

765kV 비연가 송전선로에서 상간단락고장 시에 거리계전 알고리즘

안 용 진*
*유호전기공업(주)

강 상 회**
**영지대 차세대전력기술연구센터

A New Distance Relaying Algorithm for Phase-to-Phase Short Fault in 765kV Untransposed Transmission Lines

YONG-JIN AHN*
*Youho Elec. Ind. Co., LTD

SANG-HEE KANG**
**Myongji University NPTC Center

Abstract - An accurate digital distance relaying algorithm which is immune to reactance effect of the fault resistance and the load current for phase-to-phase short fault in 765kV untransposed transmission lines is proposed. The algorithm can estimate adaptively the impedance to a fault point independent of the fault resistance. To compensate the magnitude and phase of the apparent impedance, this algorithm uses the angle of an impedance deviation vector. The impedance correction algorithm for phase-to-phase short fault uses a voltage equation at fault point to compensate the fault current at fault point. A series of tests using EMTP output data in a 765kV untransposed transmission lines have proved the accuracy and effectiveness of the proposed algorithm.

스는 실제 선로임피던스와 크기와 위상의 차이를 갖는다. 리액턴스 효과는 부하전류, 고장위치, 고장타입과 고장저항의 크기에 의존한다. 표 1에 본 논문에서 사용하는 기호를 정리하였다.

표 1 기호정의

기 호	정 의	단 위
V_{Sa}, V_{Sb}, V_{Sc}	자기단에서의 a, b, c상 전압	V
I_{Sa}, I_{Sb}, I_{Sc}	자기단에서의 a, b, c상 전류(고장회선)	A
I_{Ra}, I_{Rb}, I_{Rc}	상대단에서의 a, b, c상 전류(고장회선)	A
I_{Ta}, I_{Tb}, I_{Tc}	자기단에서의 a, b, c상 전류(인접회선)	A
I_{fa}, I_{fb}, I_{fc}	고장점 전류	A
Z_{xx}	송전선로의 자기 및 상호 임피던스(단위길이)	Ω/km
Z_{Lxx}	송전선로의 자기 및 상호 임피던스(전체길이)	Ω
Z_{Dxx}	계전기 설치점에서 고장점까지 선로 임피던스	Ω
R_f	고장점 저항	Ω
d	계전기 설치점에서 고장점까지 거리	P.U

1. 서 론

765kV 비연가 송전계통에서는 송전선에 6복도체를 적용하고 있는데 선로의 정상 정전용량이 매우 커져서 이로 인한 보호 상의 문제점이 발생한다. 즉, 큰 충전전류 때문에 송수전 양단간에 차전류가 생겨서 고장 검출이 어려워지며, 고장의 발생, 제거 시에 생기는 과도적 진동전류, 특히 저차고조파분의 전류는 거리계전기의 오동작을 유발한다. 또한, 선로의 저항분이 적어서 회로의 시정수가 길어지므로 고장전류 중에 긴 시정수를 가진 직류분 전류가 포함되어 이에 의한 변류기 포화로 거리계전기의 오동작을 가져올 것으로 예상된다[1]. 현재 운영중인 송전선로 보호계전기의 리치 측정은 연가된 송전선로 전체로 하고 있으며, 비연가 병행회선 송전선로의 경우는 불평형 상호 인덕턴스 때문에 측정 오차가 발생한다. 거리계전기의 경우에 인접회선의 전류보상이 없을 경우 언더리치 현상이 발생하며, 인접회선의 영상전류보상 기능도 인접회선 고장 시에 오버리치 현상 때문에 적용하지 못할 것으로 예상된다[2]. 본 논문에서는 765kV 비연가 송전선로에서 상간단락고장 발생시에 리액턴스 효과를 제거한 거리계전 알고리즘을 제시한다.

2. 본 론

만약 보호구간의 경계지점에서 저항을 포함하는 고장이 발생하면, 리액턴스 효과에 의하여 계전기는 오·부동작을 일으킨다[3].

