

## 대칭성분에 의한 퍼지형 고장형태판별에 관한 연구

박철원  
국립원주전문대학 전기과

전병준 · 신명철  
성균관대학교 전기공학과

이복구 · 윤석우  
충남전문대학 제어계측과

### A Study on the Fuzzy-based Fault-type Detection Using Symmetrical Component

C.W. Park  
Wonju National Jr. College

B.J. Jeon · M.C. Shin  
Sung Kyun Kwan Univ.

B.K. Lee · S.M. Yun  
Chungnam Jr. College

**Abstract** - This paper is on the application of fuzzy for fault-type approach using symmetrical components method. To evaluate performance of the proposed technique, we have been tested using a relaying signals obtained from EMTP simulation package.

#### 1. 서 론

마이크로프로세서가 출현된 이후 디지털 계전기에 대한 연구가 활발하게되었으며, 그 결과 보호계전기법은 상당한 발전을 가져왔다[1]. 그러나 현재까지 개발된 대부분의 디지털 계전기법은 계통의 규정된 모델을 이용하여 얻은 결과를 토대로 한 정량적인 계전방식을 적용하였기 때문에 계통이 복잡해지고, 여러 가지 고장이 중복되는 경우에는 해석이 어려웠으며, 수학적인 모델로 기술되지 못하는 경우 등 애매한 상황에서 종래의 알고리즘들은 그 적용력이 떨어졌다. 최근 이의 보완책으로서 인공지능기법을 적용한 보호계전기의 개발에 대한 연구가 제기되었다. 이 중에서 송전선로의 고장판별을 위하여 신경회로망을 적용한 논문[2]이 발표되었으나, 이 기법은 고속의 병렬처리가 가능하고, 학습되지 않은 경우에도 기존의 학습상태를 이용하여 적절한 판정을 하였다. 그러나 전용칩의 개발수준이 미비하여 아직까지는 실 계통에 적용시키지 못한다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 이치논리로부터 탈피하여 인간의 사고방식과 원리에 기초하고, 불확실한 정보로부터 유용한 정보의 추론이 가능하다고 알려진 퍼지이론(fuzzy theory)을 송전선로의 고장형태판별[4~7]에 적용하여 실시간 구현의 가능성을 평가하였다. 제안된 기법에서 사용된 퍼지입력변수는 대칭좌표법(symmetrical components method)으로부터의 영상분(zero sequence component)과 고장들이 갖는 성질들을 이용하였으며, 간단한 소속함수집합으로 표현된 규칙들을 이용하여 퍼지 추론을 한 후, 비퍼지화과정을 거쳐서 퍼지적인 의사결정으로 고장형태를 판별하였다. 제시한 기법의 개발과 타당성을 입증하기 위하여 EMTP 시뮬레이션을 수행한 후 그 출력데이터를 활용하였다.

퍼지시스템의 입력으로 사용될 계전신호의 선정은 대 상모델의 특징을 가장 잘 표현할 수 있는지 여부에 따라서 이루어지고, 이것을 소속함수로 나타내는 것은 많은 경험으로 시행착오를 거쳐 얻어졌다. 본 연구에서는 그림 4이하에서 입증하였듯이, 전류내 다량의 영상분의 존재로서 지락고장임을 알 수 있고, 고장시 전류의 크기에 대한 정보로부터 선간단락과 3상단락고장 등을 구분할 수 있다. 즉, 퍼지 입력변수는 대칭좌표법을 이용하여 구한 영상분과 전류의 실효치 성분들을 이용하였다.

먼저, 대칭좌표법[3]에 의하여 정의된 a 연산자를 이용하여 대칭성분을 정리하면 식(1)이 된다.

$$\begin{aligned} i_0 &= \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c) \\ i_1 &= \frac{1}{3} (i_a - \frac{i_b+i_c}{2} + j\sqrt{3} \frac{i_b-i_c}{2}) \\ i_2 &= \frac{1}{3} (i_a - \frac{i_b+i_c}{2} - j\sqrt{3} \frac{i_b-i_c}{2}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $i_0$ : 영상분 전류  $i_2$ : 역상분 전류,  
 $i_1$ : 정상분 전류이다.

그리고, 전류의 실효치를 구하는데 일반적인 방법을 사용한다면 전처리과정에서 한 주기를 소모하게되고, 이에 따른 연산량이 과다하게 되는 결과를 초래하기 때문에 신호자체의 변동이 심할지라도 퍼지화과정에서 소모되는 시간을 최대한 줄일 수 있는 식(2)를 이용하였다[2].

