

# 장거리 병렬 송전선로용 대지 정전용량 보상에 의한 고장점 표정 알고리즘

論 文

54P-4-1

## Fault Location Algorithm with Ground Capacitance Compensation for Long Parallel Transmission Line

朴 哲 圓<sup>†</sup> · 金 三 龍<sup>\*</sup> · 申 明 澈<sup>\*\*</sup>

(Chul-Won Park · Sam-Ryong Kim · Myong-Chul Shin)

**Abstract** - This paper deals with an improved fault location algorithm with compensation ground capacitance through distributed parameter for a long parallel T/L. For the purpose of fault locating algorithm non-influenced by source impedance and fault resistance, the loop method was used in the system modeling analysis. This algorithm uses a positive and negative sequence of the fault current for high accuracy of fault locating calculation. Power system model of 160km and 300km long parallel T/L was simulated using EMTP software. To evaluate of the proposed algorithm, we used the several different cases 64 sampled data per cycle. The test results show that the proposed algorithm was minimized the error factor and speed of fault location estimation.

**Key Words** : Compensation ground capacitance, EMTP, Fault location, Long parallel transmission line

### 1. 서 론

전력시스템은 가능한 최고의 연속성을 가지고 전기에너지 를 신뢰성 있게 공급해 주도록 설계되어야 한다. 그 중 송 전선로는 기기나 모선에 비하여 넓은 지역에 노출·분포되 어 있기 때문에 뇌나 풍우 등 자연조건의 영향을 받아 고장 이 많이 발생된다. 이때 고장점 표정장치(fault locator:이하 고장점 표정기)는 송전선로에 사고가 발생하였을 때 고장지점 과 고장의 형태를 계측하여 고장직후의 보수 등 조치를 원 활하게 해주는 역할을 함으로써 전력시스템을 신속하게 회 복시켜준다[1, 2].

고장점 표정기는 송전선로 양단의 데이터를 이용, 계측하면 정확성을 더욱 높일 수 있으나, 실용적인 측면을 고려하여 편단의 전압과 전류데이터를 이용한 기법들이 사용되고 있 다. 그럼에도 불구하고 1차 보호영역의 끝 부분에서 발생되 는 등의 특정한 고장의 경우라도 고장점 표정기는 정확하게 고장 발생점을 찾아 주어야 한다. 그러나 고장점까지의 거 리를 계산하는데 있어서 부하조류와 고장저항 등의 가변적 인 요소들로 인해 정확하게 산정하기가 까다로웠기 때문에 근래에 새로운 표정 알고리즘들이 많이 발표되고 있다. 기 준에는 고장저항을 포함한 채 대지성분의 비만을 이용하여 거리를 계산하는 기법이 사용되었으나[3, 4], 최근에는 고장 저항의 유무 대소에 영향을 거의 받지 않는 알고리즘이 개 발되는 등, 고장저항으로 인한 오차를 최소화하는 연구가 지 속되고 있다[6, 7]. 이 중 전류분배계수를 이용한 알고리즘은 자기단의 정보를 이용하여 상대단의 정상분 전류와 건전회 선의 영상분 전류를 추정하는 방식으로 높은 정확성을 나 타내지만 양단의 전원임피던스를 입력 값으로 활용해야하기

때문에 여전히 오차가 발생하고 있다. 한편 대지성분을 이 용하여, 고장 전 측정뿐만 아니라 자기단과 원단의 장비에 대한 전원 임피던스를 사용하지 않는 알고리즘도 발표되었 다[8]. 이 기법은 원거리 전원 임피던스는 측정될 수 없고 고장전 측정값은 신뢰성이 없거나 사용할 수 없는 값일 때 가 있기 때문에 다소 개선된 점이라 할 수 있다. Liao와 Elangovan[9], Sheng와 Elangovan[10], Zhang et al [11, 12] 은 고장점 표정을 개선하기 위해서 건전상의 모든 전류 조 사했으나 Loop 고장발생 모델을 사용하였고 고장전류의 영 상분은 사용하지 않았다. 이유는 고장전류의 영상분은 대지 의 저항성분에 따라 달라지기 때문이고 대지의 저항성분은 날씨에 따라 영향을 많이 받아 신뢰성을 갖지 못하는 것으 로 생각된다. 더욱이 가공지선(overhead ground wire)의 영 향에 따라 영상임피던스는 선로를 따라 일정하지 않기 때문 에 고장난 선로를 따라 전압강하가 발생하는 곳에서는 영상 임피던스를 고려하지 않았고, 고장점 표정에 대한 정확성을 높이기 위해서 각각의 고장형태에 해당하는 경계조건들을 이용하여 가중계수(weighting coefficients)를 구하여 사용하 였다.

본 논문에서는 종래의 선로의 임피던스만을 이용한 알고 리즘이 갖는 고장점 추정오차를 감소하기 위하여 분포정수 해석상에서 대지정전용량을 고려하였다[13]. 먼저 고장파형 의 전압과 전류신호를 설계한 저역통과 필터(LPF)를 통과시 켜 고조파를 제거하고 전류신호의 직류오프셋 성분을 제거하 기 위하여 직류오프셋 제거필터(DC-offset removal filter)를 거쳐 이득을 보정하였다[5]. 다음 이산푸리에변환(DFT) 필 터를 이용하여 기본주파수성분(이하 기본파)을 추출하게 하 였다. 전처리과정이 끝난 후 고장전후의 페이저 도를 이용 한 고장점 표정식을 유도 과정을 거쳐서 새로운 고장점 표 정기법을 도출하였다. 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위 해 사용되는 사례연구용 데이터들은 전자파도해석 프로그램 인 EMTP에 의하여 양전원 병행 2회선 모델 전력시스템을 모의하였고 고장저항, 고장위상각 및 고장발생지점 등을 변 화해 가면서 실험하였다.