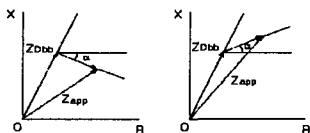


그림 1 추정임피던스 특성

그림 1은 고장 시에 계전기가 추정하는 임피던스 특성을 도시한 것으로, 리액턴스 효과에 의해서 추정임피던

2.1 거리계전 알고리즘

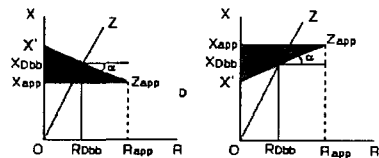


그림 2 임피던스 보정

추정임피던스 $Z_{app}(R_{app}, X_{app})$ 와 위상각 α 를 안다면, 리액턴스 효과를 제거한 계전기 설치점에서 고장점까지의 실제 선로임피던스 $Z_{fb}(R_{fb}, X_{fb})$ 를 구할 수 있다. 그림 2에서 직선 $Z_{app}-X'$ 와 직선 $O-Z$ (선로)의 교점이 선로임피던스임을 확인할 수 있다[3].

$$R_{fb} = \frac{X'}{X_{fb}/R_{fb} - (X_{app} - X')/R_{app}} \tag{1}$$

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

$$X' = X_{app} \pm R_{app} \cdot \tan \alpha \tag{2}$$

2.2 상간 단락 고장

상간단락고장 시에 거리계전기가 추정하는 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{app} = \frac{V_{app}}{I_{app}} \tag{3}$$

여기서,

$$V_{app} = V_{Sb} - V_{Sc}$$

$$I_{app} = \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Ta} \\ I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}$$

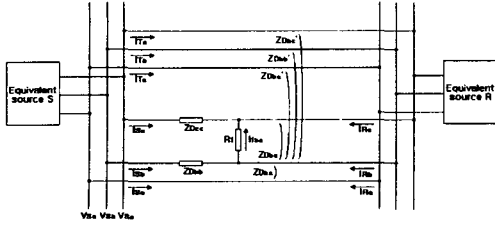


그림 3 상간단락고장 시 계통도 I

그림 3은 고장저항이 개입한 상간단락고장이며, 계전 기 설치 점에서 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_{Sb} - V_{Sc} = \begin{pmatrix} Z_{Dba} - Z_{Dca} \\ Z_{Dbb} - Z_{Dcb} \\ Z_{Dbc} - Z_{Dcc} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_{Dba'} - Z_{Dca'} \\ Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'} \\ Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix} + R_f I_{fc} \quad (4)$$

$$= Z_{Dbb} \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba} - Z_{Dca}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba'} - Z_{Dca'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix} + R_f I_{fc}$$

식 (3)과 (4)에서 다음을 유도할 수 있다.

$$Z_{app} = Z_{Dbb} + R_f \frac{I_{fc}}{\begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba} - Z_{Dca}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba'} - Z_{Dca'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}} \quad (5)$$

$$= Z_{Dbb} + R_f \frac{I_{fc}}{\begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba} - Z_{Dca}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba'} - Z_{Dca'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}} e^{j\alpha}$$

여기서,

$$\alpha = \text{Arg} \left\{ \frac{I_{fc}}{\begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba} - Z_{Dca}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba'} - Z_{Dca'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}} \right\} \quad (6)$$

식 (5)와 (6)에서 추정임피던스는 실제 선로임피던스 Z_{bb} 에 R_f 가 포함된 항만큼의 오차를 갖는다.

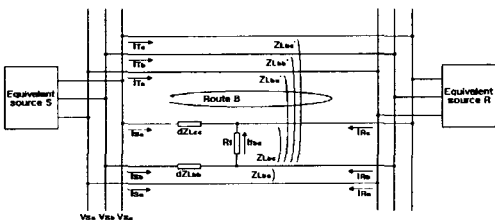


그림 4 상간단락고장 시 계통도 II

식 (6)에 미지값 I_{fc} 를 구하기 위하여 다음을 서술한다. 그림 4의 Route B에 상별로 KVL을 적용하여 다음을 유도한다[4].

$$d \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} - (1-d) \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Rb} \\ I_{Rc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ b_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix} = 0 \quad (7)$$

$$d \begin{pmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} - (1-d) \begin{pmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Rb} \\ I_{Rc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{21} \\ b_{22} \\ b_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix} = 0 \quad (8)$$

$$d \begin{pmatrix} a_{31} \\ a_{32} \\ a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} - (1-d) \begin{pmatrix} a_{31} \\ a_{32} \\ a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Rb} \\ I_{Rc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{31} \\ b_{32} \\ b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix} = 0 \quad (9)$$

