 이 중에서 3상전류 및 영상전류 크기는 정확하지만, 3상전압 크기와 고장표시기 정보는 신뢰하기 어렵고 역률은 각 상별로 계산되므로 상간에 비교할 수 없어서 활용이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 3상전류 크기와 영상전류 크기만을 이용한 고장구간 판단방법을 제시한다.

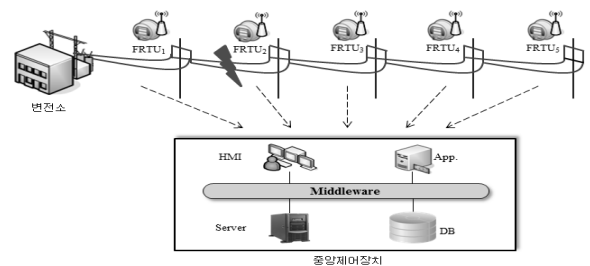


그림 4 중앙집중식 고장구간 판단 방법
Fig. 4 The Centralized method for fault identification

2.2.2 신재생 에너지 전원에 의한 N상 고장전류 변화

그림 5는 고장점 부하측에 부하와 신재생 에너지 전원이 연계된 경우를 나타낸 것이다. 지락 고장이 발생한 경우 고장점 임피던스의 최대값은 30[Ω]이다. 부하 임피던스가 고장점 임피던스보다 같거나 작아지기 위해서는 한 구간의 부하

량이 중부하 이상이거나 고장점 부하측의 총 부하량이 18,000[kVA] 이상 되어야 한다. 하지만 배전선로 한 구간의 최대 부하량은 3,000[kVA]이다. 따라서 선로 총 부하량이 18,000[kVA] 이상 될 수 없다. 부하와 신재생 에너지 전원은 고장점 부하측의 N상 고장전류 크기 증가에 대한 영향이 크지 않다.

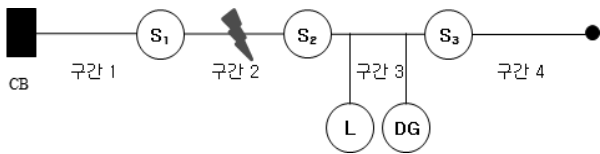


그림 5 신재생 에너지 전원이 연계된 경우
Fig. 5 The case of link with renewable energy resources

그림 6은 그림 5와 같이 부하와 신재생 에너지 전원이 연계되어 있는 경우 고장점 전원측과 부하측에 대한 벡터도를 나타내고 있다. 이 경우 고장점 양단에 있는 S₁과 S₂의 N상 고장전류 크기의 차이는 크다. 따라서 N상 고장전류 크기만을 비교하여 고장구간을 판단할 수 있다.

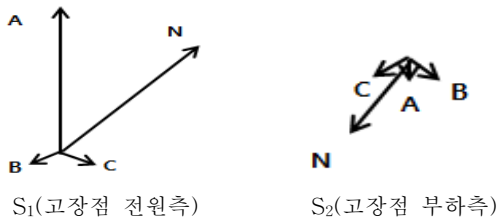


그림 6 신재생 에너지 전원에 의한 전류 벡터도
Fig. 6 The current vector by renewable energy resources

그림 7은 고장점 부하측에 Yg-Δ 변압기가 연계된 경우이다. Yg-Δ 변압기의 용량에 따라 고장점 부하측의 영상 임피던스가 고장점 임피던스보다 작거나 같아지는 경우가 발생한다. 따라서 S₂의 N상 고장전류 크기와 방향 변화에 영향을 준다.

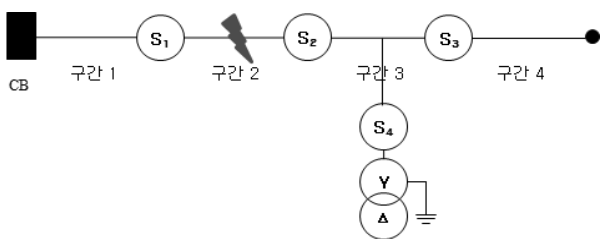


그림 7 Yg-Δ 변압기가 연계된 경우
Fig. 7 The case of link with Yg-Δ Transformer

그림 8은 그림 7과 같이 Yg-Δ 변압기가 연계되어 있는 경우 고장점 전원측과 부하측에 대한 벡터도를 나타내고 있다. 고장점 임피던스가 크고, 변압기 용량이 큰 경우 고장점 전원측과 부하측의 N상 고장전류 크기 차이가 작거나 같아진다. 이 경우 N상 고장전류 크기만을 비교하여 고장구간을 판단하기 어렵다. 하지만 지락 고장이 발생한 A상 고장전류

크기는 변압기 용량에 거의 영향을 받지 않는다. 따라서 고장점 전원측과 부하측의 상 고장전류 크기는 다르다.