### 2. 대지 정전용량을 이용한 개선된 고장점 표정 알고리즘

<sup>†</sup> 교신저자, 終身會員 : 原州大 電氣科 副教授 · 工博

E-mail : cwpark@wonju.ac.kr

<sup>\*</sup> 正 會 員 : 바울소프트 技術研究所 研究員 · 碩士

<sup>\*\*</sup> 終身會員 : 成均館大 情報通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 8月 25日

最終完了 : 2005年 11月 7日

2.1 전처리 과정

고장점 표정에 앞서 사고 발생 직후의 전압과 전류의 왜형이 심하기 때문에 빠르고 정확한 계산을 위해서는 전처리 과정이 선행되어야 한다. 송전선로에서 고장이 발생하면 커패시턴스 성분에 의해 고조파가 발생하게 되고 선로의 리액턴스 성분에 의해 지수함수 적으로 감소하는 직류성분 등의 과도현상에 의하여 고장파형이 심하게 왜곡된다. 따라서 전압과 전류를 이용하는 고장점 표정기법 사용 시 정확한 결과를 얻기 위해서는 이들 고조파와 직류성분을 제거해 주어야만 한다. 이에 따라 중첩방지(anti-aliasing) LPF와 직류오프셋 제거필터를 이용하여 고조파와 직류오프셋 성분을 제거한 후 DFT 필터를 이용해 기본파를 추출하여 고장점 표정을 위한 연산에 활용하였다. 그림 1은 제안된 기법의 흐름도이다.

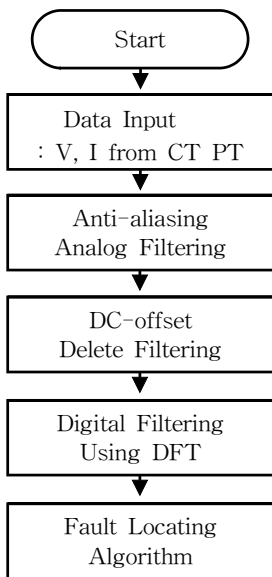


그림 1 제안된 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1 Flow chart of the proposed algorithm

2.2 분포정수를 이용한 개선된 고장점 표정 알고리즘

종래의 고장점 표정 알고리즘에서는 대지충전전류에 의한 영향을 고려하지 않고 선로의 임피던스만을 이용하여 계산하게 되는데 이때 장거리 송전선의 경우 대지충전전류는 고장점을 추정하는데 오차를 불러일으킬 수 있다. 본 논문에서는 분포정수회로 해석을 통하여 송전선로의 대지충전전류를 고려해 줌으로써 고장점 표정 시의 오차를 감소시킬 수 있는 개선된 고장점 표정알고리즘을 제안하였다. 그림 2는 제안한 분포정수를 이용한 고장점 표정의 블록도이다.

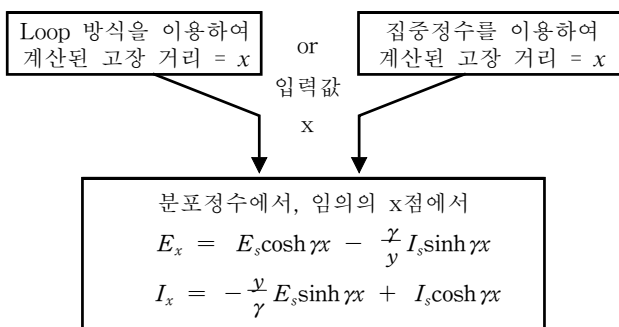


그림 2 분포정수를 이용한 개선된 고장점 표정 알고리즘의 블록도  
Fig. 2 Block diagram of advanced fault location algorithm using distribution parameter

2.2.1 집중정수에서의 대지충전전류를 고려한 알고리즘

단거리 송전선로에서는 정전용량의 영향을 무시할 수 있으나 중거리 및 장거리 송전선로에서는 정전용량의 영향을 무시할 수 없기 때문에 좀더 정확한 고장점 추정을 위해서는 대지충전전류를 고려해 주어야 한다. 이 경우 중거리 송전선로에서는 저항, 리액턴스 및 어드미턴스의 집중정수회로를 사용하고 장거리 송전선로에서는 분포정수를 사용하게 된다. 먼저 집중정수를 이용하여 병행 2회선 송전선로에서 고장이 발생할 대지정전용량을 고려하여 그림 3과 같이 회로를 등가화시킬 수 있고 이를 다시 그림 4처럼 정상, 역상회로로 나타낼 수 있다.

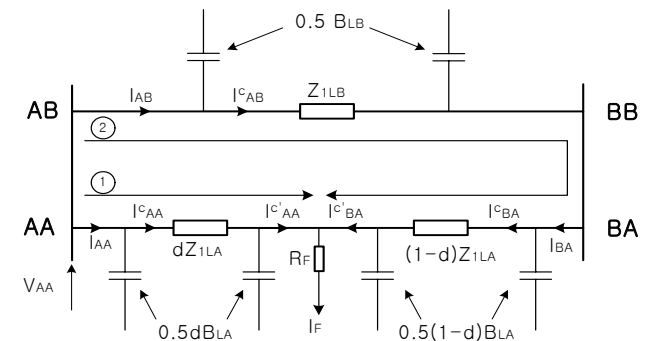
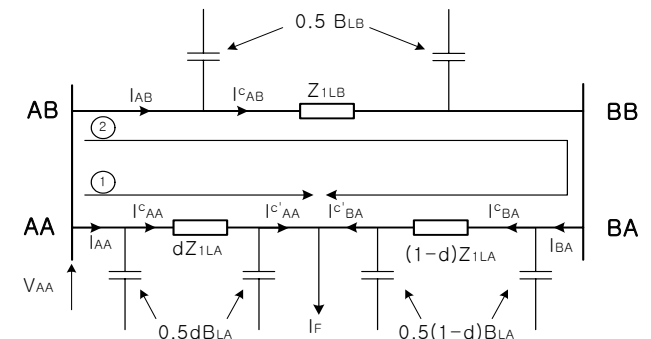
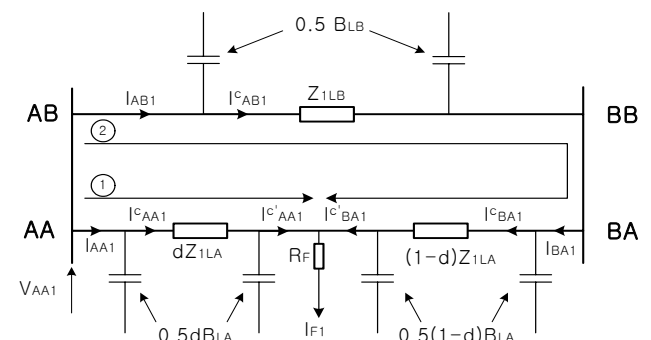


