

퍼지 로직을 이용한 고장구간 판단 기법

김병국*, 손주환*, 임성일*
경남대학교*

Fuzzy Logic based Faulted Section Identification Method

Byeong-Goo Kim*, Ju-Hwan Son*, Seong-Il Lim*
Kyungnam University*

Abstract - 본 논문은 방사상으로 운용중인 배전계통에 1선 지락 고장 시 퍼지 로직 알고리즘을 이용하여 고장구간을 판단하는 기법에 대해 제안하고 있다. 배전계통에 1선 지락 고장 발생 시 선로불평형 전류에 의해 고장구간 이후의 자동화개폐기에서 고장표시기가 오동작을 한다. 이로 인해 고장구간을 잘못 판단하여 수용가에 전력공급의 신뢰성이 줄어든다. PSCAD/EMTDC라는 전력해석용 툴을 이용하여 배전계통 모델링과 시뮬레이션을 하였고, 개폐기의 영상전류 크기를 통해 퍼지 로직이라는 인공지능기법을 이용하여 정확한 고장구간을 판단하는 기법을 제안한다.

1. 서 론

배전자동화 시스템은 원거리에 산재되어 있는 자동화개폐기를 현장에 방문하지 않고 배전사령실에서 원격으로 운전상태를 감시 및 제어하고, 전압, 전류 등의 선로 운전 정보를 자동으로 계속하며, 고장정보를 수집하여 고장구간을 판단하여 처리하는 시스템이다. 배전자동화 시스템의 정전복구 기능은 수용가에 대한 전력공급의 신뢰성과 안정성을 높이기 위해 배전계통에 고장 발생 시 신속하게 고장구간을 찾고 정전구역을 최소화 시켜야 한다. 이에 따라 정전복구 기능 중에 신속하고 정확한 고장구간 판단이 중요하다.

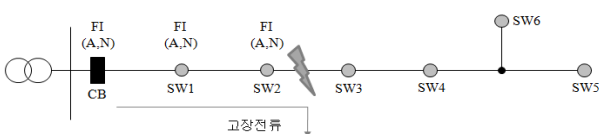
방사상으로 운용중인 배전계통에서 고장구간을 판단하는 방법은 YES-NO방식을 이용하고 있다.[1] 하지만 YES-NO방식은 고장표시기의 오동작으로 인해 정확하지 않은 구간을 고장구간으로 판단함으로써 수용가에게 신뢰적이고 안정적인 전력공급을 할 수 없게 된다. 방사상의 배전계통에서 고장구간을 판단하기 위한 방법으로 인공지능 기법을 이용하여 고장구간을 검증하는 방법[2]과 상시 연계점을 이동하는 방법[3] 등이 이루어졌다. 본 논문에서는 방사상으로 운용중인 배전계통에 1선 지락 고장 발생 시 자동화개폐기들의 영상전류 크기를 통해 퍼지 로직이라는 인공지능기법을 이용하여 정확한 고장구간을 판단하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장은 기존 배전계통의 고장구간 판단 기법에 대해 설명한다. 2.2장은 기존 배전계통의 고장구간 판단기법에 대한 문제점에 대해 설명한다. 2.3장은 1선 지락 고장 시 퍼지 로직을 이용하여 고장구간을 판단하는 기법에 대해 설명한다. 2.4장은 사례 연구를 통해 퍼지 로직 알고리즘이 고장구간을 정확하게 판단하는지를 검증한다.

2. 본 론

2.1 기존 배전계통 고장구간 판단 기법

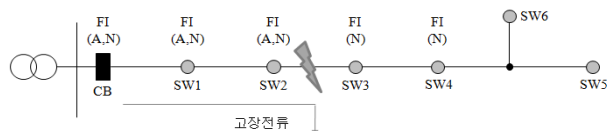
방사상으로 운용되고 있는 기존의 배전계통에서 고장구간을 판단하는 기법은 YES-NO방식을 이용하고 있다. 배전계통에 고장이 발생하면 전 원과 고장구간 사이의 선로에 고장전류가 흐르게 되고, 고장전류를 경험한 자동화개폐기에서 고장표시기가 동작한다. 그림 1에서 보는바와 같이 SW₂와 SW₃사이에서 고장이 발생하였다면, CB와 SW₂사이의 선로에 고장전류가 흐르게 된다. 고장전류를 경험한 CB, SW₁, 그리고 SW₂에서 고장표시기가 동작하고, 고장전류를 경험하지 못한 SW₃, SW₄, SW₅, 그리고 SW₆에서는 고장표시기가 동작하지 않는다. 따라서 마지막으로 고장표시기가 동작한 SW₂와 고장표시기가 동작하지 않은 SW₃ 사이를 고장구간으로 판단한다.