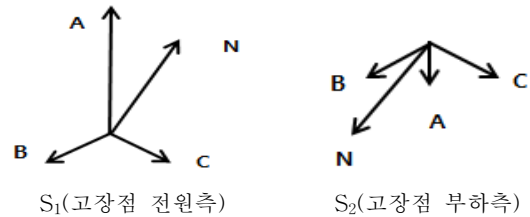


그림 8 Yg-Δ 변압기에 의한 전류 벡터도
Fig. 8 The current vector by Yg-Δ Transformer

한전 표준의 필수사항에 따라서 배전선로에 신재생 에너지 전원을 연계하기 위해서 Yg-Δ 변압기를 이용할 경우 전원측에 연계 개폐기를 설치해야 한다. 그림 7의 S₄는 연계 개폐기를 나타내고 있다.

그림 7에서 상 고장전류 크기를 비교하기 위해 A, B, C 상 중 가장 큰 값을 선택한다. 한 구간을 둘러싸고 있는 개폐기 중 가장 큰 고장전류를 가진 개폐기의 상 고장전류에서 나머지 개폐기의 상 고장전류 합을 뺀다. 표 1은 지락 고장이 발생하고, 고장점 부하측에 Yg-Δ 변압기가 연계된 경우 단말장치에서 취득된 모든 상의 고장전류를 나타내고 있다. 고장점인 구간 2를 둘러싸고 있는 S₁과 S₂는 고장인 A상이 470[A], 95[A]로 고장전류가 가장 크다. 구간 2의 상 고장전류 크기의 차는 375[A]이고, N상 고장전류 크기의 차는 5[A]이다. 구간 3을 둘러싸고 있는 개폐기 중 가장 큰 상 고장전류를 가진 것은 S₄로 96[A]이다. 나머지 S₂와 S₃의 상 고장전류 합은 95[A]로 상 고장전류 크기의 차는 1[A]이고, N상 고장전류 크기의 차는 0[A]이다.

표 1 각각의 FRTU별 전류값
Table 1 The value of each FRTU current

단말장치 상	FRTU ₁ (S ₁)	FRTU ₂ (S ₂)	FRTU ₃ (S ₃)	FRTU ₄ (S ₄)
A	470	95	0	95
B	94	92	0	95
C	93	93	0	96
N	280	285	0	285

선로에 Yg-Δ 변압기가 있는 경우 지락 고장이 발생하더라도 고장점 전원측과 부하측의 상 고장전류 크기의 차와 N상 고장전류 크기의 차는 동시에 같아질 수 없다.

본 논문에서 제안하는 방법은 지락 고장이 발생한 경우 단말장치에서 취득된 A, B, C, N상 고장전류 크기의 차를 이용하여 고장구간을 판단한다. 고장전류 크기의 차에 대한 기준이 애매모호하기 때문에 Fuzzy Logic을 이용한다.

2.2.3 Fuzzy Logic을 이용한 고장구간 평가

Fuzzy Logic은 입력 데이터에 대한 ‘크다’, ‘작다’, ‘보통이

다'의 기준을 세우고 평가하여 정량적인 값을 산출하는 인공지능 기법이다. 이를 위해 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화 3단계로 구분할 수 있다. Fuzzy Logic을 이용하기 위해 그림 9와 같이 멤버십 함수를 설계하였다.

퍼지화 단계에서는 그림 9의 조건부 멤버십 함수를 이용하여 입력 데이터에 대한 기율기를 계산하고 소속도를 결정한다. 이때 x축은 A, B, C상과 N상 고장전류 크기의 차, y축은 0에서 1까지의 소속도를 나타내고 있다.