그림 3 집중 정수로 나타낸 병행 2회선 송전선로 등가회로  
Fig. 3 Equivalent circuit of parallel double transmission line using lumped parameter

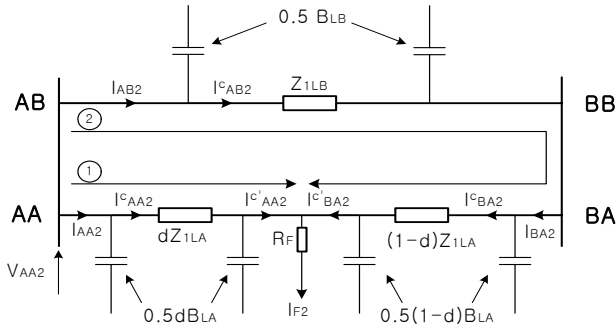
Loop 방식을 이용한 회로 해석에서는 고장전류의 영상분을 사용하지 않기 때문에 그림 4(b), (c)와 같이 정상회로와 역상회로만으로 표시할 수 있다.



(a) 사고발생 계통 등가회로  
(a) Equivalent circuit of faulted power system



(b) 고장전류의 정상분 등가회로  
(b) Positive sequence equivalent circuit of fault current



(c) 고장전류의 역상분 등가회로

(c) Negative sequence equivalent circuit of fault current

그림 4 대지 정전용량을 고려한 사고발생 계통 등가회로  
Fig. 4 Equivalent circuit of fault occurred system under consideration self capacitance

그림 4에서 전압강하는 식(1)과 같이 표현된다.

$$V_{AA} - I_{AA}^C dZ_{1LA} - I_F R_F = 0 \quad (1)$$

여기서  $I_{AA}^C$ 는 송전선로의 대지 충전 전류에 의한 전류의 감소를 나타낸 전류로서 식(14)와 같이 계산 된다.

$$\begin{aligned} I_{AA}^C &= I_{AA} - I_Y \\ &= I_{AA} - 0.5B_{LA} V_{AA} d \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $B_{LA1} = j\omega C_A$ ,  $Y$ : 어드미턴스이다.

충전 전류를 고려한 전류  $I_{AA}^C$ 를 대칭성분으로 표현하면 식(3)이 된다.

$$\begin{aligned} I_{AA}^C &= \left( a_1 I_{AA1} + a_2 I_{AA2} - a_0 \frac{Z_{0LA}}{Z_{1LA}} I_{AA0} + a_0 \frac{Z_{0m}}{Z_{1LA}} I_{AB0} \right) \\ &\quad - 0.5(B_{LA0} V_{AA0} + B_{LA0} V_{AA0} + B_{LA0} V_{AA0}) \cdot d \end{aligned} \quad (3)$$

그림 4(a)로부터 고장전류  $I_F$ 는 식(4)와 같이 계산되고, 고장점 전압은 식(5)과 같이 계산된다.

$$I_F = I_{AA}^C + I_{BA}^C \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } I_{AA}^C &= I_{AA}^C - 0.5d B_{LA} V_F, \\ I_{BA}^C &= I_{BA}^C - 0.5(1-d) B_{LA} V_F \text{이다.} \end{aligned}$$

$$V_F = V_{AA} - I_{AA}^C d Z_{1LA} \quad (5)$$

다시 식(4)로부터 고장전류  $I_F$ 는 식(6)과 같이 된다.

$$I_F = I_{AA}^C + I_{BA}^C - 0.5B_{LA}(V_{AA} - I_{AA}^C d Z_{1LA}) \quad (6)$$

또한 Loop ①과 ②의 전압강하는 같기 때문에 식(7)과 같이 정리할 수 있다.

$$I_{AA}^C d Z_{1LA} = I_{AB}^C Z_{1LB} + (1-d) Z_{1LA} I_{BA}^C \quad (7)$$

식(6)과 식(7)를 이용하여 원단의 정보인  $I_{BA}^C$ 를 소거해서

자기단의 정보만을 이용하여 고장전류를 나타내면 식(8)이 된다.

$$\begin{aligned} I_F &= I_{AA}^C + \frac{I_{AA}^C d Z_{1LA} - I_{AB}^C Z_{1LB}}{(1-d) Z_{1LA}} \\ &\quad - 0.5B_{LA}(V_{AA} - I_{AA}^C d Z_{1LA}) \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)을 이용하여 그림 4(b),(c)의 고장전류의 정상분과 역상분을 구한 다음 d에 관해서 정리하면 각각 식(9), 식(10)가 된다.

$$\begin{aligned} I_{F1} &= (-0.25 B_{LA1}^2 \cdot a_1 V_{AA1} Z_{1LA}) d^2 + (0.5 B_{LA1} Z_{1LA} \cdot a_1 I_{AA1}) d \\ &\quad + \frac{a_1 I_{AA1} - \frac{Z_{1LB}}{Z_{1LA}} a_1 I_{AB1} + 0.4 \left( \frac{Z_{1LB}}{Z_{1LA}} B_{LB1} - B_{LA1} \right) a_1 V_{AA1}}{1-d} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} I_{F2} &= (-0.25 B_{LA2}^2 \cdot a_2 V_{AA2} Z_{1LA}) d^2 + (0.5 B_{LA2} Z_{1LA} \cdot a_2 I_{AA2}) d \\ &\quad + \frac{a_2 I_{AA2} - \frac{Z_{1LB}}{Z_{1LA}} a_2 I_{AB2} + 0.4 \left( \frac{Z_{1LB}}{Z_{1LA}} B_{LB2} - B_{LA2} \right) a_2 V_{AA2}}{1-d} \end{aligned} \quad (10)$$

