

배전자동화시스템에서 1선 지락 고장 시 고장구간 판단방법

(Faulted Section Identification Method in Case of Single Line to Ground Fault)

김병구* · 김영국**

(Byeong-Goo Kim · Young-Kook Kim)

Abstract

The DAS(Distribution Atomization System) determines a faulted section by using a FI(Fault Indicator) when the fault is occurred on the distribution networks. Sometimes FI is malfunction when the ground fault is occurred on a the distribution networks. As a result difficulties to make decision of faulted section. The cause of the FI malfunction is that the determination using the limited information of the installed area. In this study, a method is proposed to determine faulted section using the amount of the fault current instead of using the FI. This method is determinated faulted section using the fuzzy inference for the collected information from the all switches. The usefulness of the proposed algorithm is verified through the simulation test using PSCAD/EMTDC.

Key Words : Distribution Automation System, Fault Indicator, YES-NO Method, Fuzzy Logic Method

1. 서 론

배전자동화 시스템은 원격에서 배전계통의 운전 상태를 감시하고, 개폐기를 제어하는 시스템이다. 배전자동화 시스템에는 많은 기능들이 있으며, 중요한 기능중 하나가 정전복구이다. 정전복구 기능은 배전계통에 고장이 발생 하였을 때, 정전구역을 최소화 하고 신속히 전원공급을 재개하는 것이 목적이다. 정전복구 기능이 제대로 동작하기 위해서는 정확한 고장구간을 찾는 것이 중요하기 때문에 고장구간 판단 기능

은 배전자동화 시스템에 없어서는 안 될 중요한 기능중 하나이다. 현재 한전에서는 고장표시기 동작 유무를 이용한 YES-NO방식을 고장구간을 판단하는데 사용되고 있다[1]. YES-NO방식의 고장구간 판단 방법은 고장표시기가 오동작했을 경우 고장구간을 오판하는 경우가 발생한다. 고장 표시기 오동작의 대표적인 예는 1선 지락고장이 발생하였을 때 고장구간 이후에 설치되어 있는 N상 고장표시기의 오동작을 들 수 있다.

방사상의 배전계통에서 고장구간을 판단하기 위한 방법으로 배전 SCADA기능을 이용한 방법[2]과 1선 지락 고장 시 뉴로-퍼지를 이용한 방법[3] 및 신경 회로망 기법을 이용한 방법[4]이 선행되었다. 그 외에도 인공지능 기법을 이용하여 고장구간을 검출하는 방법 [5-7]이 있었고, 상시 연계점을 이동하여 고장구간을

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 경남대학교 전기공학과 교수

Tel : 055-275-3206, Fax : 0505-999-2161

E-mail : youngkim@kyungnam.ac.kr

접수일자 : 2011년 11월 29일

1차심사 : 2011년 12월 2일, 2차심사 : 2012년 4월 2일

심사완료 : 2012년 4월 26일

판단하는 연구[8]가 이루어졌다.

본 논문에서는 1선 지락 고장 발생 시 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류 크기를 고장구간 판단에 사용하고, 퍼지 로직을 이용하여 고장구간을 판단하는 방법을 제안한다. 기존 YES-NO방식에서 고장표시기가 오동작하는 경우에도 적용 가능한 방법을 제안하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장은 현재 배전계통의 고장구간 판단 기법에 대해 설명한다. 2.2장은 현재 배전계통의 고장구간 판단기법에 대한 문제점에 대해 설명한다. 2.3장은 1선 지락 고장 시 퍼지 로직을 이용하여 고장구간을 판단하는 기법에 대해 설명한다. 2.4장은 사례연구를 통해 퍼지 로직 알고리즘이 정확한 고장구간을 판단하는지 검증한다.

2. 본 론

2.1 기존 고장구간 판단 방법 및 문제점

기존의 Yes-No 고장구간 판단 방법은 단말장치로부터 취득되는 고장표시기 동작 정보를 이용하고 있다. 단말장치는 고장전류를 경험하였을 때 고장표시기가 SET 상태가 되고, 고장 전류를 경험하지 않은 경우에는 RESET 상태가 된다. 단말장치는 고장표시기 SET, RESET 정보를 중앙제어장치로 전송하고, 중앙제어장치는 고장표시기가 SET된 개폐기와 RESET된 개폐기 사이를 고장구간으로 판단한다.