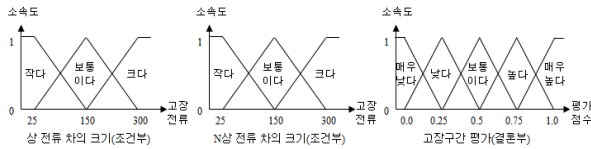


그림 9 멤버십 함수
Fig. 9 Membership function

퍼지 추론 단계에서는 조건부 멤버십 함수를 통해 산출된 기율기를 이용하여 그림 9의 결론부 멤버십 함수에 소속도를 결정하고, 퍼지 룰과 Min-Max Composition을 이용하여 결론부 멤버십 함수의 면적을 구한다. 전원측과 부하측의 상 및 N상 고장전류 크기의 차이가 클수록 고장구간일 가능성이 크기 때문에 표 2와 같이 퍼지 룰을 설계하였다.

조건부 멤버십 함수에서 산출된 기율기를 비교하여 작은 값을 각각의 퍼지 룰로 결정한다. 조건부 멤버십 함수의 '크다' 영역에 상 고장전류 크기의 차가 기율기가 0.5이고, N상 고장전류 크기의 차가 0.7인 경우 퍼지 룰의 '매우 높다'는 0.5가 된다.

퍼지 룰의 모든 영역에 값을 결정하고, 같은 영역에 대해 비교하여 큰 값을 결론부 멤버십 함수의 소속도로 결정한다. 표 2의 퍼지 룰에서 '매우 높다' 영역은 2개이다. 상 고장전류 크기의 차가 '크다', N상 고장전류 크기의 차가 '보통이다' 인 경우가 0.4이고, 상 및 N상 고장전류 크기의 차가 둘 다 '크다'인 경우 0.6이면, 결론부 멤버십 함수의 '매우 높다' 소속도는 0.6이 된다.

표 2 퍼지 룰
Table 2 Fuzzy Rule

	N상	작다	보통이다	크다
상	작다	매우 낮다	보통이다	높다
	보통이다	낮다	보통이다	높다
	크다	높다	매우 높다	매우 높다

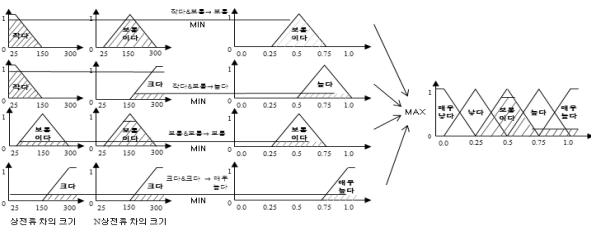


그림 10 Min-Max Composition을 이용한 퍼지추론
Fig. 10 Using Min-Max Composition for fuzzy inference

비퍼지화 단계에서는 결론부 멤버십 함수의 면적을 정량적인 값으로 산출하기 위해 무게중심법을 이용한다. n은 결론부 멤버십 함수의 x축 개수, xi는 i번째 지점의 x축 값, f(xi)는 xi가 해당하는 y축 값을 나타내고 있다.

$$center\ gravity = \frac{\sum_{i=1}^n (f(x_i) \times x_i)}{\sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad (1)$$

2.3 사례연구

본 논문에서 제안하는 고장구간 판단 방법의 유효성 검증을 위해 Matlab/Simulink를 이용하여 그림 11과 같은 예제계통을 모델링하였다. 예제계통의 선종은 ACSR 160[mm²], 총 공장은 20[km], 구간별 공장은 5[km], 고장발생점은 선로 인출단으로부터 7.5[km]에서 발생시켰다. 그림 11에서 고장점 부하측 구간 3는 Yg-△변압기, 구간 4에는 부하를 연결하였다. S3과 Yg-△ 변압기 사이에는 고장이 발생할 수 없다고 가정한다. 부하는 표 3과 같이 선로에 부하가 없는 경우, 고장점 부하측에 부하가 있는 경우, 고장점 전원측과 부하측에 모두 부하가 있는 경우로 시뮬레이션하였다. 부하는 각각 3,000[kVA]이다.

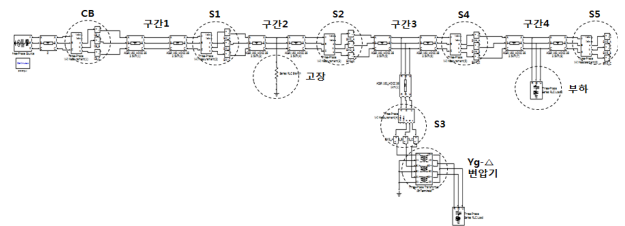


그림 11 예제계통 모델링
Fig. 11 Modeling of test system

표 3 부하연결 구간 변경
Table 3 Change of Load connection section

	구간	구간 1 (고장점 전원측)	구간 4 (고장점 부하측)
Case			
Case 1		X	X
Case 2		X	O
Case 3		O	O

2.3.1 고장점의 N상 고장전류 크기의 차가 큰 경우

표 3의 Case 2와 같이 고장점 부하측에 부하를 연결하고, 고장점 임피던스 크기가 30[Ω], Yg-△변압기 용량은 500[kVA]인 경우 고장발생점 전원측과 부하측 개폐기 상 및 N상 고장전류 크기의 차가 가장 크다.

