

# 리액턴스 효과를 최소화한 병행 2회선 송전선로 보호 거리계전 알고리즘

論 文  
50A-1-6

## A Distance Relaying Algorithms Immune to Reactance Effect for Double-Circuit Transmission Line Systems

安龍珍\*·姜相熙\*\*·李承宰\*\*  
(Yong-Jin Ahn · Sang-Hee Kang · Seung-Jae Lee)

**Abstract** - For double-circuit transmission line systems, an accurate digital distance relaying algorithm immune to the reactance effect is proposed. The apparent impedance calculated by the distance relay is influenced by the combined reactance effect of the fault resistance and the load current as well as the mutual coupling effect caused by the zero-sequence current of the adjacent parallel circuit. To compensate the magnitude and phase of the estimated impedance, this algorithm uses phase angle difference between the zero(positive) sequence impedance of the both side of the system separated by the fault point. The impedance measuring algorithm presented uses a current distribution factor to compensate mutual coupling effect instead of the collected zero-sequence current of the adjacent parallel circuit.

**Key Words** : Distance Relay, Reactance Effect, Mutual Coupling Effect, Fault Resistance

### 1. 서 론

전력계통이 복잡화·대형화·초고압화 되어감에 따라 이에 대한 보호시스템도 매우 복잡해져 가고 있다. 따라서 계통의 어느 한 부분에서 고장이 발생한 경우 보호시스템이 적절한 보호능력을 상실한다면 사고파급범위와 강도는 매우 커질 수밖에 없다. 만일 계통의 어느 한 부분에서 고장이 발생할 때 일차적인 책임을 가진 보호계전기가 고장을 정확하게 검출하지 못한다면 보호협조의 원칙에 따라 정전구간이 커지게 된다. 송전선의 후비보호 계전기 모두와 대부분의 주보호 계전기는 방향성 거리계전기로 저항 지락고장시 검출능력이 떨어지게 된다. 더구나 송전계통이 복잡해지면서 중조류가 흐르는 송전구간의 평균 길이가 짧아짐에 따라 고장저항과 부하전류의 결합작용인 리액턴스 효과에 의한 계전기 성능저하는 더욱 큰 문제점으로 대두되고 있다.[1]

병행 2회선 송전선로에 저항이 개입한 고장이 발생하면 고장점까지의 영상분 상호작용 및 고장저항의 크기 및 부하조류 상태에 따라 고장의 양상 및 고장 특성이 상이하며, 보호기기 동작에 부정적인 영향을 미친다. 가장 심각한 몇 가지 경우는 :

- (1) 계전기 설치점에 근접한 곳에서 고장이 발생할 경우
  - (2) 보호구간의 원단 부근에서 고장이 발생할 경우
- 첫 번째 경우는 고장 전 전압을 이용하여 방향을 판별하

는 것이 이용되고[2], 두 번째 경우는 보호구간의 저항과 리액턴스의 정정값을 조정하거나 계전기 동작 특성 곡선의 기울기를 조정하여 대응하여 왔다.

본 논문에서는 병행 2회선 송전선로에서 고장이 발생하면, 보호구간의 근단과 원단의 고장에 대하여 대상 계통의 임피던스 정보로부터 미리 계산된 전류분배계수를 이용함으로써, 계전기가 추정하는 임피던스의 크기와 위상을 보상하여 고장저항과 영상분 상호작용의 영향을 최소화하고, 고장시 조류에 영향받지 않는 거리계전 알고리즘을 제시하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 추정 임피던스 특성

송전선로에서 고장이 발생하면 계전기는 자기 보호구간 여부를 판단하게 되고 트립 신호를 보낸다. 만약, 보호구간의 경계지점에서 저항지락 사고가 발생하면 그림 1.에서 보는 바와 같이 실제 선로 임피던스에서 벗어나는 크기와 위상 때문에 계전기가 오동작 내지 부동작할 수 있다.