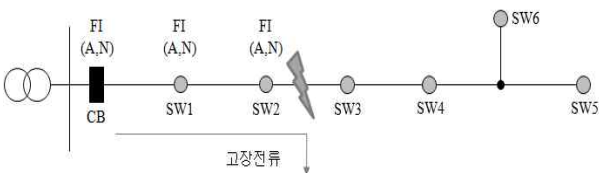


그림 1. 기존 고장구간 판단 방법
Fig. 1. Conventional method for faulted section identification

그림 1에서 보는바와 같이 개폐기 SW₂와 SW₃사이의 구간에서 A상 1선 지락 고장이 발생하면, CB,

SW₁, 그리고 SW₂는 고장전류를 경험하기 때문에 A, N상 고장표시기가 동작한다. SW₃, SW₄, SW₅, 그리고 SW₆은 고장전류를 경험하지 않기 때문에 고장표시기가 동작하지 않는다. 따라서 마지막으로 동작한 SW₂와 고장표시기가 동작하지 않은 SW₃ 사이의 구간을 고장구간으로 판단한다.

고장이 발생하면 전원과 고장구간 사이에 설치되어 있는 고장표시기만 동작해야 하지만 고장구간 이후에 설치되어 있는 고장표시기가 오동작하는 경우가 존재한다. 그림 2에서 보는 바와 같이 개폐기 SW₂와 SW₃ 사이에서 A상 1선 지락 고장이 발생하였을 때 고장구간 이후에 설치되어 있는 SW₃, SW₄에서도 N상 고장표시기가 동작한다. 고장구간 이후에 연결되어 있는 선로에 흐르는 전류를 살펴보면 다음과 같다. A상은 전류가 흐르지 않으며, B상과 C상은 정상상태와 동일한 전류가 흐른다. 그 결과 3상 불평형 상태가 되어 N상에도 전류가 흐르게 되고 이로 인해 N상 고장표시기가 오동작하게 된다. 이 경우 중앙제어장치는 단말장치로부터 취득되는 고장표시기 SET, RESET 정보만 이용하여 고장구간을 판단하기 때문에 개폐기 SW₄, SW₅ 사이에서 고장이 발생한 것으로 오판하게 된다.

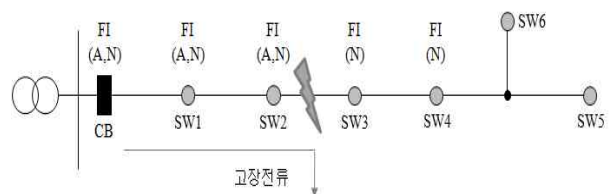


그림 2. 기존 고장구간 판단 방법의 문제점
Fig. 2. Problem of conventional method

2.2 퍼지로직을 이용한 고장구간 판단

본 논문에서는 단말장치에서 취득되는 영상전류의 크기를 중앙제어장치로 전송하고, 중앙제어장치에서는 단말장치에서 취득되는 영상전류의 크기를 종합적으로 고려해 고장구간을 판단한다. 영상전류의 크기라는 것은 그 경계가 애매모호하기 때문에 퍼지로직 [9]을 이용하여 애매모호한 입력 정보들로부터 고장구

간일 가능성을 지수화하고, 이를 비교하여 고장구간을 판단한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 고장구간 판단방법 절차로써 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화 단계로 구성되어 있다.

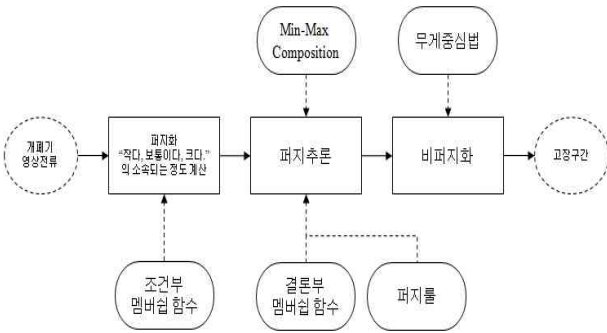


그림 3. 고장구간 판단 절차
Fig. 3. Process of faulted section identification

2.2.1 퍼지화(Fuzzification)

퍼지화는 기준이 애매모호한 개폐기 영상전류 입력 정보들을 조건부 멤버십 함수를 이용하여 ‘작다, 보통이다, 크다’라는 기준에 소속되는 정도를 계산하는 단계이다. 그림 4는 영상전류의 크기를 비교할 때 사용할 조건부 멤버십 함수를 나타내고 있다. 전원측 개폐기의 영상전류와 부하측 개폐기의 영상전류를 비교하기 때문에 2개의 조건부 멤버십 함수를 설계하였다.