고장전류는 식(9), 식(10)를 이용하여 식(11)과 같이 계산 할 수 있다.

$$I_F = a_{F1} I_{F1} + a_{F2} I_{F2} \quad (11)$$

식(11)에 식(9), 식(10)를 적용시켜 실수부와 허수부로 각각 계산 한 뒤 고장저항  $R_F$ 를 소거해주면 d의 함수로 정리가 되고 이를 일반적인 형태로 나타내면 식(12)와 같은 형식으로 정리가 된다.

$$K_3 d^5 + K_4 d^4 + K_3 d^3 + K_2 d^2 + K_1 d + K_0 = 0 \quad (12)$$

여기서 고장점까지의 거리 d는 Newton의 반복법을 이용 함으로써 구할 수 있으며 대칭계수들을 이용함으로써 모든 고장에 대해서 해석이 가능하게 된다.

### 2.2.2 Loop 방식과 분포정수를 활용한 개선된 고장점 표정 알고리즘

분포정수를 활용하면 송전단의 전압과 전류가 주어졌을 경우 송전선 임의의 위치에서의 전압과 전류를 구할 수 있기 때문에 본 논문에서는 집중 정수를 통해 구해진 고장점까지의 거리를 활용하여 송전선의 고장지점에서 흐르는 전압과 전류를 구하고 이를 바탕으로 고장점을 재 추정하여 보다 정확한 표정을 도모하였다. 그림 5는 개선된 고장점 표정 알고리즘의 개념도이다.

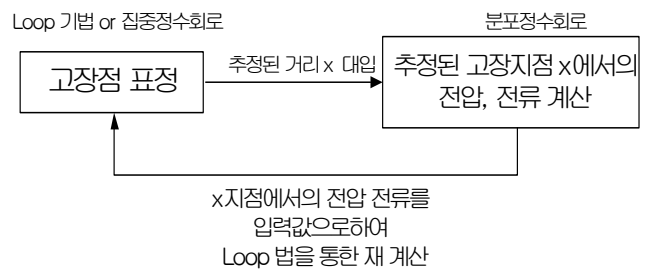


그림 5 개선된 고장점 표정 알고리즘의 개념도  
Fig. 5 Conception diagram of advanced fault location algorithm

### 3. 사례 연구

#### 3.1 모델 계통

본 논문에서 제시한 고장점 표정알고리즘의 타당성을 평가하기 위하여 그림 6과 같은 양전원 병행2회선 계통을 EMTP로 모의하였다. 시험 계통은 160[km], 300[km] 3상 154[kV] 송전선로로서, 전원 데이터와 선로정수는 표 1과 같다. 샘플링주파수는 3,840[Hz]로써 주기 당 64샘플의 데이터를 얻기 위하여 EMTP에서의 샘플링 시간간격은 0.2604[ms]로 하였다. 알고리즘 시험 데이터는, 고장저항, 고장위상각, 고장거리를 가변하면서 수집하였다.

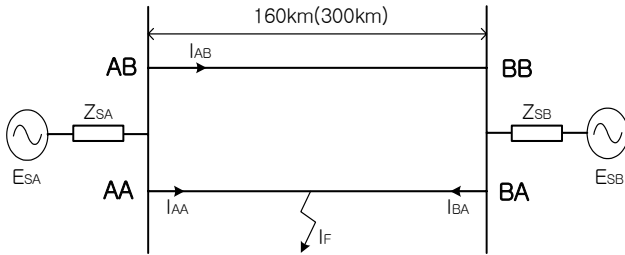


그림 6 장거리 병행 2회선로 모의 계통도  
Fig. 6 System diagram of long parallel double line

표 1 선로 및 전원데이터

Table 1 Line and source data

선로 정수	구 분	R[Ω/km]	L[mH/km]	C[μF/km]
	Zero Sequence	0.3088	1.3094	0.0038
Positive Sequence	0.1006	0.4655	0.0093	
Zero Mutual Sequence	0.2082	0.6961	0.0069	
전원	A 전원(6GVA)	X/R = 7, Z0/Z1 = 2		
	B 전원(4GVA)	X/R = 7, Z0/Z1 = 2		

#### 3.2 EMTP 시뮬레이션

정상상태에서의 송전선로에 흐르는 3상 전압과 전류 파형은, 고장이 발생되기 이전에는 각각 120°의 위상차를 가지고 있는 3상 평형이다. 그림 7과 그림 8은 a상 지락고장과 a-b상 단락고장시의 전압파형이다. 그림 8로부터 선간단락 고장이 발생하면 고장점에서 측정되는 전압은 같은 크기와 같은 위상을 가지나, 계전기에서 본 전압은 리액턴스에 의해 위상이 약간 다르게 관측되게 된다.

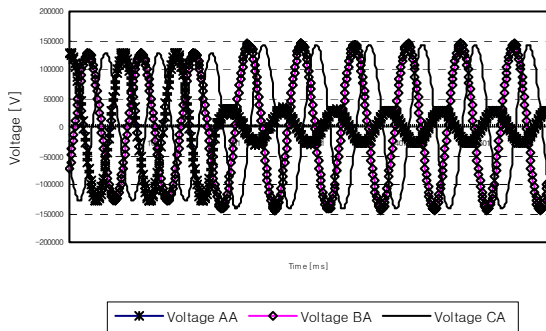


그림 7 1선 지락고장 시 전압파형  
Fig. 7 Voltage signals under single line to ground fault

그림 9부터 그림 11까지는 지락고장과 단락고장시의 전류

파형이다. 고장위상각이 0°인 그림 9의 1선 지락고장과 그림 11의 선간 단락고장에서는 리액턴스 성분에 의해 전류가 전압보다 90°앞선 위상을 가지게 되고 그때의 전류파형은 지수 함수적인 감소를 가지는 직류 올셋 성분이 매우 크게 나타난다. 그러나 고장위상각이 90°인 그림 10의 1선 지락고장 시에는 전류의 위상이 0°이기 때문에 리액턴스 성분이 나타나지 않아 직류올셋은 발생하지 않는다. 한편 고조파 성분은 고장발생시 전압의 위상이 90°일 때 가장 크게 나타난다. 이러한 현상은 고장점에서의 전압 파동 현상에 의한 결과로 전압이 클수록 고장 발생 거리가 가까울수록 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