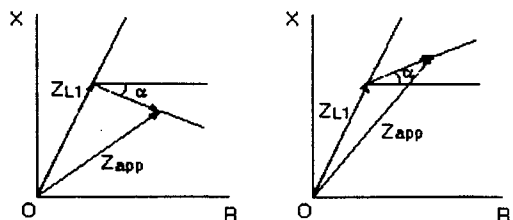


그림 1 추정 임피던스 특성  
Fig. 1 The Apparent Impedance Characteristics

\* 正 會 員 : 柳湖電氣工業(株) 主任研究員 · 工碩  
 \*\* 正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博  
 \*\* 正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
 接受日字 : 2000年 12月 20日  
 最終完了 : 2001年 1月 8日

위상각  $\alpha$ 는 고장점에 의하여 분리되는 계통의 위상차이며[3][4], 송전선로의 고장위치에 따라 다르다. 또한, 위상각  $\alpha$ 는 부하조류의 방향에 의존하기 때문에 리액턴스 성분의 오차는 양·음의 방향으로 나타난다. 위상각  $\alpha$ 는 계전기 설치점에서 원단 고장의 경우에 가장 크게 나타나며, 근단 고장의 경우에 가장 적게 변화한다.

2.2 1선 지락 고장

그림 2의 단선도는 1선 지락 고장시에 고장저항이 개입한 전형적인 경우이며, 계전기 설치점에서 고장점까지의 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_{Sa} = Z_{L1}(I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} I_{T0}) + R_f I_f \quad (1)$$

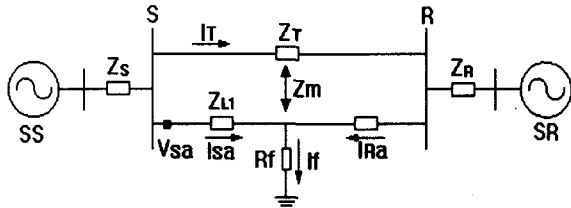


그림 2 1선 지락 고장  
Fig. 2 Single-Phase to Ground Fault

표 1 기호 정의  
Table 1 Nomenclature

기호	정 의	단위
$Z_{S012}$	전원 SS의 영상, 정상, 역상분 임피던스	[ $\Omega$ ]
$Z_{R012}$	전원 SR의 영상, 정상, 역상분 임피던스	[ $\Omega$ ]
$Z_{L012}$	고장회선의 영상, 정상, 역상분 임피던스	[ $\Omega$ ]
$Z_{T012}$	건전회선의 영상, 정상, 역상분 임피던스	[ $\Omega$ ]
$Z_m$	회선간 선로의 영상분 상호 임피던스	[ $\Omega$ ]
$R_f$	고장점 저항	[ $\Omega$ ]
$I_{S012}$	자기단의 영상, 정상, 역상분 전류	[A]
$I_{R012}$	상대단의 영상, 정상, 역상분 전류	[A]
$I_{T012}$	건전회선의 영상, 정상, 역상분 전류	[A]
$I_{f012}$	고장점 영상, 정상, 역상분 전류	[A]

계전기가 추정하는 임피던스  $Z_{app}$ 는 식 (2)로 정의된다.

$$Z_{app} = \frac{V_{app}}{I_{app}} \quad (2)$$

여기서,

$$V_{app} = V_{Sa}$$

$$I_{app} = I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} I_{T0}$$

식 (1)과 식 (2)에서 다음을 유도할 수 있다.

$$Z_{app} = Z_{L1} + R_f \frac{3I_{f0}}{I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} I_{T0}} \quad (3)$$

$$= Z_{L1} + R_f \left| \frac{3I_{f0}}{I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} I_{T0}} \right| e^{j\alpha}$$

식 (3)에서 계전기가 추정하는 임피던스  $Z_{app}$ 에는 고장점까지의 선로 임피던스  $Z_{L1}$  이외에 고장저항  $R_f$  및 영상분 상호 임피던스  $Z_m$ 과 건전 회선의 영상분 전류  $I_{T0}$ 가 영향을 미친다.

따라서, 계전기가 보는 추정임피던스를 구하면 식 (3)에서와 같이 실제 선로임피던스 이외에  $R_f$ 가 포함된 항 만큼의 오차를 갖게 된다.

식 (3)에서 자기회선의 영상분 전류로 건전회선의 영상분 전류를 추정하여 위상각  $\alpha$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\alpha = \text{Arg} \left( \frac{I_{f0}}{I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} \frac{I_{S0}}{CDF_{TS}}} \right)$$

$$= \text{Arg} \left( \frac{I_{S0}/CDF_{S0}}{I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} \frac{I_{S0}}{CDF_{TS}}} \right) \quad (4)$$

$$= \text{Arg} \left( \frac{I_{S0}}{I_{Sa} + \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} I_{S0} + \frac{Z_m}{Z_{L1}} \frac{I_{S0}}{CDF_{TS}}} \right)$$

$$+ \text{Arg} \left( \frac{1}{CDF_{S0}} \right)$$

고장점 전류  $I_{f0}$ 는 알 수 없고, 건전 회선의 영상분 전류  $I_{T0}$ 는 추정하여 사용함으로 자기단의 영상분 전류와 영상분 분배계수로 나타내었으며,  $CDF_{S0}$ 와  $CDF_{TS}$ 를 미리 계산함으로써 위상각  $\alpha$ 를 계산할 수 있다.