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{i_k^2 + i_{k-3}^2} \quad (2)$$

여기서,  $i_k$ : 샘플값,  $i_{k-3}$ :  $90^\circ$  지연 샘플값이다.

2.2 고장형태판별을 위한 퍼지시스템설계  
그림 1은 설계된 퍼지추론시스템의 개념도이다.

#### 2. 퍼지이론을 이용한 송전선로의 고장형태판별 2.1 퍼지 입력변수의 도출

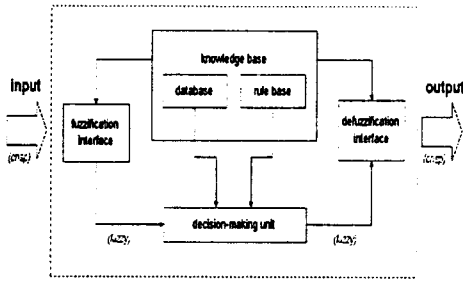


그림 1 퍼지추론시스템의 개념도

### 2.2.1 입력 퍼지집합의 결정

입력부는 CT에서 얻어진 3상의 전류신호로부터 영상분과 전류의 실효치를 계산한다. 입력변수로는 F\_Z(영상분), F\_RA(A상 실효치), F\_RB(B상 실효치), F\_RC(C상 실효치)를 사용하였으며, 고장발생거리와 전압사각각에 따른 상·하한 값을 이용하여 임계치를 선정하였다. 입력변수의 소속함수는 널리 사용되고 있는 사다리꼴형을 적용하였다.

### 2.2.2 출력 퍼지집합의 결정

출력 퍼지값은 고장의 형태를 나타내게 되는데 고장의 형태를 판별하기 위한 출력 퍼지집합(FT)은 다섯 개의 고장별 퍼지 집합(FT=1LGF: 1선지락고장, FT=LLGF: 2선지락고장, FT=LLF: 선간단락고장, FT=LLL: 3상단락고장, FT=STEADY: 정상상태)으로 구성하였다.

### 2.2.3 퍼지 추론

송전선로의 정상상태와 고장상태의 유형에 따라 그에 대응되는 제전신호들의 규칙들은 다음과 같은 if-then 형식이 된다.

- Rule 1. IF (F\_Z=L AND F\_RA=L) THEN (FT=1LGF)
- Rule 2. IF (F\_Z=L AND F\_RA=L AND F\_RB=L) THEN FT=LLGF
- Rule 3. IF (F\_Z=S AND F\_RA=S) THEN FT=STEADY
- Rule 4. IF (F\_Z=S AND F\_RA=L AND F\_RB=L) THEN FT=LLF
- Rule 5. IF (F\_Z=S AND F\_RA=L AND F\_RB=L AND F\_RC=L) THEN FT=LLL

이러한 퍼지규칙들로부터의 각각의 결과 퍼지집합들은, 그들 각각에 부여될 적합도를 어떻게 다를 것인가에 따라 Mamdani의 Min-Max 연산법으로 최종적인 추론의 결과로 합성되며, 비퍼지화 단계로 거치게 된다.

### 2.2.4 비퍼지화

퍼지추론으로부터 구한 퍼지값은 무게중심법을 이용하여 비퍼지화가 되는데, 이 비퍼지화된 값이 고장형태를 나타내게 된다.

## 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

### 3.1 시뮬레이션 방법

제시된 기법의 타당성을 입증하기 위한 데이터는 그림 2

와 같은 모의계통을 EMTP 시뮬레이션하여 수집하였다. 모의계통은 최대 160 [km]의 근장을 갖는 3Φ 154 [kV] 송전선로 모델로서 선로정수 및 전원 데이터는 표 1과 같다. 12 샘플링의 데이터를 얻기 위하여 EMTP에서는 시간 간격을 1.388 [msec]로 하였다.