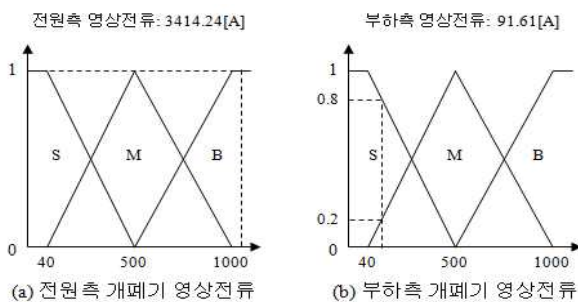


그림 4. 퍼지화 단계
Fig. 4. Step of fuzzification

조건부 멤버십 함수는 ‘Small(S), Medium(M), Big(B)’ 3개의 영역으로 구성하였으며, x축은 영상전류의 크기를 나타내고, y축은 소속도를 나타낸다. 전

원측 개폐기 영상 전류가 3414.24[A]인 경우 그림 4 (a)에서 보는바와 같이 ‘Big(B)’ 영역에만 속하고 소속도는 1이 된다. 부하측 개폐기 영상전류 크기가 91.61[A]일 때는, 그림 4 (b)에서 보는 바와 같이 ‘Small(S)’과 ‘Medium(M)’ 영역에 속하게 되고 소속도는 각각 0.8과 0.2가 된다.

2.2.2 퍼지 추론(Fuzzy Inference)

퍼지 추론은 퍼지화 단계에서 계산된 데이터와 퍼지룰을 이용하여 결론부 멤버십 함수의 각 영역에 대한 소속도를 결정하고, 면적을 구성하는 단계이다. 가장 먼저 전원측 개폐기와 부하측 개폐기의 크기를 비교하여 결론부 멤버십 함수의 영역을 결정한다. 결론부 멤버십 함수의 영역을 결정하기 위해서는 퍼지룰이 필요하다. 일반적으로 고장이 발생하면 고장구간 이전의 영상전류가 고장구간 이후의 영상전류 보다 크고, 고장점의 저항이 있을 경우 고장구간 이전의 영상전류가 다소 작아지기 때문에 표 1과 같이 퍼지룰을 설계하였다. 만약 전원측 개폐기의 퍼지화 결과 데이터가 Big(B)이고, 부하측 개폐기의 퍼지화 결과 데이터가 Small(S)인 경우를 표 1의 퍼지룰에 적용하면 결론부 멤버십 함수의 영역은 High(H)가 된다.

표 1. 퍼지 룰
Table 1. Fuzzy Rule

부하측 / 전원측	Small(S)	Medium(M)	Big(B)
Small(S)	Low(L)	Low(L)	Low(L)
Medium(M)	Medium(M)	Low(L)	Low(L)
Big(B)	High(H)	Medium(M)	Low(L)

결론부 멤버십 함수의 각 영역에 대한 소속도와 결론부 멤버십 함수의 면적 구성은 Min-Max Composition 방법을 사용하였다. 그림 5에서 보는바와 같이 전원측 개폐기의 영상전류가 3414.24[A]이고, 부하측 개폐기의 영상전류가 91.61[A]인 경우 전원측 개폐기는 Big(B) 영역에 속하고 부하측 개폐기는 Small(S), Medium(M) 영역에 속한다. 따라서 Big과

Small인 경우와 Big과 Medium인 경우가 존재하며 각각의 경우를 퍼지룰에 적용해 보면 결론부 멤버십 함수의 영역은 각각 High와 Low가 된다. 전원측 개폐기가 Big이고 부하측 개폐기가 Small인 경우에는 Big 영역의 소속도와 Small영역의 소속도 중에서 작은값이 결론부 멤버십 함수의 소속도가 된다. 그림 5에서 Big(B) 영역의 소속도는 1.0이고, Small(S) 영역의 소속도는 0.8이기 때문에 작은 값인 0.8을 결론부 멤버십 함수 High영역의 소속도로 결정한다. Big과 Medium인 경우도 동일한 방법으로 결론부 멤버십 함수의 소속도를 결정한다.

결론부 멤버십 함수의 면적을 구성할 때 서로 겹치는 영역이 존재할 경우에는 큰 값을 사용하여 면적을 구성한다. 그림 5에서 Medium영역과 High 영역에서 겹치는 부분이 발생하였고, High영역의 소속도가 크기 때문에 겹치는 부분의 면적은 High영역으로 구성된다.