그림 12의 구간 2에서 S1 상 고장전류 중 가장 큰 값은 A상 606[A], S2는 B상 133[A]이다. 이때 상 고장전류 크기의 차는 473[A], N상 고장전류 크기의 차도 338[A]로 편차

가 가장 크다. 구간 3에서는 S₂ 상 고장전류 중 가장 큰 값은 B상 133[A], S₃은 B상 37[A], S₄도 B상 103[A]이다. 상 고장전류가 가장 큰 S₂에서 S₃, S₄의 상 고장전류 합을 뺀다. 구간 3의 상 고장전류 크기의 차는 7[A], N상 고장전류 크기의 차는 10[A]이다.

기존의 YES-NO방식을 이용하여 고장구간을 판단하면 고장표시기가 마지막으로 동작한 S₂와 고장표시기가 동작하지 않은 S₄ 사이의 구간 3을 고장구간으로 잘못 판단한다. 이때 S₃는 Yg-△변압기를 선로에 연결하기 위한 연계 개폐기이기 때문에 고장구간 판단 시 제외한다. 하지만 제안하는 방식은 상 및 N상 고장전류 크기의 차를 비교하여 고장구간을 판단한다. 고장구간을 판단하기 위해 Fuzzy Logic을 이용하여 산출된 평가 결과를 비교하여 가장 큰 값의 구간이 고장구간으로 결정된다. 평가 결과는 구간 1은 0.09, 구간 2는 0.93, 구간 3은 0.09, 구간 4는 0.25이다. 이 중 평가 결과가 가장 큰 값을 가지는 구간은 구간 2로 고장구간을 정확하게 판단한다.

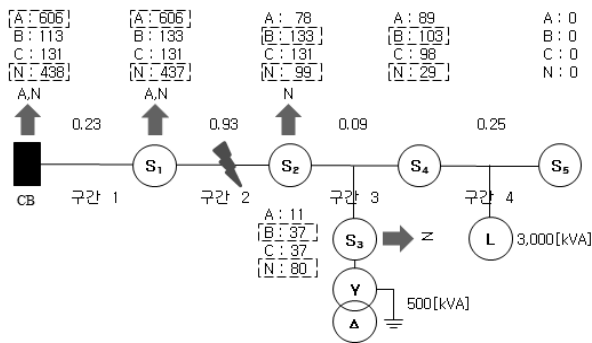


그림 12 N상 전류 차이가 큰 경우
Fig. 12 The case of Hither difference between N currents

표 4 고장구간판단 결과 비교(Case 2)
Table 4 Comparison fault section identification(Case 2)

방식		구간			
		구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
YES-NO	판단결과	Y-Y	Y-Y	Y-N	N-N
Fuzzy Logic	평가결과	0.09	0.93	0.09	0.25
	N상 전류 차의 크기	1	338	10	29
	상 전류 차이 크기	0	473	7	103

표 5는 고장점 임피던스 크기가 30[Ω], Yg-△변압기 용량이 500[kVA] 일 때 Case 1과 Case 3의 상별 고장전류, 표 6은 Case 1과 Case 3의 고장구간판단 결과를 나타내고 있다.

Case 1과 Case 3에서도 고장점 부하측 개폐기 S₂의 N상 고장표시기가 오동작하여 구간 3을 고장구간으로 잘못 판단한다. 하지만 제안하는 방법을 이용하면 평가 결과가 0.93으로 가장 큰 값을 가지는 구간 2를 고장구간으로 판단한다.