여기서,

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{Laa} - Z_{La'a} & Z_{Lab} - Z_{La'b} & Z_{Lac} - Z_{La'c} \\ Z_{Lba} - Z_{Lb'a} & Z_{Lbb} - Z_{Lb'b} & Z_{Lbc} - Z_{Lb'c} \\ Z_{Lca} - Z_{Lc'a} & Z_{Lcb} - Z_{Lc'b} & Z_{Lcc} - Z_{Lc'c} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{Laa'} - Z_{La'a'} & Z_{Lab'} - Z_{La'b'} & Z_{Lac'} - Z_{La'c'} \\ Z_{Lba'} - Z_{Lb'a'} & Z_{Lbb'} - Z_{Lb'b'} & Z_{Lbc'} - Z_{Lb'c'} \\ Z_{Lca'} - Z_{Lc'a'} & Z_{Lcb'} - Z_{Lc'b'} & Z_{Lcc'} - Z_{Lc'c'} \end{pmatrix}$$

미지 값인 상대단 전류 I_{Rb} 와 I_{Rc} 는 식 (7), (8)과 (9)를 정리하여 구한다.

$$I_{Rb} = \frac{dm_{21}I_{Sb} + m_{22}I_{Ta} + m_{23}I_{Tb} + m_{24}I_{Tc}}{(1-d)m_{21}} \quad (10)$$

$$I_{Rc} = \frac{dm_{31}I_{Sc} + m_{32}I_{Ta} + m_{33}I_{Tb} + m_{34}I_{Tc}}{(1-d)m_{31}} \quad (11)$$

여기서,

$$m_{21} = (a_{31}a_{13} - a_{11}a_{33})(a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22}) - (a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23})(a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32})$$

$$m_{22} = (a_{31}a_{13} - a_{11}a_{33})(a_{21}b_{11} - a_{11}b_{21}) - (a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23})(a_{31}b_{11} - a_{11}b_{31})$$

$$m_{23} = (a_{31}a_{13} - a_{11}a_{33})(a_{21}b_{12} - a_{11}b_{22}) - (a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23})(a_{31}b_{12} - a_{11}b_{32})$$

$$m_{24} = (a_{31}a_{13} - a_{11}a_{33})(a_{21}b_{13} - a_{11}b_{23}) - (a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23})(a_{31}b_{13} - a_{11}b_{33})$$

$$m_{31} = (a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32})(a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23}) - (a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22})(a_{31}a_{13} - a_{11}a_{33})$$

$$m_{32} = (a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32})(a_{21}b_{11} - a_{11}b_{21}) - (a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22})(a_{31}b_{11} - a_{11}b_{31})$$

$$m_{33} = (a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32})(a_{21}b_{12} - a_{11}b_{22}) - (a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22})(a_{31}b_{12} - a_{11}b_{32})$$

$$m_{34} = (a_{31}a_{12} - a_{11}a_{32})(a_{21}b_{13} - a_{11}b_{23}) - (a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22})(a_{31}b_{13} - a_{11}b_{33})$$

따라서, 고장점 전류 I_{fc} 는 다음과 같다.

$$I_{fc} = I_{Sb} + I_{Rb} - I_{Sc} - I_{Rc}$$

$$= \frac{\begin{pmatrix} m_{31}m_{21} \\ -m_{21}m_{31} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_{31}m_{22} - m_{21}m_{32} \\ m_{31}m_{23} - m_{21}m_{33} \\ m_{31}m_{24} - m_{21}m_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Ta} \\ I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}}{(1-d)m_{21}m_{31}} \quad (12)$$

식 (6)에 식 (12)에서 구한 I_{fc} 를 대입하여 정리하면 위상각 α 는 다음과 같다.

$$\alpha = \text{Arg} \left\{ \frac{\begin{pmatrix} m_{31}m_{21} \\ -m_{21}m_{31} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_{31}m_{22} - m_{21}m_{32} \\ m_{31}m_{23} - m_{21}m_{33} \\ m_{31}m_{24} - m_{21}m_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Ta} \\ I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba} - Z_{Dca}}{Z_{Dbb}} \\ 1 - \frac{Z_{Dcb}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc} - Z_{Dcc}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Sb} \\ I_{Sc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{Dba'} - Z_{Dca'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbb'} - Z_{Dcb'}}{Z_{Dbb}} \\ \frac{Z_{Dbc'} - Z_{Dcc'}}{Z_{Dbb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{Tb} \\ I_{Tc} \end{pmatrix}} \right\} \quad (13)$$