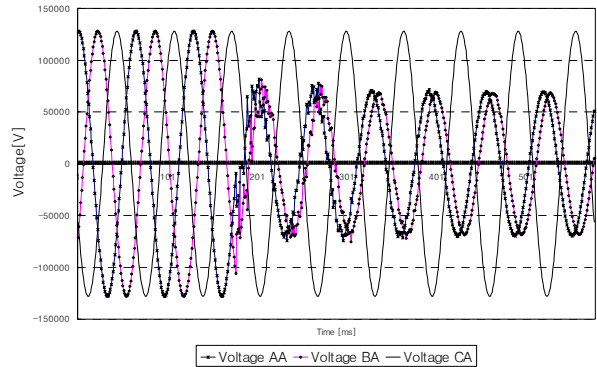


그림 8 선간 단락고장 시 전압파형  
Fig. 8 Voltage signals under line to line short fault

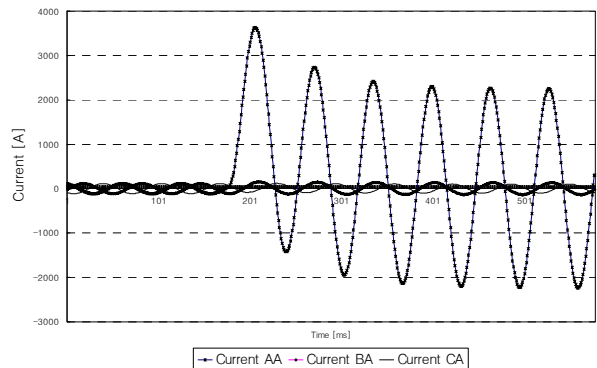


그림 9 1선 지락사고 시 3상 전류파형(고장위상각 0°)  
Fig. 9 Three phase current signals under single line to ground fault(faulted inception angle 0°)

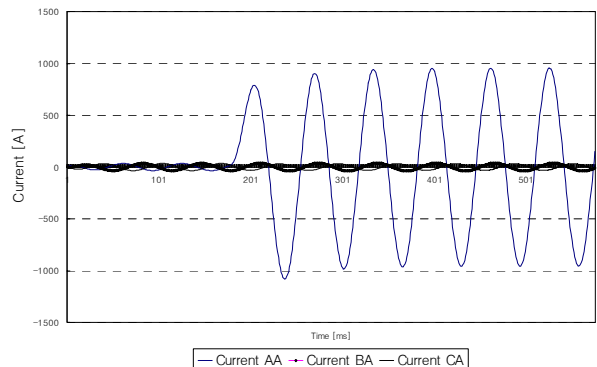


그림 10 1선 지락사고 시 3상 전류파형(고장위상각 90°)  
Fig. 10 Three phase current signals under single line to ground fault(faulted inception angle 90°)

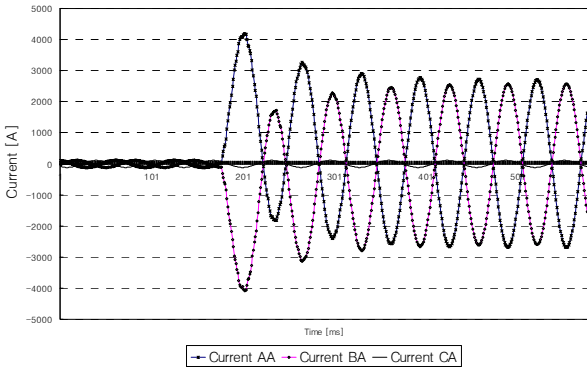


그림 11 선간 단락고장 시 3상 전류파형(고장위상각 0°)  
 Fig. 11 Three phase current signals under line to line short fault(faulted inception angle 0°)

그림 12와 그림 13은 고장위상각 0°에서의 1선 지락고장과 단락고장 시의 전류로부터 직류오프셋 성분이 제거된 신호이다.

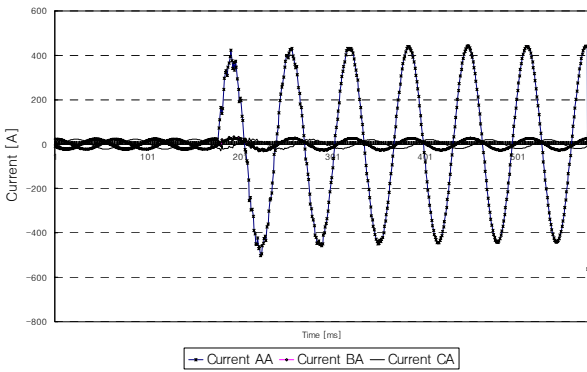


그림 12 1선 지락고장 시 직류오프셋 성분 제거(고장위상각 0°)  
 Fig. 12 Removed DC-offset component under single line to ground fault(faulted inception angle 0°)

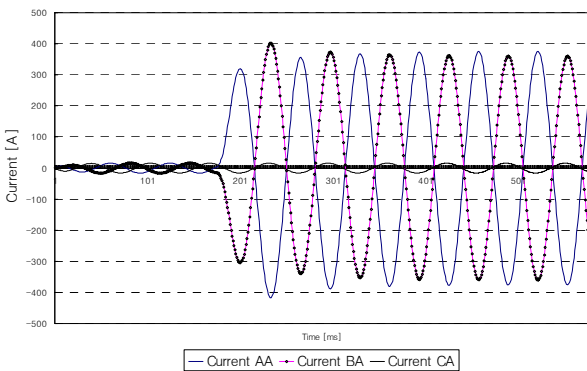


그림 13 선간단락고장 시 직류오프셋 성분 제거(고장위상각 0°)  
 Fig. 13 Removed DC-offset component under line to line short fault(faulted inception angle 0°)

그림 14는 1선 지락사고 시 건전상의 전류파형(고장위상각 0°)이다. 그림으로부터 고장이 발생할 경우 고장선로뿐만 아니라 건전선로에도 파형의 변화가 생겨나게 되는데 이는 상호임피던스에 의해 건전상의 전류가 영향을 받기 때문으로 생각된다.

