

# 대칭분 전압 단위 벡터를 이용한 송전선로 보호용 고장상 선택 알고리즘

論 文

51A-9-6

## Fault Phase Selection Algorithm using Unit Vector of Sequence Voltages for Transmission Line Protection

李 命 洙\* · 李 在 奎\*\* · 金 垂 南\*\*\* · 劉 錫 九§

(Myoung-Soo Lee · Jae-Gyu Lee · Soo-Nam Kim · Seok-Ku You)

**Abstract** - A reliable fault phase selection algorithm plays a very important role in transmission line protection, particularly in Extra High Voltage (EHV) networks. The conventional fault phase selection algorithm used the phase difference between positive and negative sequence current excluding load current. But, it is difficult to pick out only fault current since we can not know when a fault occurs and select the fault phase in weak-infeed conditions that dominate zero-sequence current in phase current.

The proposed algorithm can select the accurately fault phase using the sum of unit vectors which are calculated by positive-sequence voltage and negative-sequence voltage.

**Key Words** : Transmission line protection, phase selection, positive-sequence voltage, negative-sequence voltage.

### 1. 서 론

모든 보호시스템에서 중요시되는 것은 계통 안정도를 유지하기 위하여 고장 구간을 건전 구간으로부터 가능한 빨리 분리시키는 것이다. 가공선로에서 대부분의 선로 고장은 일시적인 고장이므로 전력공급을 짧은 시간동안 차단하였다가 다시 공급하면 대부분의 일시적인 고장은 제거될 수 있다. 이러한 이유 때문에 자동 재폐로 계전요소가 전력계통에 도입되었다. 자동 재폐로 계전요소는 1선 지락 고장과 2선 고장(2선 지락 고장, 2선 단락 고장)을 정확하게 구별함으로써 단상 차단/단상 재폐로 또는 3상 차단/3상 재폐로를 고장 유형(1선 지락 고장, 2선 고장)에 따라 선택적으로 적용하여 계통의 안정도를 향상시킬 수 있다. 또한, 거리 계전 요소, 과전류 계전 요소 등과 같은 계전 요소들의 본질적인 부정확성으로 인한 오동작을 방지하거나, 고장점 추정 알고리즘에 정확한 정보를 제공하기 위해서 고장상 선택 알고리즘이 필요하다[1]. 즉, 송전선로 보호에 있어서 신뢰성 있는 고장상 선택 알고리즘은 자동 재폐로 계전요소 및 거리 계전 요소등과 함께 매우 중요한 역할을 한다.

기존의 고장상 선택 알고리즘은 부하전류를 제외한 정상분 고장전류와 역상분 고장전류의 위상차를 이용하여 고장상을 판별하고 있다[2]. 그러나 이러한 알고리즘은 실제로 구현

할 때, 정확한 고장 발생 시각을 알 수 없기 때문에 계전기가 측정된 전류에서 고장분 전류만을 정확하게 추출한다는 것은 힘들다. 또한, 약전원(weak-infeed) 계통의 경우, 고장 전류의 크기가 정상시 부하전류보다 작을 수도 있고 지락고장시 인접 변전소의 중성점이 접지된 변압기를 통해 유입되는 영상전류의 영향으로 각 상 전류 신호가 왜곡될 수 있기 때문에 순수 고장 전류만으로 고장상을 판별한다는 것은 실 적용상 부정확하다[3]. 특히 우리나라 계통에서는 송전 선로를 보호하기 위하여 모선 전압을 사용하고 있고, 이 모선 전압은 계전기 설치점에서의 3상 완전 고장 또는 3상 전압 변성기(Potential Transformer, PT) Fuse 불량과 같이 3상 모두의 전압이 0이 되는 매우 드문 경우를 제외하면 고장 유형을 판별하기에 충분한 대칭분 전압이 존재하므로 고장상 판별 알고리즘의 기준으로 적절하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 고장 전류보다 고장 전압을 이용한 고장상 선택 알고리즘을 제시하고자 한다. 고장상 판별을 위해 각 상의 정상분 전압과 역상분 전압을 구한 후 이들 전압을 이용하여 정상분 전압과 역상분 전압의 단위벡터를 계산하고 정상분 전압의 단위벡터와 역상분 전압의 단위벡터의 벡터합의 크기를 이용하여 정확하게 고장상을 판별하는 방법을 제안하였다.

### 2. 기존의 고장상 선택 알고리즘

기존의 고장상 선택 알고리즘은 A상 정상분 전류( $I_{1F}$ )와 A상 역상분 전류( $I_{2F}$ )의 위상관계를 이용하여 각 고장 유형을 구별하였다. 그림 1은 A상의 정상분 전류와 A상의 역상분 전류의 위상 관계를 나타낸 것이다.

그림 1에서 알 수 있듯이 A상의 정상분 전류와 A상의 역

\* 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 大德大學 專任講師

\*\*\* 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 7月 3日

最終完了 : 2002年 7月 20日

상분 전류의 위상 관계만을 이용해서는 2선 지락 고장과 2선 단락 고장을 구별할 수 없으므로 영상분 전류의 크기를 이용하여 2선 지락 고장과 2선 단락 고장을 구별하고 있다.