식 (5)에 고장회선 자기단과 고장점의 영상분 전류분배계수(고장회선 영상분 전류분배계수)  $CDF_{S0}$ 를 나타내었다[5].

$$CDF_{S0} = \frac{I_{S0}}{I_{f0}} = \frac{pB_{S0} + C_{S0}}{A_{S0}} \quad (5)$$

여기서,

$$A_{S0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_{L0})$$

$$B_{S0} = (Z_m - Z_{L0})(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) - (Z_{T0} - Z_m)Z_{L0}$$

$$C_{S0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{R0} + Z_{L0})$$

자기단 고장 회선과 건전 회선의 영상분 전류분배계수(건전회선 영상분 전류분배계수)  $CDF_{TS}$ 는 식 (6)과 같다[5].

$$CDF_{TS} = \frac{I_{S0}}{I_{T0}} = \frac{\rho A_{ST} + B_{ST}}{\rho C_{ST} + D_{ST}} \quad (6)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_{ST} &= (Z_m - Z_{L0})(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) \\ &\quad - (Z_{T0} - Z_m)Z_{L0} \\ B_{ST} &= (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) \\ &\quad + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{R0} + Z_{L0}) \\ C_{ST} &= (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0}) \\ D_{ST} &= (Z_m - Z_{L0})Z_{S0} \end{aligned}$$

### 2.3 선간 단락 고장[6]

그림 3의 단선도는 선간 단락 고장시에 고장저항이 개입한 전형적인 경우이며, 계전기 설치점에서 고장점까지의 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_{Sa} - V_{Sb} = Z_{L1}(I_{Sa} - I_{Sb}) + R_f I_f \quad (7)$$

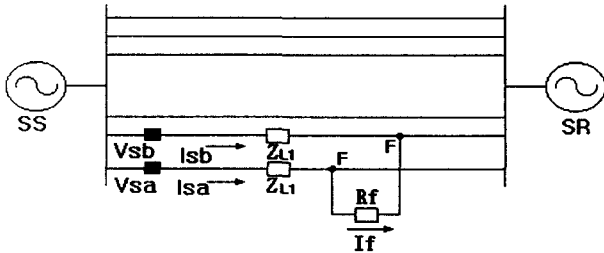


그림 3 선간 단락 고장  
Fig. 3 Phase to Phase Short Fault

계전기가 추정하는 임피던스  $Z_{app}$ 는 식 (8)로 정의된다.

$$Z_{app} = \frac{V_{app}}{I_{app}} = \frac{V_{Sa} - V_{Sb}}{I_{Sa} - I_{Sb}} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)에서 다음을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{app} &= Z_{L1} + R_f \frac{I_f}{I_{Sa} - I_{Sb}} \\ &= Z_{L1} + R_f \left| \frac{I_f}{I_{Sa} - I_{Sb}} \right| e^{j\alpha} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 계전기가 추정하는 임피던스  $Z_{app}$ 에는 고장점까지의 선로 임피던스  $Z_{L1}$  이외에 고장저항  $R_f$  와 고장전류  $I_f$  가 영향을 미친다.

따라서, 계전기가 보는 추정임피던스를 구하면 식 (9)에서 확인할 수 있는 바와 같이 실제 선로임피던스 이외에  $R_f$  가 포함된 항 만큼의 오차를 갖게 된다.