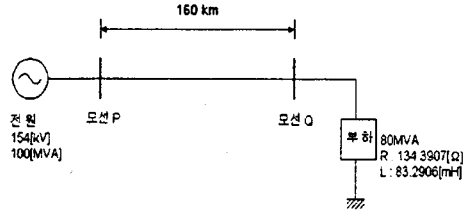


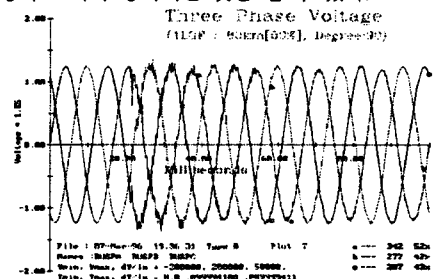
그림 2 모의 계통도

표 1 선로 및 전원데이터

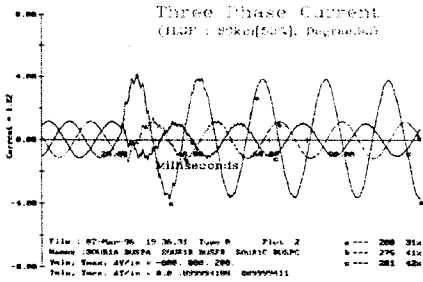
선로정수	영상분	정상분	역상분	
	R[Ω/km]	0.3434	0.1342	0.1342
	L[Ω/km]	1.3158	0.4765	0.4758
C[μF/km]	0.0052	0.0090	0.0090	
전원데이터	전원용량	100 MVA		
	역률(p.f)	0.85		
	차과도 리액턴스 (X <sub>d</sub> )	7.71 %		
부하용량	80 MVA			

고장은 정상상태, 1선지락고장, 2선지락고장, 선간단락고장, 3상단락고장을 모의하되, 고장저항은 5[Ω]으로 하였다. Dc offset 영향과 고조파 성분 그리고 그 크기를 검토하기 위하여, 고장발생 전압사각각은 0°, 90°로 선정하였고, 고장이 발생한 거리는 8[km]~152[km]까지 5%(8[km])씩 가변하며 모의하였다. 고장발생시점은 전압사각각이 0°인 경우는 12번째(16.667 [ms])이고, 90°인 경우는 15번째(20.083 [ms])가 된다. 한편, CT 포화시의 영향은 고려되지 않았다.

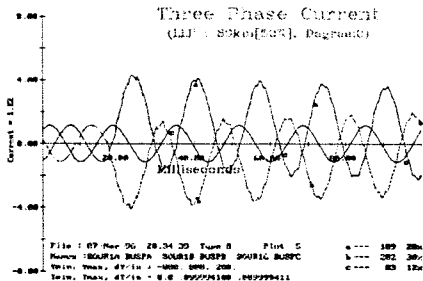
그림 3은 제전기로 부터 80[km] 떨어진 지점에서 1선지락고장과, 선간단락고장이 발생했을 경우 전압·전류파형이다. 고장발생후 전압파형은 고조파성분에 의하여 심하게 왜곡되고, 고장상의 전압은 그 크기가 감소하며, 전류파형은 전압사각각이 0°에 근접할수록 Dc offset의 영향이 매우 많음을 알 수 있다. 그리고 선간단락고장시에는 고장발생직 후 두상의 크기가 증가되는 것을 알 수 있다.



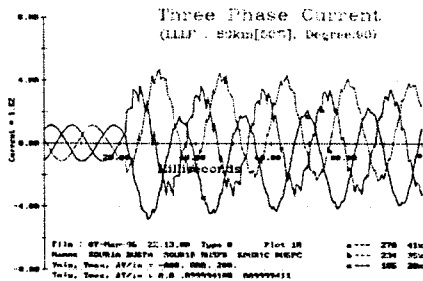
(a) 1선지락고장시 3상 전압파형



(b) 1선지락고장시 3상 전류파형

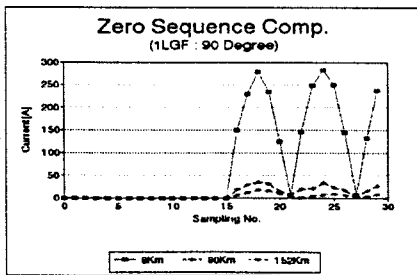


(c) 선간단락고장시 3상 전류파형

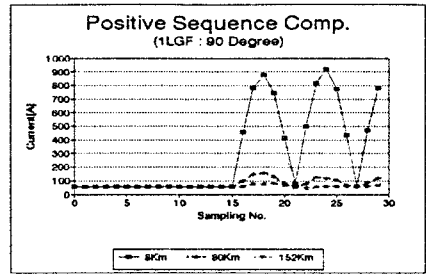


(d) 3상단락고장시 3상 전류파형  
그림 3 고장시 3상 전압, 전류 파형

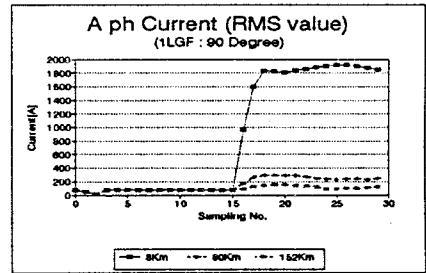
그림 4는 전압사각각이 90° 인 경우 1선지락고장시 전류의 영상분과 정상분 그리고 각상의 실효치이다. 그림 4(a)에서 처럼 정상상태에서는 영상분이 존재하지 않다가 고장발생직후인 15샘플번째에서 부터 영상분이 커짐을 알 수 있다. 고장발생거리에 따라 그 크기는 반비례함을 알 수 있다. 그림 4(b)에서 처럼 정상상태에서 일정하던 정상분은 고장발생직후인 15샘플번째에서 부터 그 크기가 증가하며 변동함을 알 수 있다.