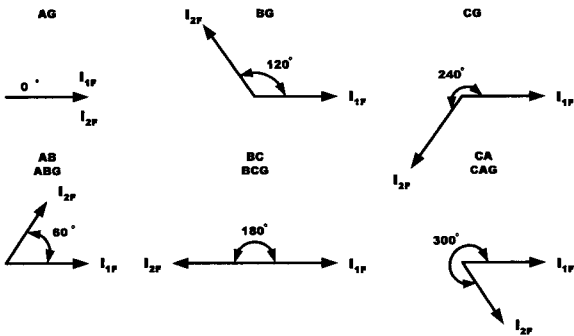


그림 1 불평형 고장시 정상분 전류와 역상분 전류의 위상 관계  
Fig. 1 Angle Between  $I_{1F}$  and  $I_2$  for Unbalanced Faults

즉, 영상분 전류의 크기가 기준값( $I_{0LVL}$ )보다 크면 지락고장으로 판단하고 작으면 단락 고장으로 판단한다. 또한 3상 고장은 영상분 전류 및 역상분 전류의 크기가 기준값( $I_{0LVL}$ ,  $I_{2LVL}$ )보다 작으면 3상고장으로 판단하였다[2].

그러나 이 알고리즘은 계전기가 측정하는 순수한 고장전류만을 이용한다. 고장 발생후, 계전기 설치점에서 측정되는 전류( $I_{Ry}$ )는 식 (1)처럼 부하전류( $I_{Load}$ )와 순수 고장전류( $I_F$ )의 합으로 표시되는데, 정확한 고장 발생시각을 알 수 없기 때문에 고장 발생시각의 부하전류를 알기 힘들다.

$$I_{Ry} = I_{Load} + I_F \quad (1)$$

이 알고리즘은 실 계통에 적용할 때 변류기(Current Transformer, CT) 오차 및 계전기 오차등과 같은 여러 가지 오차들을 감안하여 고장상 판단 기준 위상값에 약간의 여유를 주어 고장상을 판단하여야 한다. 이 여유가 크면 동작 속도는 빨라지나 정확한 고장상 판별이 어려워지고 여유가 작으면 동작속도는 느려지나 정확한 고장상을 판별할 수 있다. 고장상 선택 알고리즘은 거리 계전 요소, 과전류 계전 요소 등과 같은 계전 요소들의 본질적인 부정확성으로 인한 오동작을 방지하기 위해 주로 사용되므로 정확한 고장상 판별은 필수적이다. 따라서 정확한 고장상 판별을 위해 동작 속도는 조금 느리지만  $\pm 7.5^\circ$ 의 여유를 주어 사용한다[3].

또한 약전원 계통의 경우, 고장전류의 크기가 평상시 부하전류의 크기보다 더 작아질 수도 있고 지락 고장시 인접 변전소의 중성점이 접지된 변압기를 통하여 유입되는 영상전류의 영향으로 인하여 각 상 전류 신호들이 왜곡될 수 있으므로 고장전류의 위상관계만을 이용한 고장상 선택 알고리즘은 부정확하고 신뢰할 수 없게 된다[3].

### 3. 대칭분 전압의 단위벡터를 이용한 고장상 선택 알고리즘

우리나라 계통에서는 송전 선로를 보호하기 위하여 모선

전압을 사용하고 있고, 이 모선 전압은 계전기 설치점에서의 3상 완전 고장이나 3상 PT Fuse 불량과 같이 3상 모두의 전압이 0이 되는 매우 드문 경우를 제외하면 고장 유형을 판별하기에 충분한 대칭분 전압이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 계전기가 측정한 각 상 모선전압을 이용하여 고장상을 판별하는 방법을 제시하였다.

### 3.1 고장 유형에 따른 전압 profile

그림 2는 간략화를 위해 계통의 대칭분 임피던스가 모두 동일하다( $Z_1=Z_2=Z_0$ )고 가정하였을 때, 양단전원 1회선 계통에서 다양한 고장 발생시 각 고장 유형에 따른 A상의 대칭분 전압 profile을 나타낸 것이다[4]. 만약 무부하 상태라고 가정하면, 계통 전체 전압은 점선으로 표시된 것처럼 계통 전체가 동일한 값을 가질 것이다.