식 (9)에서 자기단의 전류로 고장점 전류를 추정하여 위상각  $\alpha$ 를 구하면 식 (10)과 같다. 고장점 전류  $I_f$ 는 알 수

없으므로 자기단의 순수한 고장전류(부하전류배제)와 정상분 분배계수로 나타내었으며,  $CDF_{Sai}$ 를 미리 계산함으로써 위상각  $\alpha$ 를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \alpha &= Arg\left(\frac{I_f}{I_{Sa} - I_{Sb}}\right) \\ &= Arg\left(\frac{1}{I_{Sa} - I_{Sb}} \frac{I_{Saf} - I_{Sbf}}{CDF_{Sai}}\right) \\ &= Arg\left(\frac{I_{Saf} - I_{Sbf}}{I_{Sa} - I_{Sb}}\right) + Arg\left(\frac{1}{CDF_{Sai}}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,

$$\begin{aligned} I_{Sa} &= I_{Sai} + I_{Saf} \\ I_{Sb} &= I_{Sbi} + I_{Sbf} \\ I_{Sai} &: \text{계전기 설치점에서 } a\text{상의 부하전류} \\ I_{Sbi} &: \text{계전기 설치점에서 } b\text{상의 부하전류} \\ I_{Saf} &: \text{계전기 설치점에서 } a\text{상의 순수고장전류} \\ I_{Sbf} &: \text{계전기 설치점에서 } b\text{상의 순수고장전류} \end{aligned}$$

식 (11)에 자기단과 고장점의 정상분 전류분배계수  $CDF_{Sai}$ 를 나타내었다[5].

$$CDF_{Sai} = \frac{I_{S1}}{I_{T1}} = \frac{\rho B_{Sai} + C_{Sai}}{A_{Sai}} \quad (11)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_{Sai} &= Z_{L1}(Z_{S1} + Z_{R1}) + Z_{T1}(Z_{S1} + Z_{R1} + Z_{L1}) \\ B_{Sai} &= -Z_{L1}(Z_{S1} + Z_{R1} + Z_{T1}) \\ C_{Sai} &= Z_{L1}(Z_{S1} + Z_{R1} + Z_{T1}) + (Z_{T1})(Z_{R1}) \end{aligned}$$

### 2.4 임피던스 보상 알고리즘

1선 지락 고장과 선간 단락 고장 발생 시에 계전기가 추정하는 임피던스  $Z_{app}$ 와 위상각  $\alpha$ 를 계산하였으므로 추정 임피던스를 보정하여 실제의 선로 임피던스에 근사하는 알고리즘은 다음과 같다.

그림 4에서 추정 임피던스  $Z_{app}$ 와 위상각  $\alpha$ 를 이용하면 식 (12)에 의하여 리액턴스  $X'$ 을 계산할 수 있다.

$$X' = X_{app} \pm R_{app} \cdot \tan \alpha \quad (12)$$

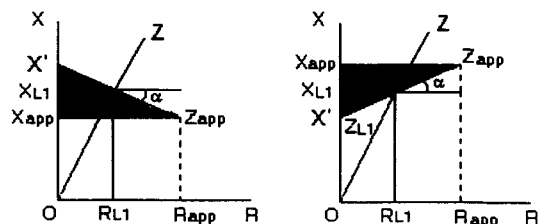


그림 4 임피던스 보정  
Fig. 4 The Impedance Correction

직선  $Z_{app}-X'$  와 직선  $O-Z$ (선로)를 이용하여 다음과 같이 두 직선의 교점을 찾을 수 있다.

$$R_{L1} = \frac{X'}{L/R - (X_{app} - X')/R_{app}} \quad (13)$$

$$X_{L1} = \frac{L}{R} \cdot \frac{X'}{L/R - (X_{app} - X')/R_{app}}$$

여기서,

- $R_{app}$  : 추정된 저항[ $\Omega$ ]
- $X_{app}$  : 추정된 리액턴스[ $\Omega$ ]
- $R$  : 단위 송전선로의 저항[ $\Omega/km$ ]
- $X$  : 단위 송전선로의 리액턴스[ $\Omega/km$ ]
- $R_{L1}$  : 고장점까지의 저항[ $\Omega$ ]
- $X_{L1}$  : 고장점까지의 리액턴스[ $\Omega$ ]

고점 ( $R_{L1}, X_{L1}$ )이 고장 시의 실제 선로임피던스임을 그림 4에서 확인할 수 있다.

### 2.5 계전 알고리즘 흐름도

계전 알고리즘의 수행에 필요한 변수와 사용되는 변수를 표 2에 나타내었으며, 계전 알고리즘의 흐름도를 그림 5에 도시하였다. 흐름도 상의 좌측 흐름은 지락사고, 우측 흐름은 단락사고의 경우이다.