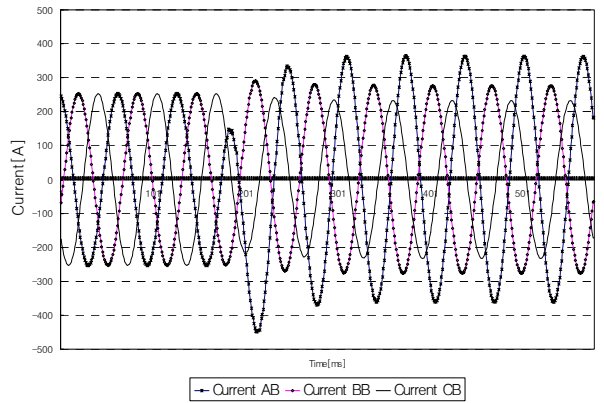


그림 14 1선 지락사고 시 건전상의 전류파형(고장위상각 0°)  
 Fig. 14 Current signals of healthy phase under single line to ground fault(faulted inception angle 0°)

그림 15부터 그림 17까지는 고장 시의 연산된 실효치 전압과 전류파형이다. 그림 15에서부터 그림 17까지 알 수 있듯이 실제로 송전선로에서 고장이 발생했을 경우 고장선로의 전압과 전류 뿐만 아니라 건전상의 전압과 전류 값도 크기가 변한다.

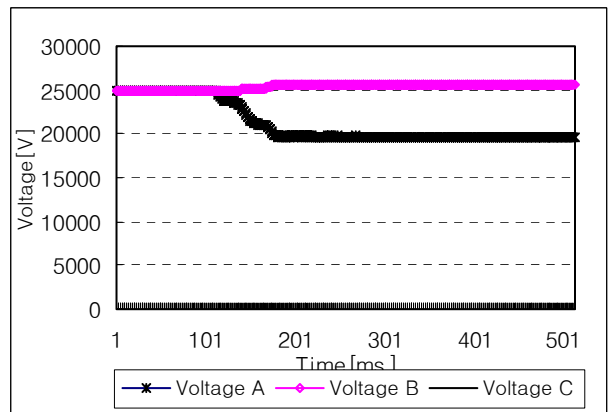


그림 15 1선 지락사고 시 실효치 전압  
 Fig. 15 RMS voltage under single line to ground fault

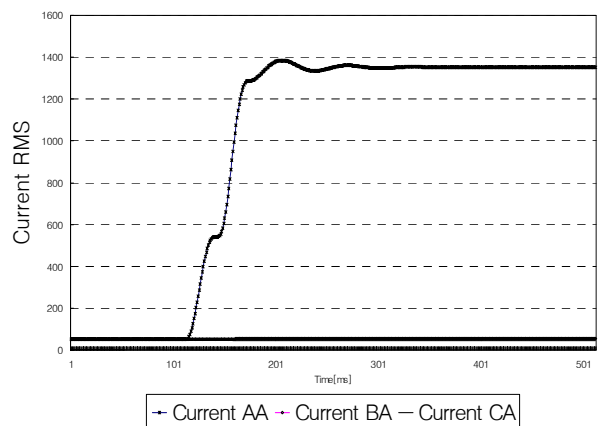


그림 16 1선 지락고장 시 실효치 전류  
 Fig. 16 RMS currents under single line to ground fault

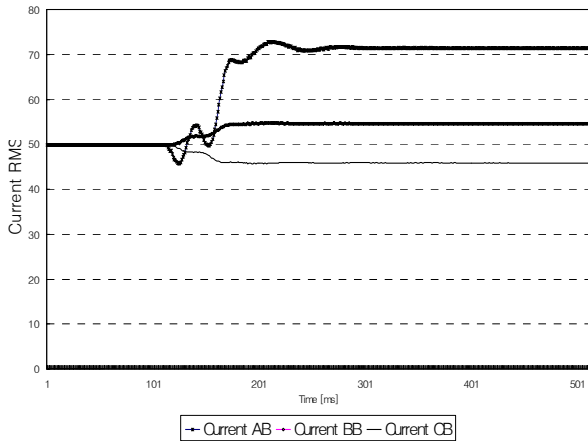


그림 17 선간단락 고장 시 건전 선로의 실효치 전류  
Fig. 17 RMS currents under line to line short fault

3.3 고장점 표정 결과 및 고찰

전절의 전처리 과정을 거친 다음, 고장 발생 거리와 고장 저항의 크기를 변화시켜 가면서 제안된 기법의 고장점 표정 성능을 실험하였다. 그림 18은 전원으로부터 20km 지점에서 지락고장을 발생한 경우 고장저항을 0, 100, 500Ω로 변화에 대한 제안된 기법의 고장점 표정결과이다. 여기서 x축은 고장 발생 직후 부터의 누적 샘플수이고 y축은 고장이 발생한 지점이다. 그림 18로부터 근거리에서 고장이 발생한 경우 고장저항이 큰 경우보다는 고장저항이 작은 경우가 제안된 알고리즘에 의한 고장점 표정값이 수렴속도가 빠르다는 것을 알 수 있다. 또한 고장저항이 없는 경우에는 고장발생 후 약 96샘플정도(1.5주기) 이후에 어느 정도 수렴되기 시작함을 알 수 있다.