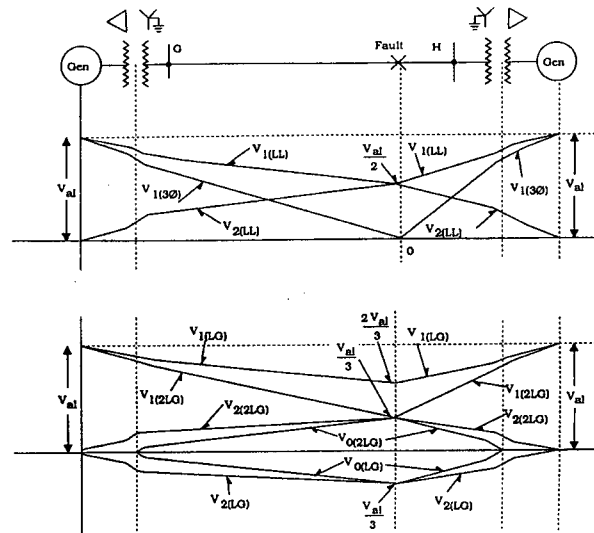


그림 2 다양한 고장 유형에 따른 대칭분 전압 profile  
Fig. 2 Voltage profile for various types of faults

그림 2에 나타낸 것처럼 고장발생시 정상분 전압의 크기는 항상 전원에서 최대값을 가지고 고장점에서 최소값을 갖는다. 반면에 역상분 전압과 영상분 전압의 크기는 항상 전원에서 최소가 되고 고장점에서 최대가 된다[5]. 즉, 고장발생시 고장 유형에 따라 계전기 설치점에서 측정된 각 대칭분 전압의 위상 관계는 유지되지만 크기는 변화한다. 이것은 역상분 전류 분포와 정상분 전류 분포는 정상분 임피던스와 역상분 임피던스 분포가 거의 같기 때문에 동일하지만 정상분 전압의 크기와 역상분 전압의 크기의 변화 양상이 서로 상이하기 때문에 계전기 설치점에서 측정된 정상분 전압의 크기와 역상분 전압의 크기는 서로 다르게 된다. 또한 영상분 전압은 영상분 전류 분포가 정상분 전류 분포 및 역상분 전류 분포와 다르기 때문에 계전기 설치점에서 측정하는 영상분 전압의 크기는 계전기 설치점에서 측정된 정상분 전압의 크기 및 역상분 전압의 크기와 같지 않게 된다.

실 계통에서 대칭분 전압의 profile은 대칭분 임피던스가 모두 동일하지 않으므로 그림 2에 나타낸 대칭분 전압

profile보다 더 복잡한 양상으로 나타나므로 계전기 설치점에서 측정된 대칭분 전압의 크기는 그림 2에 나타낸 것 보다 더 복잡하게 된다.

따라서 본 논문에서는 계전기 설치점에서 측정된 정상분 전압과 역상분 전압의 크기가 다르므로 정상분 전압과 역상분 전압의 크기를 같게 만들기 위하여 각 상 대칭분 전압의 단위벡터를 사용하였다.

### 3.2 각 상 대칭분 전압의 단위 벡터

고장상 선택을 위한 정상분 전압과 역상분 전압은 식 (2) 처럼 선로 고장시 선로에서의 전압 강하를 고려한 각 상 고장 전압을 이용하였다[6][7][8].

$$\begin{aligned} V_{AF} &= V_A - Z_{IL} \cdot \left[ I_A + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3Z_{1L}} \times (3I_0) \right] \\ V_{BF} &= V_B - Z_{IL} \cdot \left[ I_B + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3Z_{1L}} \times (3I_0) \right] \\ V_{CF} &= V_C - Z_{IL} \cdot \left[ I_C + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3Z_{1L}} \times (3I_0) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

- 여기서,  $V_{AF}, V_{BF}, V_{CF}$  ; 각 상 고장 전압
- $V_A, V_B, V_C$  ; 각 상 모선 전압
- $I_A, I_B, I_C$  ; 각 상 고장 전류
- $I_0$  ; 영상분 전류
- $Z_{1L}$  ; 선로의 정상분 임피던스
- $Z_{0L}$  ; 선로의 영상분 임피던스

식 (2)로부터 계산된 각 상 전압을 이용하여 각 상의 정상분 전압( $V_{1AF}, V_{1BF}, V_{1CF}$ )과 역상분 전압( $V_{2AF}, V_{2BF}, V_{2CF}$ )을 계산하고, 계산된 정상분 전압과 역상분 전압의 크기를 같게 만들기 위해 식 (3)을 이용하여 정상분 전압과 역상분 전압의 단위벡터를 구한다.

$$\begin{aligned} U_{1A} &= \frac{V_{1AF}}{|V_{1AF}|}, & U_{2A} &= \frac{V_{2AF}}{|V_{2AF}|} \\ U_{1B} &= \frac{V_{1BF}}{|V_{1BF}|}, & U_{2B} &= \frac{V_{2BF}}{|V_{2BF}|} \\ U_{1C} &= \frac{V_{1CF}}{|V_{1CF}|}, & U_{2C} &= \frac{V_{2CF}}{|V_{2CF}|} \end{aligned} \quad (3)$$

- 여기서,  $U_{1A}, U_{1B}, U_{1C}$  ; 정상분 전압 단위 벡터
- $U_{2A}, U_{2B}, U_{2C}$  ; 역상분 전압 단위 벡터

식 (3)으로부터 계산한 정상분 전압의 단위벡터와 역상분 전압의 단위 벡터를 이용하여 식 (4)와 같이 두 단위벡터의 벡터합을 구한다.

$$\begin{aligned} U_A^{12} &= U_{1A} + U_{2A} \\ U_B^{12} &= U_{1B} + U_{2B} \\ U_C^{12} &= U_{1C} + U_{2C} \end{aligned} \quad (4)$$

### 3.3 고장발생시 단위 벡터 합의 크기

#### 3.3.1 1선 지락 고장

그림 3은 1선 지락(SLG) 고장시 고장상과 건전상의 정상분 전압의 단위 벡터와 역상분 전압의 단위 벡터의 벡터합의 크기를 나타낸 것이다.