표 2 계전 알고리즘 변수

Table 2 The Variables of Relaying Algorithm

구 분	필요 변수	사용 변수
1선 지락 고장	고장회선 전압, 전류	고장회선 전압, 전류
	고장점 전류	고장회선 영상분 전류
	고장회선 영상분전류	고장회선 영상분 분배계수
	건전회선 영상분전류	건전회선 영상분 분배계수
선간 단락 고장	고장회선 전압, 전류	고장회선 전압, 전류
	고장점전류	고장회선 정상분 분배계수

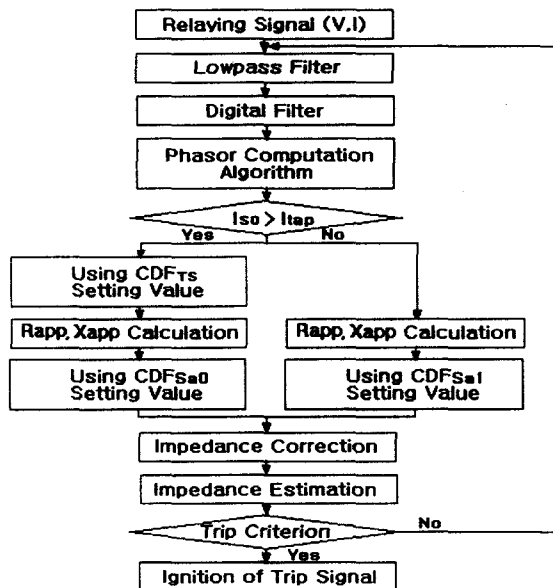


그림 5 계전 알고리즘 흐름도

Fig. 5 The Relaying Algorithm Flowchart

1선 지락 고장의 경우 추정 임피던스  $Z_{app}$ 를 구하기 위해서는 영상분 분배계수를 사용해야 하므로(식 (2)) 미리 임의의 고장점을 고정해야 한다. 이때, 임의의 고장점을 계전기 보호구간의 원단으로 설정하면 근단부근의 오·부동작이 예상되고, 근단으로 설정하면 원단부근의 오·부동작 예상된다.

선간 단락 고장의 경우에는 추정 임피던스  $Z_{app}$ 를 구할 때 분배계수를 사용하지 않는다(식 (8)). 고장저항에 기인한 추정 임피던스의 변화가 저항 성분보다 리액턴스 성분이 작게 변화한다는 점을 이용하여 계전기 보호구간 내의 임의의 고장 점에서의 리액턴스 탭값  $X_{tap}$ 과 추정된 리액턴스와 비교한 후, 가장 근접한 탭  $X_{tap}$ 을 고장점으로 사용하여 계전기 보호구간의 근단 고장과 원단 고장에 최소의 오차로 대응할 수 있다.

2.1절에서 언급한 바와 같이 위상각  $\alpha$ 가 계전기 설치점의 원단에서 가장 크게 변화함으로, 계전기의 오·부동작을 최소화하기 위하여 본 논문에서는 미리 계산해야 할  $CDF_{S_{ao}}$ ,  $CDF_{TS}$ 와  $CDF_{S_{ai}}$ 을 보호구간의 원단 지점의 값으로 고정하였다.

### 3. 사례 연구

본 논문에서 제시한 계전 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 그림 6.에 도시한 154[kV] 병행 2회선 송전선로를 EMTP(Electromagnetic Transients Program)를 이용하여 모의하였다.

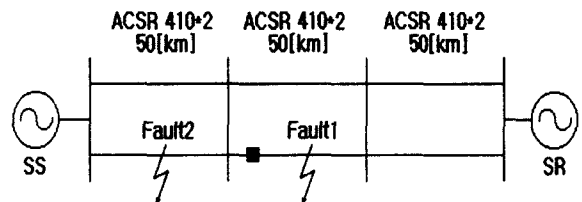


그림 6 시험 계통

Fig. 6 Model System

표 3 시험 계통 데이터

Table 3 Model System Data

구 분	정상분(역상분) 임피던스	영상분 임피던스		
		Self	Mutual	
전원 [Ω]	SS	0.5331+j4.1106	1.8699+j10.089	-
	SR	0.5926+j4.9773	2.3581+j11.611	-
선로[Ω/km]		0.0436+j0.3445	0.2380+j1.0443	0.1948+j0.563

시험의 종류는 표 4.에 명시한 바와 같이, Zone1을 전체 선로(50[km])의 0~80[%]지점인 0~40[km]로 설정한 후에, 계전기의 오·부동작이 가장 크게 예상되는 보호구간의 경계지점 ±0.5[km]에서의 고장을 모의하였다.