표 5 Case별 전류값(변압기 용량 500[kVA])
Table 5 The value of each case current(Tr. 500[KVA])

Case	단말장치 상	FRTU ₁	FRTU ₂	FRTU ₃	FRTU ₄
		(S ₁)	(S ₂)	(S ₃)	(S ₄)
Case 1	A	538	14	14	0.4
	B	39	40	40	0.4
	C	40	40	39	0.4
	N	414	88	89	0.08
Case 3	A	600	78	11	88
	B	132	132	36	102
	C	129	129	36	97
	N	432	97	79	28

표 6 Case별 고장구간판단 결과(변압기 용량 500[kVA])
Table 6 Result of fault section identification(Tr. 500[KVA])

Case	방식	구간			
		구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
Case 1	YES-NO	Y-Y	Y-Y	Y-N	N-N
	Fuzzy Logic	0.09	0.93	0.09	0.09
Case 3	YES-NO	Y-Y	Y-Y	Y-N	N-N
	Fuzzy Logic	0.23	0.93	0.09	0.25

2.3.2 고장점의 N상 고장전류 크기의 차가 작은 경우

표 3의 Case 1과 같이 무부하이고, 고장점 임피던스 크기가 30[Ω], Yg-△변압기 용량은 7,500[kVA]인 경우 고장발생점 전원측과 부하측 N상 고장전류 크기의 차가 같거나 비슷해지는 경우가 발생한다. 하지만 고장발생점 전원측과 부하측 상 고장전류 크기의 차는 다르다.

그림 13에서 지락 고장이 발생한 구간 2의 S₁과 S₂의 N상 고장전류 크기는 282[A]로 동일하여 N상 고장전류 크기의 차는 0[A]이다. 하지만 S₁ A상이 488[A], S₂ B상 107[A]로 상 고장전류 크기의 차는 다르다. 표 7에서 나타낸 바와 같이 N상 고장전류 크기의 차는 구간 3, 구간 4가 0.02[A]로 가장 크다. 하지만 상 고장전류 크기의 차는 구간 1은 0, 구간 2는 381[A], 구간 3은 1.4[A], 구간 4는 0.4[A]로 구간 2에서 가장 크다.

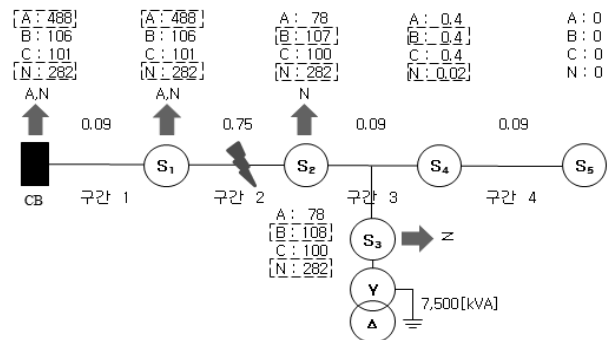


그림 13 N상 전류 차이가 작은 경우
Fig. 13 The case of lower difference between N currents

기존 방식은 고장표시기가 동작한 S₂와 고장표시기가 동작하지 않은 S₄ 사이의 구간 3을 고장구간으로 잘못 판단하지만, 제안하는 방식을 이용하면 구간 2를 고장구간으로 정확하게 판단한다.

표 7 고장구간판단 결과 비교(Case 1)

Table 7 Comparison fault section identification(Case 1)

구간 방식		구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
		YES-NO	판단결과	Y-Y	Y-Y
Fuzzy Logic	평가결과	0.09	0.75	0.09	0.25
	N상 전류 차의 크기	0	0	0.02	0.02
	상 전류 차이 크기	0	381	1.4	0.4

표 8은 고장점 임피던스 크기가 30[Ω], Yg-Δ변압기 용량이 7,500[kVA] 일 때 Case 2와 Case 3의 상별 고장전류, 표 9는 Case 2와 Case 3의 고장구간판단 결과를 나타내고 있다.

표 9에서 나타낸 바와 같이 고장점 부하측의 N상 고장전류 크기가 증가하더라도 제안하는 방법을 이용하면 평가 결과가 0.75로 가장 큰 값을 가지는 구간 2를 고장구간으로 판단한다.

표 8 Case별 전류값(변압기 용량 7,500[kVA])

Table 8 The value of each case current (Tr. 7,500[KVA])

Case	단말장치	FRTU ₁	FRTU ₂	FRTU ₃	FRTU ₄
	상	(S ₁)	(S ₂)	(S ₃)	(S ₄)
Case 2	A	563	42	74	92
	B	187	187	103	96
	C	167	167	96	101
	N	272	276	272	8
Case 3	A	555	41	73	91
	B	184	185	101	95
	C	165	165	94	100
	N	270	272	267	7

표 9 Case별 고장구간판단 결과(변압기 용량 7,500[kVA])

Table 9 Result of fault section identification(Tr. 7,500[KVA])