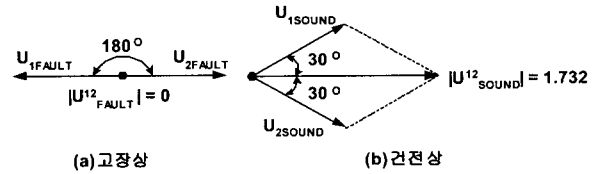


그림 3 1선 지락 고장시 고장상과 건전상의 단위벡터 합  
Fig. 3 The Sum of Unit Vectors During SLG Fault

그림 3에서 고장상의 단위 벡터합의 크기는 0이 되고 건전상의 단위벡터합의 크기는 1.732가 됨을 알 수 있다. 이를 1선 지락 고장의 고장 유형(AG, BG, CG)에 대해 각각 정리하면 표 1과 같다.

표 1 1선 지락 고장시 단위 벡터합의 크기  
Table 1 The Sum of Unit Vectors During SLG Fault

고장유형	AG	BG	CG
$U_{A12}$	0	1.732	1.732
$U_{B12}$	1.732	0	1.732
$U_{C12}$	1.732	1.732	0

표 1에서 1선 지락 고장시, 고장상과 건전상은 0과 1.732 사이의 값으로 구별할 수 있다. 즉, 1.732보다 작으면 고장상 이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 계전기 오차 및 PT 오차에 의한 영향 때문에 발생할 수 있는 오동작을 방지하고 1선 고장시 고장상과 건전상의 구분을 확실하게 하기 위하여 고장상 판단 기준값을 1.732와 0의 거의 중간값인 1.0으로 선택하였다.

#### 3.3.2 2선 고장

그림 4는 2선 고장시 고장상과 건전상의 정상분 전압의 단위 벡터와 역상분 전압의 단위 벡터의 벡터합의 크기를 나타낸 것이다.

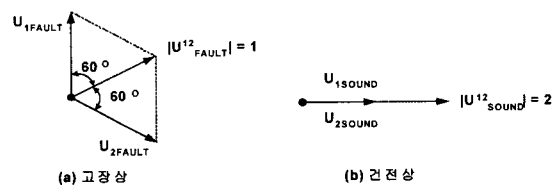


그림 4 2선 고장시 고장상과 건전상의 단위벡터 합  
Fig. 4 The Sum of Unit Vectors During Double-Line Fault

그림 4에서 건전상의 단위 벡터합의 크기는 2가 되고 고장상의 단위 벡터합의 크기는 1이 됨을 알 수 있다. 이를 2선 고장의 고장 유형(ABG, BCG, CAG, ABS, BCS, CAS)에 대해 각각 정리하면 표 2와 같다.

표 2 2선 고장시 단위 벡터합의 크기

Table 2 The Sum of Unit Vectors in Double Line Fault

고장유형	ABS	BCS	CAS	ABG	BCG	CAG
U <sub>A12</sub>	1	2	1	1	2	1
U <sub>B12</sub>	1	1	2	1	1	2
U <sub>C12</sub>	2	1	1	2	1	1

표 2에서 2선 고장시, 고장상과 건전상은 1과 2사이의 값을 이용하여 구분할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 2보다 작으면 고장상이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 2선 지락 고장시 건전상과 고장상 구분을 위한 기준값으로 1.8을 사용하였다. 이 값은 1선 지락 고장시 2선 고장용 고장상 선택 알고리즘이 오동작하지 않도록 1선 지락 고장시 건전상의 정상분과 역상분 전압의 단위 벡터합의 크기인 1.732보다 더 큰 값으로 선정된 것이다.

표 3은 고장 유형에 따른 건전상과 고장상의 판단기준값을 나타낸 것이다.

표 3 건전상과 고장상의 판단기준값

Table 3 The Criterion Between Sound and Fault Phase

고장유형	고장상	건전상	판단기준값
1선고장	0	1.732	1.0
2선고장	1	2	1.8

3.3.3 1선 지락 고장과 2선 고장의 구분

표 3에서 1선 지락 고장의 판단 기준값이 2선 고장시 고장상의 단위벡터 합의 크기와 같으므로 1선 지락 고장시 건전상을 2선 지락 고장의 고장상으로 오판할 수 있다. 또한, 고장점 추정 알고리즘에 고장 유형에 대한 정확한 정보를 제공하거나 고장 제거후 고장 원인 분석을 위해 고장 유형을 정확하게 구별하는 것은 필수적이다. 따라서 1선 지락 고장과 2선 고장을 구분할 수 있는 기준으로 영상전압과 역상전압의 비를 이용하였다. 각 고장 유형에 따른 영상 전압과 역상 전압의 비는 표 4와 같다.