EMTP에서 얻은 계전 신호는 주기당 384회 샘플링한 것이며, 계전 알고리즘에 사용된 저역통과 필터는 300[Hz]에서 이득 0.1로 설계하였다. 전류 신호의 직류 성분을 제거하기 위하여 식 (4)와 같은 FIR 필터를 사용하였으며, 전압과 전류의 페이저 값은 주기당 32개의 샘플만을 읽어들이며 최소사승법으로 계산하였다.

표 4 시험 종류  
Table 4 Study Cases

구분	1선 지락 고장		선간 단락 고장	
	임피던스 미보정	임피던스 보정	임피던스 미보정	임피던스 보정
고장거리[km]	-0.5, 0.5, 39.5, 40.5			
고장저항[Ω]	0, 50			

전류신호에 포함된 직류 성분 제거를 위해 신호의 감쇠특성을 고려한 FIR 필터[7]는 다음과 같다.

$$y_k = x_k - \frac{x_{k-1}}{\exp(\Delta t / \tau)} \quad (14)$$

$\Delta t$ : 샘플링 간격  $\tau$ : 시정수  $x_k$ : 현재의 샘플값

이 필터의 크기와 위상 특성은 식 (15)와 같다.

$$\text{크기} = \sqrt{E_n^2 + F_n^2} \quad \text{위상} = \tan^{-1} \frac{F_n}{E_n} \quad (15)$$

$$E_n = 1 - \frac{1}{\exp(\Delta t / \tau)} \cos\left(\frac{2n\pi}{N}\right)$$

$$F_n = \frac{1}{\exp(\Delta t / \tau)} \sin\left(\frac{2n\pi}{N}\right)$$

$n$ : 고조파 차수  $N$ : 주기당 샘플수

표 5 트립 판정 결과  
Table 5 Trip Decision Results

고장 지점 [km]	고장 저항 [Ω]	트립 기준	1선지락고장		선간단락고장	
			임피던스 미보정	임피던스 보정	임피던스 미보정	임피던스 보정
Zone4 -0.5	0	No Trip	N.T.	N.T.	N.T.	N.T.
	50		N.T.	N.T.	N.T.	N.T.
Zone1 0.5	0	Trip	Trip	Trip	Trip	Trip
	50		N.T.	Trip	N.T.	Trip
Zone1 39.5	0	Trip	Trip	Trip	Trip	Trip
	50		N.T.	Trip	N.T.	Trip
Zone2 40.5	0	No Trip	N.T.	N.T.	N.T.	N.T.
	50		N.T.	N.T.	N.T.	N.T.

본 논문에서 제시한 거리계전 알고리즘의 수행에 따른 트

립 판정 결과는 표 5와 같다. Zone1 0.5[km]와 39.5[km] 지점에 고장저항 50[Ω]의 고장 경우를 살펴보면, 1선 지락 고장과 선간 단락 고장의 경우에 추정 임피던스를 보정하지 않았을 때는 보호구간임에도 불구하고 부동작하였지만, 임피던스 보상 알고리즘을 적용함으로써 정상적으로 동작함을 알 수 있다.

표 5의 결과를 좀더 자세하게 살펴보기 위하여 표 6과 표 7에 임피던스 미보정과 보정의 경우에 저항과 리액턴스의 계산결과를 나타내었다.

표 6 저항 계산 결과  
Table 6 Resistance Estimation Results

고장 지점 [km]	고장 저항 [Ω]	계산 값 / 실제 값	1선지락고장		선간단락고장	
			임피던스 미보정	임피던스 보정	임피던스 미보정	임피던스 보정
Zone4 -0.5	0	-0.0218	-0.0026	-0.0639	-0.0248	-0.0823
	50		-208.0697	-0.0812	-197.7810	-0.1579
Zone1 0.5	0	0.0218	0.0136	0.0182	0.0218	0.0217
	50		29.9749	0.0279	28.6120	0.0257
Zone1 39.5	0	1.7222	1.6968	1.7141	1.7235	1.7235
	50		70.2178	1.7220	65.9479	1.7292
Zone2 40.5	0	1.7658	1.7919	1.7765	1.7633	1.7668
	50		72.6304	1.7804	68.1101	1.7728