식 (3)과 식 (13)에서 추정임피던스 Z_{app} 와 위상각 α 를 구하였으므로, 식 (1)을 사용하여 리액턴스 효과를 제거한 거리계전 알고리즘을 구현할 수 있다. 식 (13)의 미지 값 d 는 고장시에 리액턴스 성분이 리액턴스 효과에 적게 영향 받으므로 다음의 식을 초기값으로 사용한다.

$$d = \frac{X_{app}}{X_{Lbb}} \quad (14)$$

3. 사례 연구

3.1 시험계통

본 논문에서 제시한 거리계전 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 3에 도시한 765kV, 137.374(km)의 비연가 송전선로를 EMTP의 Line Constants[5]를 이용하여 모의하여 모의하였으며, 시험계통의 전원 데이터는 표 2에 도시하였고, 부하전류의 영향을 고려하기 위하여 양단 전원의 상차각은 10°로 하였다.

표 2 시험계통 전원 데이터(Ω)

구분	S 모선	R 모선
정상분	0.7607925+j35.9328150	1.5801075+j42.487335
역상분	0.7607925+j35.7572475	1.5801075+j42.136200
영상분	3.2772600+j39.9708675	6.905655+j62.5605525

제안된 알고리즘의 시험을 위한 거리계전기는 전체선로(137.374[km])의 80%지점(109.899[km])까지를 보호

구간으로 선정하였으며, 전압과 전류 데이터는 60(Hz) 계통에서 주기당 96샘플링(5760[Hz]) 하였으며, 중첩방지(anti-aliasing) 및 고조파 제거를 위하여 차단주파수 300(Hz), 이득 0.1의 저역필터를 통과한 후, 한 주기 이산푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)을 사용하여 전력주파수 성분을 추출하였다. 오차는 실제값에 대한 추정값의 백분율로 나타내었다.

3.2 제시한 알고리즘의 시험결과

표 3과 4는 고장위상각 0°와 90°에서 리액턴스 효과를 제거한 거리계전 알고리즘의 시험결과이다. 고장저항이 개입하지 않았을 경우에 양호한 결과를 보였으며, 개입한 경우에도 리액턴스 효과 제거를 통하여 양호한 결과를 보였다. 고장 위상각 0°, 고장저항 0Ω, 고장거리 80(%) 지점에서 bc상 단락고장 시에 최대 2.16(%)의 오차를 보였다.

표 3 제시한 알고리즘의 계산 오차(고장위상각 0°)

고장상	고장지점	고장저항	저항(Ω)		리액턴스(Ω)		오차(%)
			실제값	추정값	실제값	추정값	
ab	10(%)	0(Ω)	0.7267	0.7268	5.9095	5.9109	0.02
	13.737(km)	20(Ω)	0.7267	0.7196	5.9095	5.8523	0.96
	40(%)	0(Ω)	2.9067	2.9155	23.6382	23.7097	0.30
	54.950(km)	20(Ω)	2.9067	2.8776	23.6382	23.4015	1.00
bc	10(%)	0(Ω)	5.8134	5.8858	47.2763	47.8655	1.24
	13.737(km)	20(Ω)	5.8134	5.8037	47.2763	47.1977	0.16
	40(%)	0(Ω)	0.6445	0.6554	6.7347	6.8485	1.68
	54.950(km)	20(Ω)	0.6445	0.6456	6.7347	6.7464	0.17
ca	10(%)	0(Ω)	2.5779	2.6240	26.9389	27.4205	1.78
	13.737(km)	20(Ω)	2.5779	2.5853	26.9389	27.0164	0.28
	40(%)	0(Ω)	5.1558	5.2675	53.8778	55.0446	2.16
	54.950(km)	20(Ω)	5.1558	5.1908	53.8778	54.2432	0.67
ab	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.6487	7.0833	7.1820	1.39
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	40(%)	0(Ω)	2.5590	2.5949	28.3333	28.7309	1.40
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	2.5603	28.3333	28.3477	0.05
bc	10(%)	0(Ω)	5.1180	5.2007	56.6666	57.5825	1.61
	13.737(km)	20(Ω)	5.1180	5.1385	56.6666	56.8944	0.40
	40(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	54.950(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
ca	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	40(%)	0(Ω)	2.5590	2.5949	28.3333	28.7309	1.40
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	2.5603	28.3333	28.3477	0.05