〈그림 1〉 YES-NO 방식의 배전계통 고장구간 판단 기법

2.2 기존 배전계통 고장구간 판단 기법의 문제점

방사상으로 운용되고 있는 배전계통에서 고장이 발생하면 고장전류를 경험한 자동화개폐기에서 고장표시기가 동작하여야 한다. 하지만 고장전류를 경험하지 못한 자동화개폐기에서 고장표시기가 동작을 하게 된다. 그림 2에서 보는바와 같이 SW₂와 SW₃사이에서 고장이 발생하였다면 CB와 SW₂사이의 선로에 고장전류가 흐르게 된다. 고장전류를 경험한 CB, SW₁, 그리고 SW₂는 고장표시기가 동작하게 된다. 하지만 고장전류를 경험하지 못한 SW₃, SW₄에도 고장표시기가 동작하는 경우가 발생한다. 이로 인해 SW₄와 SW₅ 사이 또는 SW₄와 SW₆ 사이를 고장구간으로 판단한다.

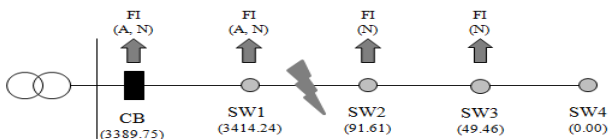


〈그림 2〉 고장표시기 오동작으로 인한 고장구간 판단 기법의 문제점

이러한 문제점 다음과 같이 설명된다. A상 지락 고장 시 A상으로 큰 고장전류가 흘러 3상 전류의 합은 0이 되지 않기 때문에 선로는 불평형 상태가 된다. 이로 인해 불평형 전류가 자동화개폐기에 설정된 수치 이상으로 흘러 고장구간의 부하측 자동화개폐기에서 접지(N)상 고장표시기가 동작한다. 따라서 고장표시기가 마지막으로 동작한 이후 구간을 고장구간으로 판단하게 되어 YES-NO방식의 신뢰성이 떨어진다.

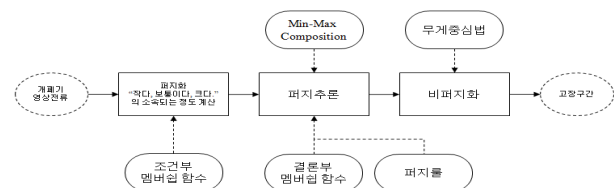
2.3 1선 지락 고장 시 퍼지 로직을 이용한 고장구간 판단 방법

배전계통에 1선 지락 고장 발생 시 고장표시기의 오동작으로 인해 고장구간을 정확하게 판단하지 못하는 점을 해결하기 위해 퍼지 로직 알고리즘을 이용하여 고장구간을 판단하는 방법을 제시한다. 그림 3은 방사상의 배전계통에 1선 지락 고장이 발생하였을 때 자동화개폐기의 영상전류의 크기와 고장표시기가 동작하는 것을 나타내고 있다. SW₂와 SW₃은 고장전류를 경험하지 않았음에도 고장표시기의 접지(N)상이 동작하였다. SW₂와 SW₃의 고장표시기가 오동작하여 SW₃과 SW₄ 사이의 구간을 고장구간으로 판단하여 고장이 발생한 구간을 찾아내는데 어려움이 있다.



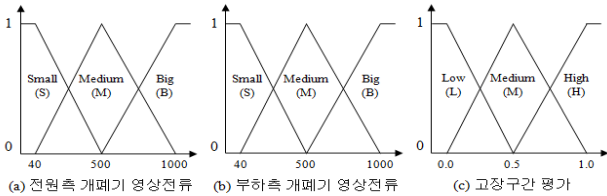
〈그림 3〉 1선 지락 고장 시 개폐기 영상전류 및 고장표시기 동작

퍼지 로직은 기준이 애매모호한 입력 데이터로부터 결과 값을 결정짓는데 이용되는 인공지능 기법이다. 그림 4에서 보는바와 같이 퍼지 로직은 퍼지화, 퍼지 추론, 그리고 비퍼지화 과정이 있다. 퍼지 추론은 MIN-MAX Composition, 비퍼지화는 무게중심법이 사용된다.