표 4 고장 유형에 따른 영상 전압과 역상 전압의 비

Table 4 The Ratio of  $V_2$  and  $V_0$

고장유형	$ V_0 / V_2 $
1선 지락	$ Z_0 / Z_2 $
2선 단락	0
2선 지락	$ Z_0Z_2 / Z_2(Z_0+3R_G) $

표 4에서 실 계통의 경우 영상 임피던스의 크기가 역상 임피던스의 크기보다 보통 2배 이상의 상당히 큰 값을 가지

므로 1선 지락 고장시 영상전압과 역상전압의 크기의 비는 2보다 상당히 큰 값을 갖고, 2선 지락 고장시 지락저항에 의해 영상전압과 역상전압의 크기의 비는 1이하의 값을 갖는다. 즉, 영상전압과 역상 전압의 크기의 비는 1선 지락 고장시 보통 2보다 상당히 큰 값을 갖고 2선 지락 고장이나 2선 단락 고장의 경우엔 1이하의 값을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 영상 전압과 역상 전압의 크기의 비가 1과 2의 중간 값인 1.5보다 작을 경우엔 2선 지락 고장으로 간주하고 클 경우엔 1선 지락 고장으로 판단하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다. 그림 5에서 역상전압의 크기가 역상전압 정정치( $V_{2LVL}$ )보다 크면 제안한 알고리즘이 시작되고, 영상전압이 영상전압 정정치( $V_{0LVL}$ )와 영상전압 정정치( $V_{0LVL}$ )의 정정은 실 계통의 정상 운전상태에서 측정되는 역상전압과 영상전압의 크기보다 크게 정정하여야 하고, 고장상 선택 알고리즘의 감도가 고장 검출용 계전요소들(거리 계전요소, 과전류 계전요소 등)의 감도보다 좋게 하기 위하여 영상 과전압 계전요소와 역상 과전압 계전요소들의 정정치보다 작게 정정하여야 한다.

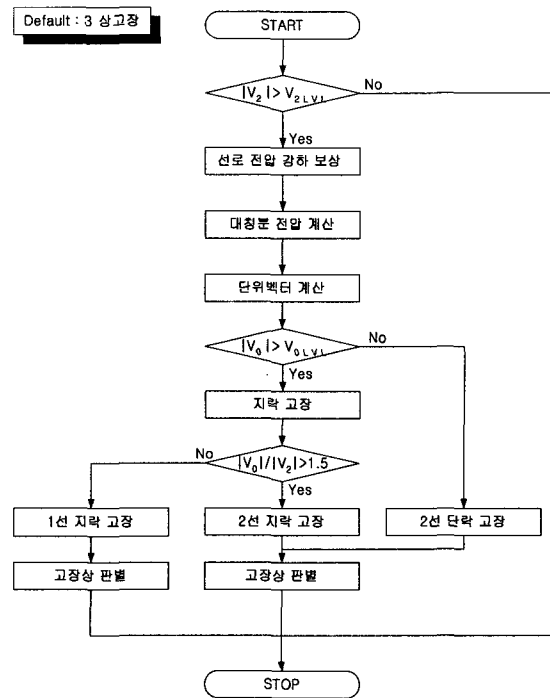


그림 5 제안한 고장상 선택 알고리즘 흐름도

Fig. 5 The Flowchart of Proposed Algorithm

4. 시뮬레이션 및 고찰

4.1 Case 1 - 양단전원 병행 2회선 계통

본 논문에서 제안한 고장상 선택 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 그림 6과 같은 154[kV]급 양단 전원 병행 2회선 송전계통을 모의하였고, EMTDC를 이용하여 1 cycle(약 16.7ms)당 24샘플로 고장 데이터를 생성하였다. 고장 데이터

는 선로 길이가 25[km]인 송전선에서 계전기 설치점 근방과 Zone 1, Zone 2, Zone 3의 경계점 부근에서 고장 저항(0[Ω], 10[Ω], 20[Ω], 30[Ω])을 변화시켜 9가지의 고장을 모의하였다.

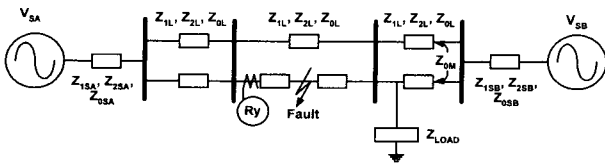


그림 6 양단전원 병행 2회선 모델 계통  
Fig. 6 Model System with Parallel Transmission Lines

표 5 모델 계통 데이터  
Table 5 Model System Parameter

구 분	정상분 임피던스	영상분 임피던스		
		Self	Mutual	
전원 [Ω]	S <sub>A</sub>	5.0854+j36.649	10.968+j83.281	-
	S <sub>B</sub>	1.2280+j9.9167	4.198+j21.596	-
선로[Ω/km]		0.1006+j0.4667	0.309+j1.3094	0.208+j0.696
부하[Ω]		155.1+j50.9	-	-

각 고장 유형에 따라 고장저항을 0[Ω], 10[Ω], 20[Ω], 30[Ω]으로 변화시켰을 때 제안한 알고리즘은 각 고장유형에 따라 정확하게 고장상과 건전상을 구분하였다.