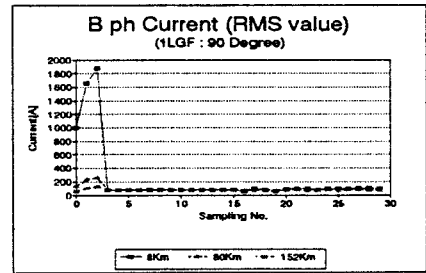
(a) 영상분 전류



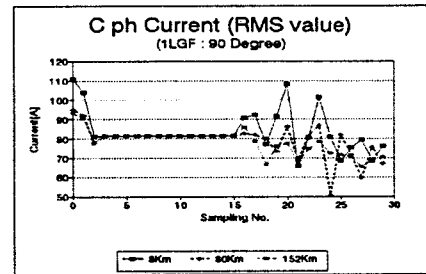
(b) 정상분 전류



(c) A상 전류의 실효치



(d) B상 전류의 실효치



(e) C상 전류의 실효치

그림 4 1선지락고장시 전류의 영상분과 실효치

그림 5는 MATLAB의 Fuzzy Logic Toolbox를 이용하여 구현한 제안된 기법의 고장형태판별과정이다. 입력변수와

출력변수의 퍼지화와 제안된 규칙으로부터 전압사고각이 90°, 고장거리가 8[km]지점에서 1선지락고장이 발생된 경우 최종적인 고장판별결과를 나타낸다. 비퍼지화 값은 0.279로서 1선지락고장임을 알 수 있다. 여러 가지 경우의 시물레이션 결과, 지락고장일 경우에는 전압사고각과 고장거리에 관계없이 고장발생후 1~2 샘플째(1.38~2.99[ms])에 지락고장임을 검출되었고, 단락고장일 경우에는 고장거리가 커짐에 따라 고장검출이 지연되었으나, 최악의 경우에도 반주기이내(8.33[ms])에서는 고장형태가 정확히 판별되었다.

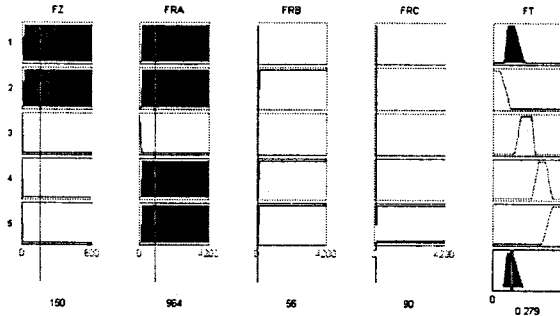


그림 5 고장형태판별과정도

#### 4. 결 론

본 논문에서는 영상분과 고장의 성질을 이용한 퍼지형

송전선로의 고장형태판별기법을 제안하였다. 제안된 퍼지형 기법은 단순한 퍼지과정(5개의 규칙들)의 실행으로 1선지락고장, 2선지락고장, 선간단락고장, 3상단락고장들을 검출하는데에 매우 효과가 있었으며, 고장발생시 신속하게 고장형태를 판별함을 알 수 있다. 한편, 제시된 기법은 범용의 마이크로프로세서에서도 실시간구현이 용이하다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Stanley H. Horowitz et al., "Power System Relaying", RSP, 1992.
- [2] 신명철, 권기백의 2인, "신경회로망을 이용한 송전선로의 고장 판별에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제42권 11호, PP.67~77, 1993.
- [3] A. G. Phadke et al., "Fundamental Basis for Distance Relaying with Symmetrical Components", IEEE Trans. PAS., Vol. PAS-96, PP.635~646, March/April 1977.
- [4] 신명철, 박철원의 2인, "퍼지시스템에 의한 변압기 보호용 디지털 보호계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, 제46권 3호, PP.317~324, 1997.
- [5] 이광형, 오길록 공저, "퍼지이론과 응용(I),(II)", 홍릉과학 출판사, 1992.
- [6] Ned Gulley et al., "Fuzzy Logic Toolbox", Math Works, 1995.
- [7] A. Ferrero et al., "A Fuzzy-Set Approach to Fault-Type Identification in Digital Relaying", IEEE Trans. PWRD., Vol. 10, No. 1, PP.169~175, 1995. 1.