〈그림 4〉 퍼지 로직 과정

퍼지 로직의 입력 데이터는 개폐기 영상전류의 크기이고, 출력 데이터는 고장구간 평가이다. 여기서 입력 데이터들은 어느 기준에 대해 '작다, 보통이다, 크다'라는 결정을 할 수 없기 때문에 멤버십 함수를 설계하여 입력 데이터들이 어느 기준에 대해 어느 영역에 속하는지를 결정하고 퍼지 데이터를 출력해야 한다. 그림 5는 설계된 멤버십 함수를 나타내고 있는데 (a)와 (b)는 조건부 멤버십 함수이고, (c)는 결론부 멤버십 함수이다. 조건부와 결론부 멤버십 함수의 요소는 각 3가지로 구성된다. 조건부 멤버십 함수에서 요소를 정하는 기준은 영상전류가 500[A]이하 일 때 'Small', 40[A]이상 1000[A]이하 일 때 'Medium', 그리고 500[A]이상 일 때 'Big'이다. 결론부 멤버십 함수에서 요소를 정하는 기준은 고장구간 평가값이 0.5이하 일 때 'Low'이고, 0.1이상 1.0이하 일 때 'Medium', 그리고 0.5이상 일 때 'High'이다. 그리고 멤버십 함수의 각 요소에 대한 소속도는 0과 1 사이이다.



〈그림 5〉 멤버십 함수

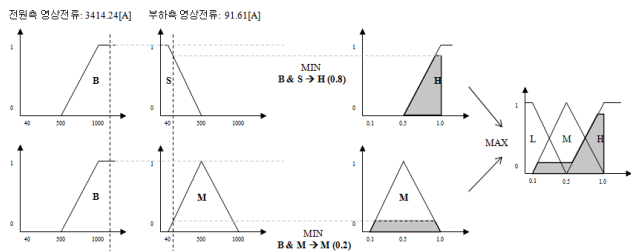
조건부 멤버십 함수의 퍼지 데이터를 비교하기 위해 퍼지 룰을 설계하는데 표 1은 설계된 퍼지 룰을 나타내고 있다.

〈표 1〉 퍼지 룰

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

퍼지화는 기준이 애매모호한 입력 데이터를 멤버십 함수를 이용하여 퍼지 데이터로 변환해주는 방법이다. 이때 이용하는 멤버십 함수를 조건부 멤버십 함수라고 한다. 본 논문에서는 전원측 개폐기의 영상전류와 부하측 개폐기의 영상전류를 조건부 멤버십 함수를 통해 퍼지 데이터로 변환한다. 전원측 개폐기의 영상전류는 3414.24[A]이고, 퍼지화를 통해 변환된 퍼지 데이터는 'Big(1.0)'이다. 부하측 개폐기의 영상전류는 91.61[A]이고, 퍼지화를 통해 변환된 퍼지 데이터는 'Small(0.8)과 Medium(0.2)'이다.

퍼지 추론은 퍼지화된 데이터들을 MIN-MAX Composition의 MIN법을 통해 비교하고 설계된 퍼지 룰에 의하여 결론부 멤버십 함수의 퍼지 데이터를 MAX법을 통해 결정하여 면적을 구하는 방법이다. 그림 6에서 보는바와 같이 전원측 개폐기의 영상전류 퍼지 데이터는 'Big(1.0)'이고, 부하측 개폐기의 영상전류 퍼지 데이터는 'Small(0.8)과 Medium(0.2)'이다. 전원측 개폐기와 부하측 개폐기의 퍼지 데이터를 비교하여 작은 데이터를 고장구간 평가의 퍼지 데이터로 결정한다. 고장구간 평가 멤버십 함수의 퍼지 데이터는 요소별로 최대 값을 선정하여 면적을 구성한다.