그림 7은 선로의 80%지점에서 고장저항이 0Ω인 A상 지락 고장(AG)시 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 고장상 판단 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

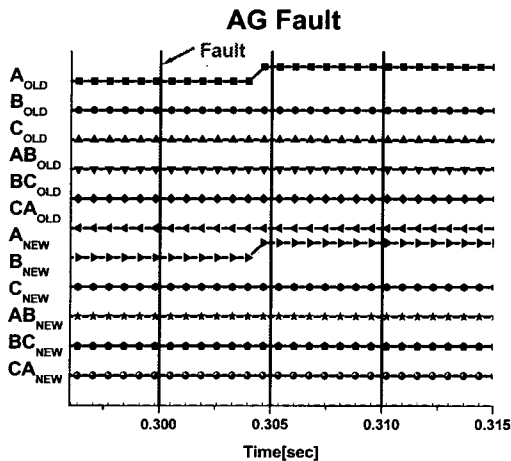


그림 7 A상 지락 고장(80%, R<sub>f</sub>=0Ω)  
Fig. 7 Single-Line-to-Ground Fault(AG, 80%, R<sub>f</sub>=0Ω)

그림 7에서 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘은 모두 고장 발생 시점에서 4.9ms 후에 고장상을 판별하였다.

그림 8은 선로의 150%지점에서 고장저항이 10Ω인 BC상 지락 고장(BCG)시 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 고장상 판단 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

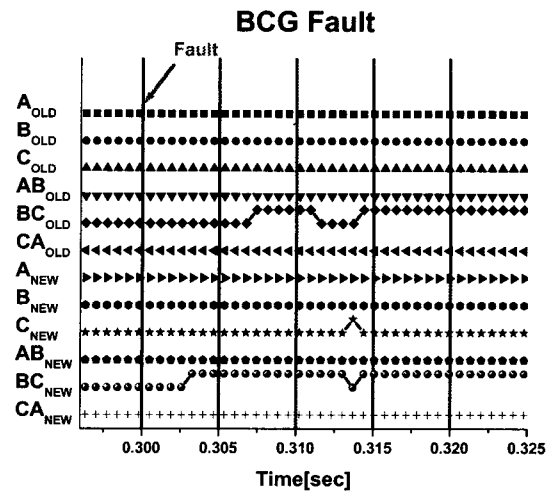


그림 8 BC상 지락고장(150%, R<sub>f</sub>=10Ω)  
Fig. 8 Line-to-Ground Fault(BCG, 150%, R<sub>f</sub>=10Ω)

그림 8에서 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘은 고장발생 시점에서 15ms 후에 고장상을 판별하였다. 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘은 각각 고장 발생 후 7.64ms와 3.47ms에서 처음으로 고장상을 판별하였으나 고장발생 때문에 나타나는 과도현상으로 인하여 기존 알고리즘은 고장상 판단후 2.78ms 동안 고장이 아니라고 판단하였지만 제안한 알고리즘은 고장상 판단후 단지 0.69ms 동안만 고장이 아니라고 판단하였다. 따라서 기존 알고리즘보다 제안한 알고리즘이 과도상태에서의 성능이 보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 선로의 250%지점에서 고장저항이 20Ω인 BC상 단락 고장(BCS)시 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 고장상 판단 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

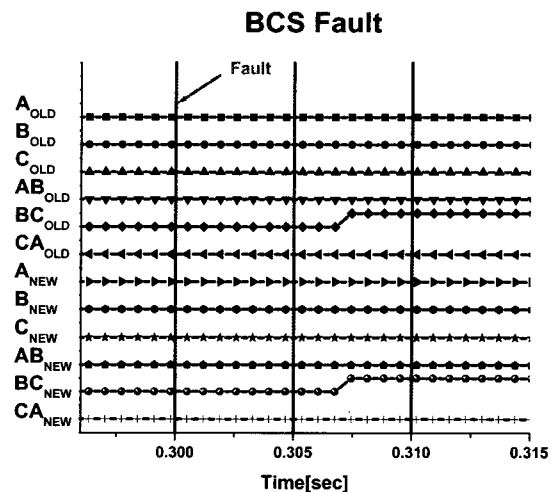


그림 9 BC상 단락고장(250%, R<sub>f</sub>=20Ω)  
Fig. 9 Line-to-Line Fault(BCS, 250%, R<sub>f</sub>=20Ω)

그림 9에서 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘은 모두 고장발생시점에서 7.64ms 후에 고장상을 정확하게 판별하였다.