Case	구간	구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
	방식	YES-NO	Y-Y	Y-Y	Y-N
Case 2	Fuzzy Logic	0.09	0.75	0.09	0.23
	YES-NO	Y-Y	Y-Y	Y-N	N-N
Case 3	Fuzzy Logic	0.23	0.75	0.09	0.23
	YES-NO	Y-Y	Y-Y	Y-N	N-N

3. 결 론

본 논문에서는 배전선로에 신재생 에너지 전원을 연결하기 위해 Yg-Δ 변압기가 연계되어 있고, 지락 고장이 발생한 경우 고장구간을 판단하기 위한 방법을 제안하였다. 고장점 부하측에 변압기가 연계된 경우 N상 고장전류의 크기가 증가하여 고장표시기가 오동작한다. 이 경우 기존 방식에서는 정확한 고장구간을 판단하기 어렵다. 기존 방식의 고장구간 판단 오류를 해소하기 위해 상 및 N상 고장전류 크기의 차를 비교하여 고장구간을 판단한다. 고장전류 크기의 차에 대한 기준을 정하기 위해 Fuzzy Logic을 이용한다. 제안하는 고장구간 판단 방법의 유효성은 검증하기 위해 Matlab/Simulink를 이용하여 예제계통을 생성하고, 지락 고장을 모의한 후 모든 상의 고장전류를 취득하였다. 취득한 고장전류를 이용하여 제안하는 알고리즘에 적용한 결과 고장구간을 정확하게 판단함을 확인하였다. 하지만 모의한 배전선로 Yg-Δ 변압기 2차측에는 신재생 에너지 전원이 연계되어 있지 않았다. 신재생 에너지 전원에 의한 상 고장전류 변화를 파악하기에 어려움이 있었다. 향후 신재생 에너지 전원을 Yg-Δ 변압기 2차측에 연계한 후 상 고장전류가 변화하더라도 제안하는 방법을 이용하면 정확한 고장구간을 판단을 할 것으로 보여진다.

References

- [1] B. N. Ha, J. H. Lee, N. H. Cho, "The Algorithm for Feeder Automation in the New Distribution Automation System," KIEE Summer Conf., pp. 841-843, 1998.
- [2] Y. S. Go "The FRTU-Based Intelligent Fault Location Determination Strategy in Ubiquitous Based Distribution Systems," Journal of Electrical Engineering & Technology. KIEE, vol. 3, No. 2, pp. 192-198, 2008.
- [3] M. S. Choi, S. J. Lee, D. S. Lee, B. G. Jin, "A New Fault Location Algorithms Using Direct Circuit Analysis for Distribution Systems" IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, No. 1, pp. 35-41, 2004.
- [4] S. J. Lee, M. S. Choi, S. H. Kang, B. G. Jin, D. S. Lee, B. S. Ahn, N. S. Yoon, H. Y. Kim, S. B. Wee, "An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution Systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, No. 2, pp. 524-532, 2004.
- [5] I. H. Lim, T. S. Sidhu, M. S. Choi, S. J. Lee, Hong, S. S. I. Lim, S. W. Lee "Design and Implementation of Multiagent-Based Distributed Restoration system in DAS," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 28, No. 2, pp. 585-593, 2013.
- [6] W. W. Jung, H. J. Lee, S. C. Kwon, W. K. Chae, "Application of Directional Over Current Protection Schemes Considering the Fault Characteristics in the Distribution System with Dispersed Generation," Journal of KIIEE, vol. 24, No. 9, pp. 97-107, 2010.

저 자 소 개



이 한 성(Han-Seong Lee)

1987년 6월 16일생. 2012년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2014년 동 대학원 첨단공학과 졸업(석사).

Tel : (055)275-3206

E-mail : leehanseong0616@gmail.com



전 철 우(Cheol-Woo Jeon)

1989년 6월 29일생. 2014년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2014년 동 대학원 첨단공학과 재학(석사).

Tel : (055)275-3206

E-mail : jcw8928@gmail.com



김 영 국(Young-Kook Kim)

1952년 7월 8일생. 1975년 경북대학교 물리학과 졸업. 1977년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 물리학과 졸업(박사). 현재 경남대학교 전기공학과 교수.

Tel : (055)241-6311

E-mail : youngkim@kyungnam.ac.kr



임 성 일(Seong-II Lim)

1967년 7월 10일생. 1994년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대학교 전기공학과 교수.

Tel : (055)249-2630

E-mail : slim@kyungnam.ac.kr