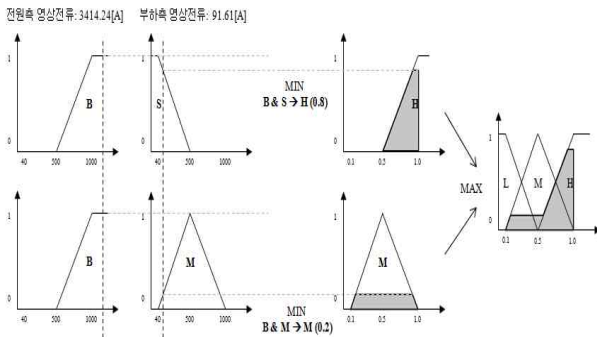


그림 5. 퍼지 추론 단계
Fig. 5. Step of fuzzy inference

2.2.3 비퍼지화(Defuzzification)

비퍼지화는 퍼지추론 결과 데이터를 정량적인 데이터로 변환하는 단계로써 무게 중심법을 사용하였다. 퍼지 추론 단계를 통해 구성된 결론부 멤버십 함수의 면적의 무게중심을 계산하며, 계산 결과가 고장구간 평가 지수가 된다. 식 (1)은 무게 중심계산수식을 나타내고 있다.

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

n은 결론부 멤버십 함수의 x축을 분할한 개수를 나타내고 있으며, xi는 결론부 멤버십 함수에서 i번째 지점의 x축 값이다. 또한 f(xi)는 xi에 해당하는 결론부 멤버십 함수의 y축 값이다. 그림 6은 무게중심법을 이용하여 각 구간의 고장구간을 평가한 결과를 나타내고 있다. 그림 6에서 보는바와 같이 고장구간 평가 값이 구간₁은 0.17, 구간₂는 0.69, 구간₃은 0.31, 구간₄는 0.26으로 계산되었다. 계산된 값들 중에서 가장 큰 값을 가지는 구간을 고장구간으로 판단한다.

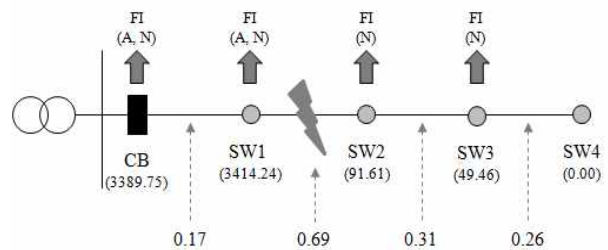


그림 6. 퍼지 로직을 이용한 고장구간 판단
Fig. 6. Fuzzy logic based faulted section identification

2.4 사례연구

본 논문에서 제안하고 있는 고장구간 판단 기법의 유효성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 전력해석용 툴을 이용하여 그림 7과 같은 배전계통을 모델링하였다. 예제계통의 총 8개의 구간으로 구성하였으며 구간의 선종은 ACSR160[mm]로 설정하였고, 구간 1, 2, 4, 5의 공장은 1[km], 구간 3, 6, 7, 8의 공장은 2[km]로 모델링하였다.

모델링 된 계통의 모든 구간에서 1선 지락고장이 발생한 경우를 모의한 결과 표 1에서 보는 바와 같은 영상전류 분포를 가지는 것을 확인하였다.

일반적으로 N상 고장표시기의 경우 80[A] 이상의 영상전류가 흐르면 동작하도록 설정되어 있다. 표 1과 같은 영상전류의 분포를 가질 경우 기존의 YES-NO 방식을 사용한다면 구간 Z₁에서 고장이 발생하였을 경우 개폐기 S₂, S₃의 N상의 고장표시기가 동작하기 때문에 고장표시기의 오동작으로 인해 고장구간을 Z₄로 오판할 가능성이 크다.

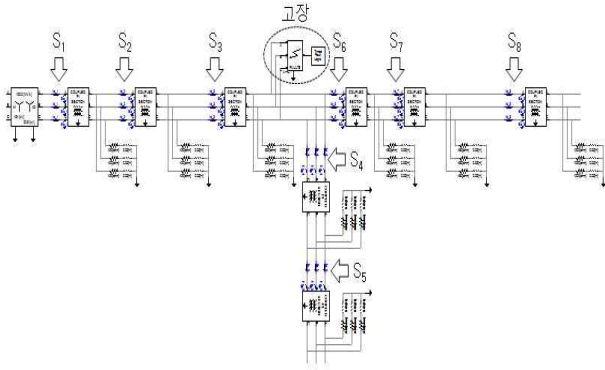


그림 7. 예제계통 모델링
Fig. 7. Modeling of test system

표 1. 고장구간에 따른 개폐기 영상전류
Table 1. Zero phase current of each switches

고장 구간	개폐기별 영상전류 크기							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Z1	6321	122.5	97.8	58.4	20.5	10.4	2.1	00.6
Z2	3948	3836	64.7	58.4	20.5	10.4	2.1	00.6
Z3	3219	3146	2989	58.4	20.5	10.4	2.1	00.6
Z4	3089	2851	2673	2538	20.5	10.4	2.1	00.6
Z5	2968	2874	2783	2648	2592	10.4	2.1	00.6
Z6	2918	2865	2762	25.6	23.5	2513	2.1	00.6
Z7	2869	2817	2739	58.4	20.5	2667	2592	00.6
Z8	2818	2751	2693	58.4	20.5	2613	2546	2498