4.2 Case II - 약전원 계통

약전원 계통에서 제안된 알고리즘의 성능을 시험하기 위해 그림 10과 같은 약전원을 갖는 154kV급 양단 전원 병행 2회선 송전 계통을 모의하였고, EMTDC를 이용하여 각 고장 유형에 따라 1cycle당 24샘플의 고장 전압과 고장 전류를 생성하였다. 고장 위치는 선로의 90%지점에서 1선 지락, 2선 지락, 2선 단락 고장을 각각 모의하였다.

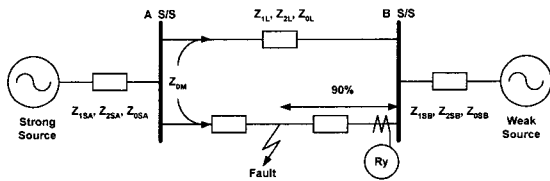


그림 10 약전원 모델 계통  
Fig. 10 Weak-End Infeed Model System

표 6 모델 계통 데이터  
Table 6 Model System Parameter

구분	정상분 임피던스( $Z_1$ )	영상분 임피던스		
		Self( $Z_0$ )	Mutual( $Z_{0M}$ )	
전원	$S_A$	$5.0854+j36.649$	$10.968+j83.281$	-
[ $\Omega$ ]	$S_B$	$1.2280+j9.9167$	$4.198+j21.596$	-
선로		$0.101+j0.4667$	$0.309+j1.309$	$0.208+j0.696$

약전원 계통은 선로 고장시 전원이 선로 보호용 계전기가 동작하는데 충분한 전류를 공급해주지 못하는 모션을 갖는 계통으로 방사상 2회선 계통, 발전기 연계 계통, 또는 소용량의 발전기를 갖는 모션등에서 나타날 수 있다[9]. 이러한 약전원 조건중 최악의 경우를 모의하기위해 선로의 90%지점에서 9가지 고장을 발생시켰으며 고장저항은 5 $\Omega$ 으로 하였다.

그림 11은 약전원 계통에서 A상 지락고장이 발생하였을 때 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 고장상 선택 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

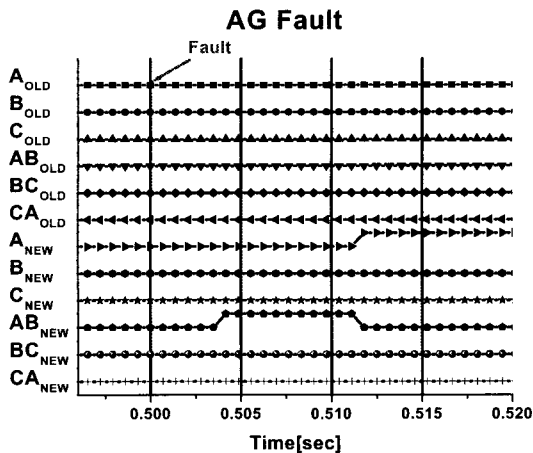


그림 11 A상 지락 고장시 고장상 판단 결과  
Fig. 11 The Result of Phase Selection for AG Fault

그림 11에서 기존 알고리즘은 고장상을 판단하지 못했지만 제안한 알고리즘은 초기에(4.17ms ~ 11.3ms) AB상 고장으로 판단하였다가 12ms후에는 정확하게 A상 지락고장으로 판단하였다. 그런데 현재 실 계통에서 사용되고 있는 계전기의 순시 동작시간은 30ms이내이고 계전기가 최종 트립 신호를 내보내기 위해선 거리 계전요소나 과전류 계전요소등과 같은 다른 계전요소들과 보호 협조하여 동작한다. 이들 계전요소들은 DC Offset등과 같은 과도현상의 영향과 기본파 성분 추출을 위해 사용하는 Full Cycle DFT Filter의 특성 때문에 보통 1 Cycle(16.7ms)이후에 고장을 판별한다. 따라서 이들 계전요소들과 제안한 알고리즘이 보호 협조하여 동작하는데 전혀 문제가 되지 않는다.

그림 12는 약전원 계통에서 BC상 지락 고장이 발생하였을 때 기존알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하여 나타내었다.

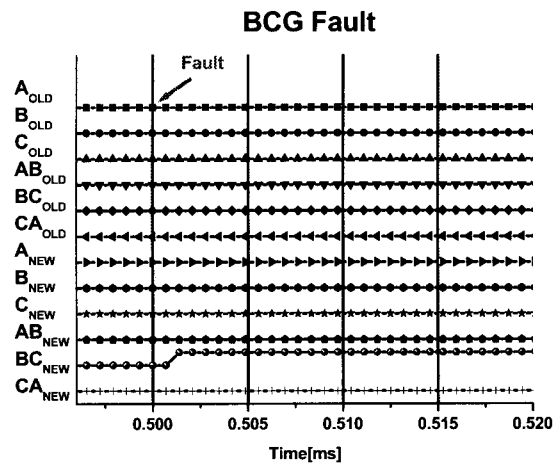


그림 12 BC상 지락고장시 고장상 판단결과  
Fig. 12 The Result of Phase Selection for BCG Fault

그림 12에서 BCG 고장시 기존 알고리즘은 고장상을 구분하기에 충분한 고장전류를 측정할 수 없으므로 고장상을 판별할 수 없었지만 제안한 알고리즘은 대칭분 전압을 이용하였기 때문에 1.39ms에 정확하게 고장상을 판별하였다.