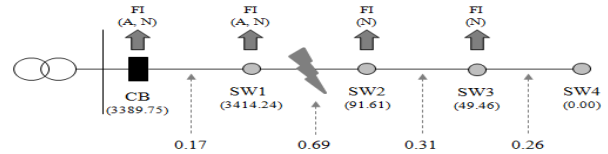


〈그림 6〉 퍼지 추론

비퍼지화는 무게중심법을 이용하여 퍼지 추론을 통해 구성된 면적의 중심점을 구하여 고장구간 평가 데이터를 도출하는 방법이다. 다음 식 (1)의 무게중심법을 통해 고장구간 평가 데이터를 도출할 수 있다.

$$\text{무게중심법} = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad (1)$$

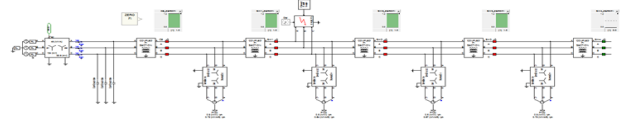
고장구간 평가 데이터들 중 가장 큰 값을 가지는 구간을 고장구간으로 판단한다. 그림 7은 방사상의 배전계통에 개폐기의 영상전류 크기와 퍼지 로직을 통해 도출된 고장구간 평가 데이터를 나타내고 있다.



〈그림 7〉 퍼지 로직을 이용한 고장구간 판단

2.4 사례연구

본 논문에서 제안하고 있는 고장구간 판단 기법의 유효성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 라는 전력해석용 툴을 이용하여 시뮬레이션 하였고 Visual C++ 소프트웨어를 이용하여 퍼지 로직 프로그램을 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 출력된 개폐기 영상전류 크기는 퍼지프로그램의 입력 데이터로 이용되어 구간을 평가하고 고장구간을 판단하게 된다. 그림 8은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링된 배전계통을 나타내고 있다. SW₁과 SW₂ 사이에 1선 지락 고장이 발생 하였을 때 고장구간 이후의 개폐기인 SW₂와 SW₃에 고장표시기가 동작하는 것을 알 수 있다.



〈그림 8〉 배전계통 모델링

표 2는 개폐기들의 영상전류 크기를 나타내고 있다. 개폐기들의 영상전류 크기는 PSCAD/EMTDC를 통해 시뮬레이션 된 결과 데이터이고, 퍼지 로직 프로그램에 이용될 입력 데이터이다.

〈표 2〉 개폐기 영상전류 크기

개폐기	CB	SW ₁	SW ₂	SW ₃	SW ₄
영상전류 크기	3389.75	3414.24	91.61	49.46	0.00

표 3은 고장구간을 평가하는 데이터를 나타내고 있다. 퍼지 로직 프로그램은 표 2의 개폐기 영상전류 크기 데이터를 입력 받아 표 3의 고장구간 평가 데이터를 출력하게 된다.

〈표 3〉 고장구간 평가

구간	구간1	구간2	구간3	구간4
고장구간 평가	0.17	0.69	0.31	0.25

표 3에서 구간2의 고장구간 평가 데이터가 가장 큰 것을 알 수 있다. 따라서 그림 3과 표 3을 비교하면 고장구간을 정확하게 판단하는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 방사상의 배전계통에 1선 지락 고장 발생 시 고장구간 이후의 자동화개폐기에서 고장표시기 자동작으로 인한 정확하지 않은 고장구간 판단에 대해 퍼지 로직이라는 인공지능 기법을 이용하여 정확하게 고장구간을 판단하는 방법을 제안하였다. PSCAD/EMTDC라는 전력해석용 툴을 이용하여 1선 지락 고장을 시뮬레이션하여 개폐기들의 영상전류 크기를 얻었다. 그리고 퍼지 로직 프로그램을 이용하여 정확한 고장구간을 판단하는 것의 유효성을 검증하였다. 향후 방사상으로 운용 중인 배전계통에 분산전원이 연계되면 고장 발생 시 분산전원으로부터 고장전류가 흐르게 되는데 퍼지 로직을 이용한다면 정확하게 고장구간을 판단하는데 기대효과를 볼 수 있을 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 하복남, 한용희, 이중호, 조남훈, 임성일, "신 배전자동화 시스템의 배전선로 고장인지 및 분석방법", 대한전기학회논문지, pp.125-127, NOV. 1999.
- [2] 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 Systems, Vol. 17, No. 4, pp. 1073-1080, November 2002.
- [3] 최인선, 최명순, 임성일, 이승재, "비접지 배전계통에서 지락사고 시 고장구간 분리 및 복구를 위한 새로운 알고리즘", 대한전기학회논문지, Vol. 53A, No. 10, Oct. 2004.