표 2. 고장구간 평가 결과
Table 2. Result of fault section evaluation

고장 구간	고장구간 판단 지수							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Z1	0.72	0.27	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Z2	0.16	0.8	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Z3	0.16	0.16	0.82	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Z4	0.16	0.16	0.16	0.82	0.16	0.16	0.16	0.16
Z5	0.16	0.16	0.16	0.16	0.82	0.16	0.16	0.16
Z6	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.82	0.16	0.16
Z7	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.82	0.16
Z8	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.82

고장표시기 오동작 문제를 해결하기 위해 Visual C++ 소프트웨어를 이용하여 퍼지 로직 프로그램을 구현하였다. 고장모의를 통해 파악한 각 개폐기별 영상전류를 고장구간 판단 프로그램의 입력으로 사용하였다. 표 2는 각 구간에서 고장이 발생하였을 경우 고장구간 프로그램이 판단한 고장구간 지수를 나타내고 있으며, 지수가 가장 큰 구간을 고장이 발생한 구간이라고 판단한다. 표 2에서 보는바와 같이 고장표시기의 오동작과 상관없이 정확히 고장구간을 판단하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 1선 지락 고장 발생 시 고장표시기 오동작으로 인한 고장구간 판단 오류에 대해 퍼지 로직이라는 인공 지능 기법을 이용하여 정확하게 고장구간을 판단하는 방법을 제안하였다. PSCAD/EMTDC라는 전력해석용 툴을 이용하여 고장표시기 오동작 시 개폐기별 영상전류 데이터를 취득하였고, 취득된 데이터를 제안하는 알고리즘에 적용한 결과 정확한 고장구간을 판단하는 것을 확인하였다. 향후 방사상으로 운용중인 배전계통에 분산전원이 연계되면 고장 발생 시 분산전원으로부터 고장구간으로 고장전류가 흐르게 되는데 퍼지 로직을 이용한다면 정확하게 고장구간을 판단하는데 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2011년도 경남대학교 학술진흥 연구비 지원에 의한 것 임.

References

- [1] B. N. Ha, Y. H. Han, J. H. Lee, N. H. Cho, S. I. Lim, "A New Fault Detection and Isolation Method in Distribution Automation Systems," KIEE Summer Conference Proceedings, pp. 125-127, 1999.
- [2] Y. S. Go, D. H. Sin, H. Y. Sin, K. S. Lee, "An Expert System for Fault Isolation in Distribution SCADA," KIEE Trans. A, Vol. 48A, No. 11, pp. 1417-1423, 1999.

- [3] K. H. Kim, J. B. Lee, Y. H. Jung, "Neuro-Fuzzy based Fault Location Method in Mixed Transmission Line," Kiee Fall Conference Proceedings, pp. 319-322, 2002.
- [4] Thomas Dalstein, Bernd Kulicke, "Neural Network Approach to Fault Classification for High Speed Protective Relaying," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 10, No. 2, pp. 1002-1011, April 1995.
- [5] C. S. Chen, C. H. Lin, and H. Y. Tsai, "A rule-based expert system with colored Petri net models for distribution system service restoration," IEEE Trans. on Power System, vol. 17, No. 4, pp. 1073-1080, Nov 2002.
- [6] C. M. Huang, "Multi-objective service restoration of distribution systems using fuzzy cause-effect networks," IEEE Trans. on Power System, vol. 18, No. 2, pp. 867-874, May 2003.
- [7] W. H. Chen, M. S. Tsai, and H. L. Kuo, "Distribution System Restoration Using the Hybrid Fuzzy-Grey Method," IEEE Trans. on Power System, vol. 20, No. 1, pp. 199-205, Feb 2005.
- [8] I. S. Choi, M. S. Choi, S. I. Lim, S. J. Lee, "A New Algorithm for Fault Isolation and Service Restoration in Ungrounded Distribution Systems," KIEE Trans. A, Vol. 53A, No. 10, 2004.

◇ 저자소개 ◇



김병구 (金秉求)

1985년 6월 26일생. 2009년 경남대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 첨단공학과 졸업(석사).

Tel : (055)275-3206

E-mail : kochocobo77@gmail.com



김영국 (金永局)

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