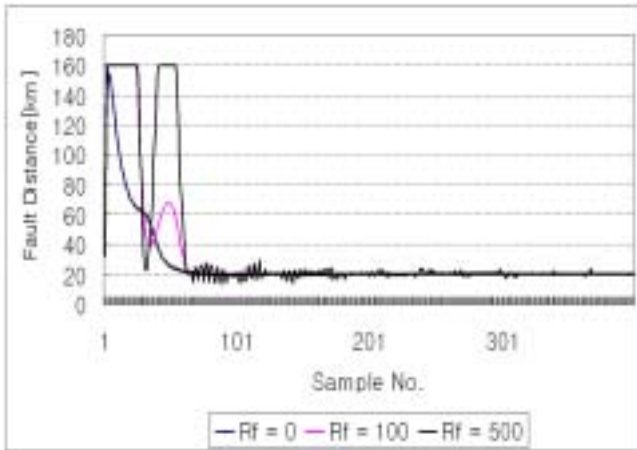


그림 18 1선 지락고장 시 고장저항에 따른 고장점 표정 (고장지점 20km)  
Fig. 18 Estimation of fault location varying fault resistance during single line to ground fault(fault location 20km)

그림 19는 전원으로부터 80km 지점에서 지락고장을 발생한 경우 제안된 기법의 고장저항에 따른 고장점 표정결과이다. 그림 19로부터 전원으로 원거리에서도 고장저항이 큰 경우보다는 고장저항이 작은 경우가 제안된 알고리즘에 의한 계산된 고장점 표정값이 어느 정도 빨리 수렴하는 경향이 있음을 알 수 있다.

장거리 송전선로에서 대지충전전류를 고려하지 않은 Loop방식과 대지충전전류를 고려한 집중 정수를 이용한 고장점 표정의 결과를 표 2에서 표 5에 나타내었다. 이들은

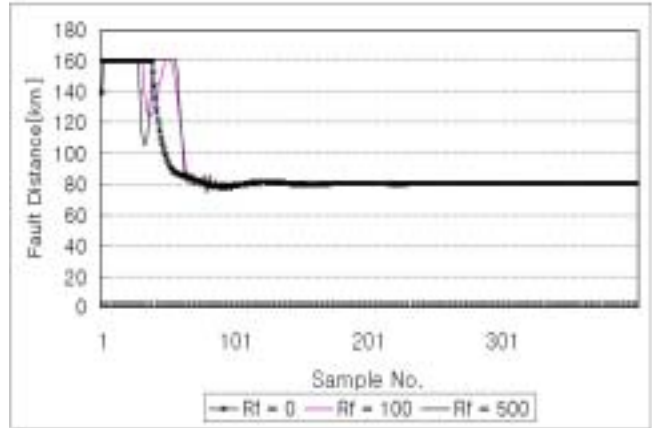


그림 19 1선 지락고장 시 고장저항에 따른 고장점 표정결과 (고장지점 80km)  
Fig. 19 Estimation of fault location varying fault resistance during single line to ground fault (fault location 80km)

고장발생 2.5주기 이후부터 값이다. 표에서 보는 바와 같이 160km 송전선로의 경우 고장저항의 크기 변화에 따라 약간의 차이는 있으나 약 0.5% 내외의 매우 정확한 수렴을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 대지 정전용량을 보정한 알고리즘에서는 자기단에서 가까운 고장일 경우에 대해서는 어느 정도 보상이 되나 그 차이는 아주 미세하고, 원단에 가까운 고장일 경우 오히려 보상전의 값보다 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 한편, 300km 송전선로의 경우 고장저항의 크기 변화에 따라 차이는 있으나 대부분 1% 내외의 안정적인 수렴 값을 갖는 것을 알 수가 있다. 그리고 대지 정전용량을 보정하기 전 고려한 알고리즘과 보상 후 알고리즘의 수렴 값을 보면, 근거리 고장의 경우에는 거의 차이가 존재하지 않으나 고장발생 지점이 멀어질수록 대지정전용량을 보정한 알고리즘이 점점 더 정확성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 EMTP로 송전선로를 모델링 할 경우 선로의 길이를 더 길게 하면, 대지정전용량을 보정한 알고리즘의 수렴 정확도가 확연하게 드러난다는 것을 확인할 수 있었다.

표 2 160km 송전선로계통에서의 고장점 표정 결과 ( $R_F = 0$ )

Table 2 Result of fault location estimation at 160km T/L system( $R_F = 0$ )

구분	대지 충전전류 고려 전(Loop 방식)					대지충전전류 고려 후(집중정수)				
	30km	60km	90km	120km	150km	30km	60km	90km	120km	150km
고장 발생 후										
1	30.13	60.33	90.34	120.47	145.29	30.13	60.33	90.34	120.46	145.27
2	30.14	60.19	90.38	120.28	145.19	30.14	60.18	90.37	120.27	145.18
3	30.12	60.26	90.25	120.39	145.18	30.12	60.26	90.24	120.39	145.17
4	30.12	60.22	90.36	120.54	145.12	30.12	60.22	90.35	120.53	145.11
5	30.13	60.27	90.32	120.45	144.89	30.13	60.27	90.32	120.44	144.87
6	30.14	60.21	90.25	120.34	145.21	30.14	60.21	90.25	120.33	145.20
7	30.13	60.21	90.28	120.53	145.31	30.13	60.21	90.28	120.52	145.30
8	30.13	60.28	90.28	120.57	145.08	30.13	60.28	90.28	120.56	145.07
9	30.14	60.27	90.32	120.37	145.34	30.14	60.26	90.32	120.37	145.33
10	30.15	60.34	90.31	120.36	145.15	30.15	60.34	90.31	120.35	145.13
평균	30.13	60.26	90.31	120.43	145.18	30.13	60.26	90.31	120.42	145.16
오차 (%)	0.46	0.43	0.34	0.35	-3.21	0.46	0.43	0.34	0.3583	-3.22