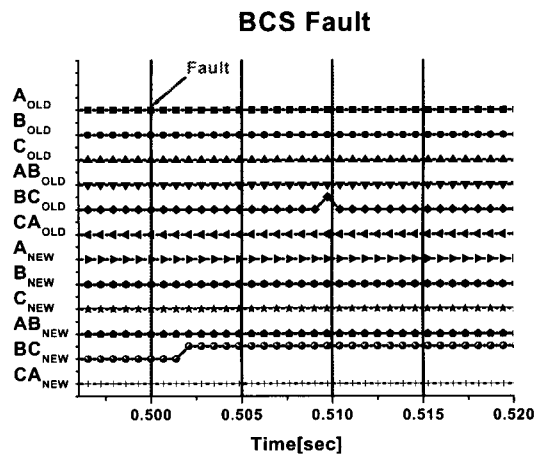


그림 13 BCS 고장시 고장상 판단 결과  
Fig. 13 The Result of Phase Selection for BCS Fault

그림 13은 약전원 계통에서 BC상 단락 고장이 발생하였을 때 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 13에 나타난 것처럼 약전원 조건하에서 BC상 단락 고장시 기존 알고리즘은 고장상 판별에 실패하였지만 제안한 알고리즘은 2.08ms에서 정확하게 고장상을 판별하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 실제 계전기를 구현할 때 정확한 고장 발생 시각을 알 수 없으므로 순수 고장 전류만을 정확하게 추출하는 것은 힘들고, 특히 약전원 계통에서 고장 발생시 고장점으로 유입되는 고장 전류가 평상시 부하전류보다 더 작아 질수 있고 지락 고장시 인접 변전소의 Y접지된 변압기를 통해 유입되는 영상전류의 영향으로 인하여 각 상 전류 신호가 왜곡되기 때문에 대칭분 전류의 위상관계만을 이용한 기존의 알고리즘은 오동작할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 선로의 전압 강하를 고려한 대칭분 전압의 단위벡터를 이용한 고장상 선택 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 양단전원 2회선 계통에서 기존의 알고리즘보다 2선 지락 고장시 과도 상태에서 더 안정적으로 동작하였으며 1선 지락 고장 및 2선 단락 고장의 경우엔 거의 동일하게 동작하였다.

특히 약전원 계통에선 고장 발생시 고장점으로 유입되는 고장 전류가 평상시 부하전류보다 더 작아 질수 있고 지락 고장시 인접 변전소의 중성점이 접지된 변압기를 통해 유입되는 영상전류의 영향으로 인하여 각 상 전류 신호가 왜곡되기 때문에 정확하게 고장상을 판단할 수 없었지만 제안한 알고리즘은 3상 PT Fuse 불량이나 계전기 설치점 근방의 3상 완전 고장과 같은 매우 드문 고장을 제외하면 고장상을 구별하기에 충분히 존재하는 대칭분 전압의 단위벡터를 이용함으로써 고장 발생 후 1 Cycle (16.7ms)안에 정확하게 고장상을 판단 할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] ABB, "REL521 User's Guide", 1996.
- [2] GE, "DLP-Digital Line Protection", 1997
- [3] B. Kasztenny, B. Campbell, J. Mazereeuw, "Phase Selection for Single-Pole Tripping - Weak Infeed Conditions and Cross-Country Faults", 27th Western Protective Relay Conference, 2000
- [4] Mitsubishi, "Instruction Manual Digital Distance Relay Scheme Type MDT-F", Ver. F, 1999.
- [5] Toshiba, "Numerical Distance Relay Type GRZ - 100"
- [6] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", Marcel Dekker, 1994
- [7] J. Lewis Blackburn, "Protective Relay Principles and Applications", Marcel Dekker, 1998
- [8] GE, "Single-Pole Tripping with SLYP-SLCN Relay System Description and Application"

## 저 자 소 개



### 이 명 수 (李 命 洙)

1972년 3월 15일생. 1996년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~2000년 (주)한우테크 기술연구소 연구원, 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

E-mail : relay21@ihanyang.ac.kr



### 이 재 규 (李 在 奎)

1962년 8월 10일생. 1986년 영남대 전기공학과 졸업. 1990년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 박사과정 수료. 1989년~1999년 LG산전 연구소 선임연구원. 현재 대덕대학 전임강사

E-mail : leejg@mail.ddc.ac.kr



### 김 수 남 (金 垂 南)

1969년 6월 2일생. 1996년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

E-mail : stability2000@hotmail.com



### 유 석 구 (劉 錫 九)

1938년 10월 31일생. 1961년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한양대 공대 전기공학과 교수. 1996년 당학회 회장

E-mail : skyou@mail.hanyang.ac.kr