표 4 제시한 알고리즘의 계산 오차(고장위상각 90°)

고장상	고장지점	고장저항	저항(Ω)		리액턴스(Ω)		오차(%)
			실제값	추정값	실제값	추정값	
ab	10(%)	0(Ω)	0.7267	0.7171	5.9095	5.8315	-1.32
	13.737(km)	20(Ω)	0.7267	0.7195	5.9095	5.8516	0.98
	40(%)	0(Ω)	2.9067	2.8778	23.6382	23.4.30	-0.99
	54.950(km)	20(Ω)	2.9067	2.8772	23.6382	23.3985	-1.01
bc	10(%)	0(Ω)	5.8134	5.8118	47.2763	47.2634	-0.02
	13.737(km)	20(Ω)	5.8134	5.8030	47.2763	47.1917	-0.17
	40(%)	0(Ω)	0.6445	0.6465	6.7347	6.7456	0.16
	54.950(km)	20(Ω)	0.6445	0.6455	6.7347	6.7461	0.09
ca	10(%)	0(Ω)	2.5779	2.5897	26.9389	27.0621	0.45
	13.737(km)	20(Ω)	2.5779	2.5850	26.9389	27.0128	0.27
	40(%)	0(Ω)	5.1558	5.2005	53.8778	54.3452	0.86
	54.950(km)	20(Ω)	5.1558	5.1900	53.8778	54.2353	0.66
ab	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.6401	7.0833	7.0869	0.05
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	0.6399	7.0833	7.0849	0.02
	40(%)	0(Ω)	2.5590	2.5625	28.3333	28.3724	0.14
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	2.5599	28.3333	28.3438	0.04
bc	10(%)	0(Ω)	5.1180	5.1405	56.6666	56.9159	0.44
	13.737(km)	20(Ω)	5.1180	5.1381	56.6666	56.8891	0.39
	40(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	54.950(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
ca	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	40(%)	0(Ω)	2.5590	2.5949	28.3333	28.7309	1.40
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	2.5603	28.3333	28.3477	0.05

3.3 기존 알고리즘의 시험결과

제시된 알고리즘과의 비교를 위하여 기존 알고리즘의 시험 결과를 살펴보았다. 기존 알고리즘은 리액턴스 효과를 제거하지 않은 식 (3)을 사용하였으며, 표 5와 6에 고장위상각 0°와 90°에서 시험결과를 도시하였다. 고장저항이 개입하지 않았을 경우에는 양호한 결과를 보였으나, 고장저항이 개입한 경우에는 계산 값과 실제 값이 상당히 큰 차이를 나타냈다. 고장 위상각 0°, 고장저항 20(Ω), 고장거리 10(%) 지점에서 ab상 단락고장 시에 최대 243.89(%)의 오차를 보였다.

표 5 기존 알고리즘의 계산 오차(고장위상각 0°)

고장상	고장지점	고장저항	저항(Ω)		리액턴스(Ω)		오차(%)
			실제값	추정값	실제값	추정값	
ab	10(%)	0(Ω)	0.7267	0.8287	5.9095	5.9056	0.15
	13.737(km)	20(Ω)	0.7267	19.9203	5.9095	4.7370	243.89
	40(%)	0(Ω)	2.9067	3.3324	23.6382	23.6943	0.46
	54.950(km)	20(Ω)	2.9067	28.3556	23.6382	22.2729	51.39
bc	10(%)	0(Ω)	5.8134	6.7784	47.2763	47.8588	1.48
	13.737(km)	20(Ω)	5.8134	50.4128	47.2763	46.3081	43.71
	40(%)	0(Ω)	0.6445	0.7625	6.7347	6.8455	1.81
	54.950(km)	20(Ω)	0.6445	22.1162	6.7347	6.0737	239.00
ca	10(%)	0(Ω)	2.5779	3.0671	26.9389	27.4152	1.93
	13.737(km)	20(Ω)	2.5779	30.9603	26.9389	26.5503	50.71
	40(%)	0(Ω)	5.1558	6.2414	53.8778	55.0612	2.38
	54.950(km)	20(Ω)	5.1558	54.5708	53.8778	54.7239	42.78
ab	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.8330	7.0833	7.1788	1.61
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	20.5544	7.0833	6.6634	203.81
	40(%)	0(Ω)	2.5590	3.3713	28.3333	28.7301	1.68
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	29.1354	28.3333	28.1778	42.47
bc	10(%)	0(Ω)	5.1180	7.0330	56.6666	57.6298	2.04
	13.737(km)	20(Ω)	5.1180	51.7093	56.6666	57.6475	36.10
	40(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	54.950(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04