표 7 리액턴스 계산 결과  
Table 7 Reactance Estimation Results

고장 지점 [km]	고장 저항 [Ω]	계산 값 / 실제 값	1선지락고장		선간단락고장	
			임피던스 미보정	임피던스 보정	임피던스 미보정	임피던스 보정
Zone4 -0.5	0	-0.1722	-0.4925	-0.5049	-0.6444	-0.6509
	50		-83.3099	-0.6422	-49.7241	-1.2477
Zone1 0.5	0	0.1722	0.1437	0.1439	0.1720	0.1720
	50		1.1942	0.2138	-0.7961	0.2032
Zone1 39.5	0	13.6077	13.5440	13.5439	13.6181	13.6181
	50		11.2161	13.6065	7.5768	13.6630
Zone2 40.5	0	13.9522	14.0369	14.0370	13.9609	13.9606
	50		11.3663	14.0677	7.5601	14.0079

위의 표 6과 표 7에서 1선 지락 고장과 선간 단락 고장의 경우 고장저항이 없을 때는 임피던스 미보정과 보정의 경우 모두 계산 값이 실제 값에 근접하고 있으나, 고장저항이 개입하면 임피던스 미보정의 경우에는 계산 값과 실제 값은 상당한 차이를 나타내며, 임피던스 보정의 경우에는 계산 값

이 실제 값에 상당히 근접하고 있다. 따라서, 임피던스 보상 알고리즘이 고장저항의 영향을 최소화하였다고 할 수 있다.

고장저항의 개입으로 영향받는 저항과 리액턴스를 표 6과 표 7에서 비교하면, 고장저항으로 인한 영향이 저항보다 리액턴스가 적음을 알 수 있다. 따라서, 2.5절 계전 알고리즘의 흐름도에서 언급한 바와 같이 선간 단락 고장의 경우에는 보호구간의 원단과 근단에 몇 단계의 리액턴스 탭을 정한후 적절한 리액턴스 값을 선정하여 사용하면, 표 6과 표 7의 결과보다 더욱더 정확한 결과를 얻을 수 있다.

그림 7, 8, 9, 10은 저항과 리액턴스 수렴 궤적을 도시한 것으로, 임피던스 미보정과 보정의 경우가 뚜렷하게 대별되고 있다. 고장 시에 고장저항이 개입하더라도 실제값과 계산값의 오차가 임피던스 보정으로 개선됨을 확인할 수 있다. 저항과 리액턴스 수렴이 고장 발생후 한 주기에서 두 주기 사이에 일정하게 수렴하는데, 이는 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 계전 알고리즘에 사용되는 데이터 윈도우를 한 주기 사용했기 때문이다.

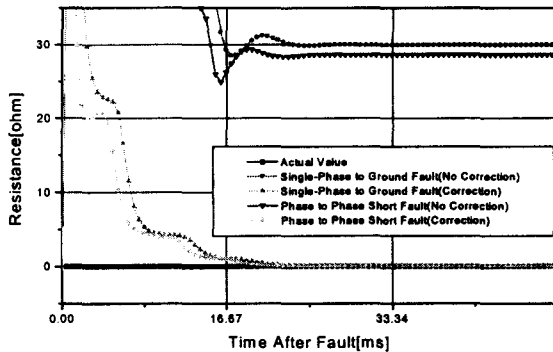


그림 7 저항 수렴 궤적  
(Zone1 0.5[km], Fault Resistance 50[Ω])  
Fig. 7 Convergence of Resistance Loci

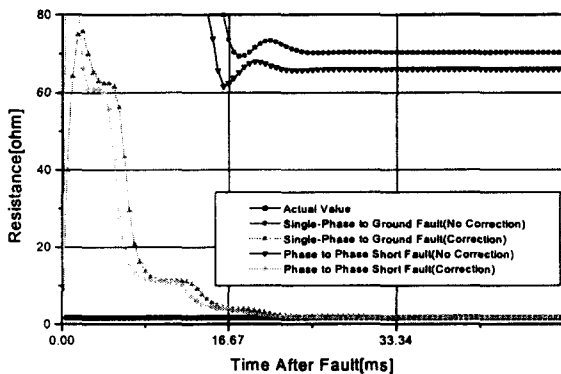


그림 8 그림 8 저항 수렴 궤적  
(Zone1 39.5[km], Fault Resistance 50[Ω])  
Fig. 8 Convergence of Resistance Loci