**표 8 오차 비교**  
**Table 8 Error comparison**

구 분	고장거리km	고장저항 Rf = 0					고장저항 Rf = 100				
		30	60	90	120	150	30	60	90	120	150
160km	오차(%) (Loop 방식)	0.46	0.43	0.34	0.35	-3.21	0.73	0.6	0.43	0.03	-1.42
	오차(%) (집중회로)	0.46	0.43	0.34	0.35	-3.22	0.73	0.6	0.43	0.03	-1.41
	오차(%) (제한기법)	0.16	0.16	0.08	0.12	-3.48	0.13	0.15	0.02	-0.38	-1.86
300km	고장거리km	50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
	오차(%) (Loop 방식)	0.28	0.58	1.1	1.76	2.24	0.76	0.95	1.27	1.63	1.55
	오차(%) (집중회로)	0.28	0.58	1.1	1.75	2.23	0.76	0.95	1.26	1.62	1.54
	오차(%) (제한기법)	-0.24	0.09	0.62	1.29	1.76	-0.48	0.03	0.44	0.8	0.65

**4. 결 론**

본 논문에서는 분포정수회로 해석을 통하여 대지정전용량을 고려한 개선된 고장점 표정 알고리즘을 제시하였다. 사례연구를 위해서 EMTP를 이용한 양전원 병행2회선 모델 계통을 구성하였고, 고장위상각, 고장거리 그리고 고장점 저항을 가변시켜 수집한 데이터를 활용하여 제안된 기법의 우수성을 입증하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제안된 기법은 자기단의 전원 임피던스만을 활용하고, 자기단에서 측정하기 까다로운 원단의 전원 임피던스를 활용하지 않기 때문에 전원 임피던스의 변동에 무관하게 고장점을 추정할 수 있다.

둘째 고장점의 저항에 따른 고장점 표정의 오차요인을 고장표정 알고리즘의 유도과정에서 해소함으로써 고장점 저항에 무관한 기법임을 입증하였다.

셋째, 지락고장 시 발생하는 고장전류의 영상분은 날씨와 주위 환경에 따라 가변되는 대지저항의 영향을 받아 신뢰성을 주지 못함에 따라 이를 제거함으로써 고장전류의 정상분과 역상분만을 사용한 알고리즘을 제안함으로써 고장점 표정 시 신뢰성을 향상시켰다.

넷째, 제안된 기법은 송전선로의 대지정전용량에 의한 표정오차를 보상에 줌으로써 보다 정확한 고장점 표정이 가능하였다.

다섯째, 대지정전용량에 의한 충전전류를 고려하기 위해서 종래의 송전계통의 집중회로 해석 방법 대신에 분포회로 해석 방법을 사용함으로써 고장점 표정 시의 정확도가 개선되었다.

**참 고 문 헌**

[1] Protective Relaying Theory and Application, ABB Power T&D Company Inc., 1994.  
 [2] A.T. Johns, S.K. Salman, "Digital Protection for Power Systems", Peter Peregrinus Ltd. 1995.  
 [3] A.Wiszniewski, "Accurate fault impedance locating algorithm", IEEE Proceedings. Vol. 130, Pt. C, No. 6, November 1983.  
 [4] 박규현, 박철원, 신명철 외, "산술푸리에 변환 필터에 의한 디지털 거리계전 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회 1995년도 하계학술대회 논문집, pp. 471~475, 1995. 7.  
 [5] 강상희, 박종근, "Offset이 제거된 반주기 데이터를 사용한 고속 Haar 변환에 기초한 디지털 거리계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지 Vol. 41, No. 9, pp. 973~983, 1992.  
 [6] 안용진, 강상희, 최면승, 이승재, "전류 분배 계수를 사용하는 병행 2회선 송전선로 고장점 표정 알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol. 50, No. 3, pp. 146~152, 2001.  
 [7] Eriksson L., Saha M. M. and Rockefeller G. D., "An Accurate fault locator with compensation for apparent reactance in the fault resistance resulting from

remote-end infeed", IEEE Trans, on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 2, 424~436, 1985.  
 [8] M. M. Saha, Kwikstrom, J. Izykowski, Erosolowski. "New Accurate Fault location Algorithm For Parallel Lines", Developments in Power System Protection, Conference Publication No. 479, IEE 2001.  
 [9] Liao Y., Elangovan S., "Digital distance relaying algorithm for first zone protection for parallel transmission lines", IEE Proc.-Generation. Transmission. Distribution, Vol. 145, No. 5, pp. 531~536, 1998.  
 [10] Sheng L. B., Elangovan S., "A fault location method for parallel transmission lines", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 26, No. 2, pp. 253~259, 1999.  
 [11] Zhang Q., Zhang Y., song W., Yu Y., Wang Z., "Fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using one-terminal data", Paper PE433-PWRD-0-10 -1998, IEEE Winter Meeting, New York, 1999.  
 [12] Zhang Q. et al., "Transmission line fault location for phase-to-earth fault using one-terminal data", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 146, No. 2, pp. 121~124, 1999.  
 [13] 박철원, 김삼룡, 신명철, "송전선로의 고장점 표정기법에 관한 연구", 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문집, pp. 255~257, 2001. 7.

**저 자 소 개**



**박 철 원 (朴 哲 圓)**

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1996년동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989년~1993년 급성산전연구소 주임연구원.1993년~1996년 프 로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~현재 (국립)원주대학 전기과 부교수.  
 Tel : 033-760-8425  
 Fax : 033-760-8420  
 E-mail : cwpark@wonju.ac.kr

**김 삼 룡 (金 三 龍)**

1972년 10월 20일생. 1997년 성균관대학교 공과대학 전기 전자 및 컴퓨터공학부 졸업. 2002년 동 대학원 전기전자및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2002년~2003년 인택전기전자기술 연구소 연구원. 2004년~현재 바울소프트 기술연구소 연구원.  
 Tel : 0502-360-0520  
 Fax : 0505-360-0521  
 E-mail : xtura@hanmail.net



**신 명 철 (申 明 澈)**

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1978년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1975~1978년 충북대학교 전기공학과 조교수. 1982년~1983년 미국 코넬대 전기공학과 교환 교수. 2000년~2001년 미국 펜실바니아 주립대 전기공학과 교환교수. 1978년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수. 성균관대학교 부총장. 대한전기학회 회장.  
 Tel : 031-290-7103  
 Fax : 031-290-7103  
 E-mail : mcshin@yurim.skku.ac.kr