표 6 기존 알고리즘의 계산 오차(고장위상각 90°)

고장상	고장지점	고장저항	저항(Ω)		리액턴스(Ω)		오차(%)
			실제값	추정값	실제값	추정값	
ab	10(%)	0(Ω)	0.7267	0.7379	5.9095	5.8304	1.32
	13.737(km)	20(Ω)	0.7267	19.9190	5.9095	4.7389	243.88
	40(%)	0(Ω)	2.9067	2.9638	23.6382	23.3998	0.96
	54.950(km)	20(Ω)	2.9067	28.3524	23.6382	22.2739	51.38
bc	10(%)	0(Ω)	5.8134	6.0351	47.2763	47.2616	0.03
	13.737(km)	20(Ω)	5.8134	50.4055	47.2763	46.3098	43.70
	40(%)	0(Ω)	0.6445	0.6606	6.7347	6.7556	0.33
	54.950(km)	20(Ω)	0.6445	22.1148	6.7347	6.0756	238.98
ca	10(%)	0(Ω)	2.5779	2.6525	26.9389	27.0614	0.47
	13.737(km)	20(Ω)	2.5779	30.9665	26.9389	26.5511	50.70
	40(%)	0(Ω)	5.1558	5.4135	53.8778	54.3487	0.91
	54.950(km)	20(Ω)	5.1558	54.5604	53.8778	54.7257	42.77
ab	10(%)	0(Ω)	0.6397	0.7281	7.0833	7.0854	0.15
	13.737(km)	20(Ω)	0.6397	20.5523	7.0833	6.6658	203.79
	40(%)	0(Ω)	2.5590	2.9667	28.3333	28.3720	0.27
	54.950(km)	20(Ω)	2.5590	29.1314	28.3333	28.1784	42.46
bc	10(%)	0(Ω)	5.1180	6.2178	56.6666	56.9431	0.67
	13.737(km)	20(Ω)	5.1180	51.7094	56.6666	57.6458	36.10
	40(%)	0(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04
	54.950(km)	20(Ω)	0.6397	0.6400	7.0833	7.0860	0.04

4. 결론

본 논문에서 765kV 비연가 송전선로에서 상간단락고장 시에 적용할 수 있는 리액턴스 효과를 제거한 거리계전 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 리액턴스 효과로 인한 계전기 설치 점에서의 추정임피던스와 실제 선로임피던스의 크기와 위상각을 보상하기 위하여 고장 점에서의 전압방정식을 이용하며, 고장점 전류를 병행회선에 KVL을 적용하여 추정한다. 사례연구결과 제안된 알고리즘은 리액턴스 효과를 제거하지 않은 일반적인 알고리즘의 오차를 크게 개선한 방법으로 765kV 비연가 송전계통에 유용하게 사용되리라 사료된다.

(참고 문헌)

- [1] "765kV 초고압 보호계전 방식에 관한 연구", 최종보고서, 한국전력공사 기술연구원, Dec., 1994
- [2] 서순교, 오세일, 김병호, "비연가 송전선로에서의 거리계전 리치 측정 및 고장점 표정에 대한 고찰", 전력계통보호 제어연구회 학술 및 기술발표회 논문집, pp. 82-89, 2001
- [3] 안용진, 강상희, 이승재, "리액턴스 효과를 최소화한 병행 2회선 송전선로 보호 거리계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, 제50권 1호, pp 38-44, 2001
- [4] 안용진, 강상희, "765kV 비연가 송전선로에서 고장점 표정 알고리즘", 대한전기학회 논문지, 제53권 3호, pp 168 174, 2004
- [5] "ATP Rule Book", ATP Salford Version of EMTP