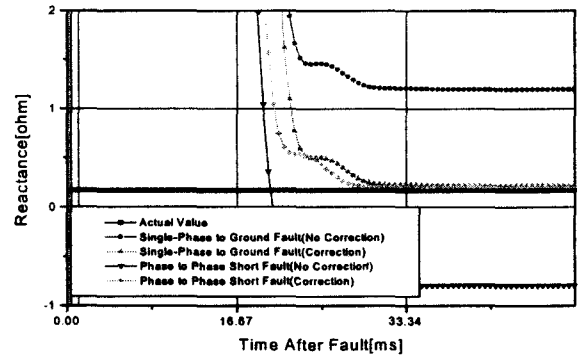


그림 9 리액턴스 수렴 궤적  
(Zone1 0.5[km], Fault Resistance 50[Ω])  
Fig. 9 Convergence of Reactance Loci

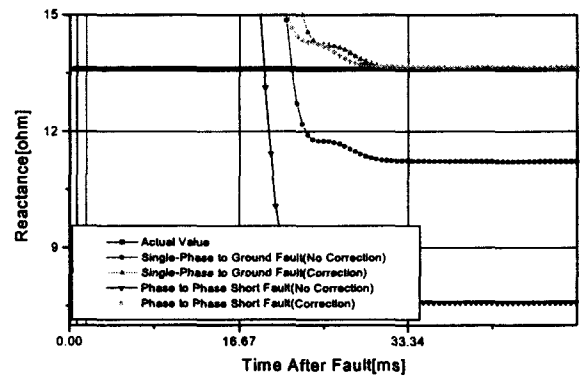


그림 10 리액턴스 수렴 궤적  
(Zone1 39.5[km], Fault Resistance 50[Ω])  
Fig. 10 Convergence of Reactance Loci

#### 4. 결 론

거리계전기에서 리액턴스 효과에 의한 추정 임피던스 오차를 개선한 본 논문의 결론은 다음과 같다.

- (1) 고장 발생 시에 실제 선로임피던스와 추정 임피던스의 크기와 위상차를 수식화하였다.
- (2) 추정 임피던스와 위상각을 사용한 임피던스 보상으로 고장저항과 영상분 상호작용에 의한 오차를 최소화하였다.
- (3) 제시된 알고리즘은 고장 발생시 부하조류와 고장저항에 의해 추정 임피던스가 거의 영향받지 않음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

[1] "직접접지계통 송전선로 고저항 지락보호대책연구 (최종보고서), 전력연구원, pp.3-4, July, 1997  
[2] W.D. Breingan, M. M. Chen, T. F. Gallen, "The Laboratory Investigation of a Digital System for the Protection of Transmission Lines" IEEE Trans. PAS,

Vol. PAS-98, pp 350-357, /mar./Apr. 1979

[3] Zhang Zhizhe, Chen Deshu, "An Adaptive Approach in Digital Distance Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 1, pp.135-142, January 1991

[4] 안용진, 강상희, "고장저항의 영향을 최소화한 거리계전기법", 1998 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.286-288, 1998

[5] Yong-Jin Ahn, Sang-Hee Kang, Myong-Song Choi, Seung-Jae Lee, "An Accurate Fault Location Algorithm for Double-Circuit Transmission Systems",

IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2000, pp.1344-1349, July 16-20, 2000

[6] 안용진, "병행 2회선 송전선로 고장점 표정 알고리즘", 1999학년도 공학석사학위논문, 명지대, pp.18-19, 1999

[7] Sang-Hee Kang, Jong-Keun Park, Nam-Ho Kim, "A New Digital Distance Relaying Based on the Fast Haar Transformation Using a Half cycle Offset Free Signals" Trans. of the IEE of Japan, Vol. 114, Pt. B, No. 6, pp.601-608, Jun 1994

저 자 소 개



**안 용 진 (安 龍 珍)**  
 1968년 9월 24일 생. 1998년 명지대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 유호전기공업(주) 부설 연구소 주임연구원.

Tel : 031-871-8801 ex)289, Fax : 031-871-8810  
 E-mail : yjahn@youho.co.kr



**이 승 재 (李 承 宰)**  
 1955년 11월 30일 생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학). 1994년 Univ. of Washington 교환교수. 현재

명지대 전기정보제어공학부 교수.  
 Tel : 031-330-6362  
 E-mail : sjlee@wh.myongji.ac.kr



**강 상 희 (姜 相 熙)**  
 1962년 생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 명지대학교 공대 전기정보제어공학부 부교수.

Tel : 031-330-6364  
 E-mail : shkang@wh.myongji.ac.kr