Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2015) 29(8) : 23~31
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.8.023 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

논문 29-8-4

병행 2회선 송전선로의 개선된 거리계전기법

(Advanced Distance Relaying of on a Double Circuit Transmission Line)

박철원*
(Chul-Won Park)

Abstract

This paper proposes an advanced distance relaying based on the DC offset removal filter to minimize the effects of DC offset on a double circuit transmission line. The proposed DC offset removal filter uses only one cycle of data for phasor extraction computation, which does not need to preset the time constant of the DC offset component. This proposed distance relaying uses not only the residual current of the faulted circuit but also mutual current of the healthy adjacent circuit. A series of off-line test results using ATP simulation data show the effectiveness of the an advanced distance relaying.

Key Words : ATP, DC Offset Removal Filter, Distance Relay, Impedance, Phasor, Transmission Line

1. 서 론

거리계전기는 계전기 설치점과 고장발생점 사이의 임피던스를 측정하여 고장발생점까지의 거리에 따라 동작시간이 변화하며 송전선로를 보호한다[1]. 국내 거리계전기는 정정지침에 따라 지락고장시에는 보호영역 Zone1을 75%에 정정하여 자기구간의 75%까지를 보호하고, 단락고장시에는 Zone1을 85%에 정정하여 자기구간의 85%까지 순시동작하여 송전선로를 보호하고 있다[1-2].

대부분의 거리계전기는 전압과 전류로부터 이산푸리에변환(DFT : Discrete Fourier Filter) 필터에 의해 기본파 페이저를 추출하여 임피던스를 계산하기 때문에 직류옵셋성분(DC offset component)의 영향에 의한 페이저 연산 오차가 있는 경우, 계측 선로임피던스의 과도 진동이 발생함으로 인해 오버리치(overreach) 또는 언더리치(underreach)에 따라 거리계전기의 오·부동작이 유발할 가능성이 높아진다. 이에 지난 십 수년간 직류옵셋성분의 영향을 감소시키거나 제거하려는 다양한 기법들이 제안되었다[3-5].

국내 발표된 DFT 기반 개선된 페이저 연산 기법을 적용한 거리계전 알고리즘에서, 복수의 직류옵셋성분의 영향을 제거할 수 있는 개선된 페이저 연산 기법을 적용한 거리계전 알고리즘이 제안되었다[6]. 자기단 전원 임피던스 추정기법을 사용한 병행 2회선 송전선로 고장점 표정 알고리즘이 발표되었다[7]. ATPdraw를 이용한 154kV 장거리 송전선로 모델링을 통하여 수집된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 종래의 여러

* Main author : Gangneung-Wonju National University Dept. of Electrical Engineering Professor
Tel : 033-760-8786, Fax : 033-760-8781
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr
Received : 2015. 5. 7
Accepted : 2015. 7. 2

Copyright ⓒ 2015 KIIEE All right's reserved
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가지 디지털 거리계전 알고리즘에 관한 연구가 이루어졌다[8]. 선로 임피던스 오차에 의한 거리계전기 동작상태를 실제 고장 당시의 보호계전기 저장 데이터를 시뮬레이션하여 분석하고 그 해결방안을 제시하였다[9]. 병행 송전선로의 운전조건별 영상전류 변동이 거리계전기 동작특성에 미치는 영향에 관한 연구가 발표되었다[10]. 한편 KEPCO 계통보호팀은 154kV 송전선로 IED반(PCM전류차동방식)에 관한 한전일반 구매규격을 개정하였는데, 이 구매규격은 IEC61850 통신프로토콜을 적용하는 변전소의 차단기 제어장치에 인접하여 설치하는 154kV 송전선로 보호용 보호배전반 구매시에 적용되고 있다[11].

본 논문에서는 병행 2회선 송전선로에서 직류옵셋 성분의 영향을 최소화하기 위하여 직류옵셋제거필터를 적용한 개선된 거리계전기법을 제안하였다[12-16]. 제시된 기법의 효용성을 입증하기 위하여 ATP를 이용하여 154kV 병행 2회선 송전선로를 모델링하고 1선 지락사고를 모의한 후 수집한 시뮬레이션 데이터를 활용되었다.

2. 개선된 거리계전기법

2.1 직류옵셋제거필터

이 직류옵셋제거필터는 고조파 성분을 점차적으로 소거하여 직류옵셋성분만 남게 한 후 그 직류옵셋의 초기치와 감쇠율을 구하여 고장신호에 포함된 직류옵셋성분을 결정하게 된다[12-14, 16].

직류옵셋의 감쇠율과 초기치는 각각 식 (1)과 식 (2)와 같이 표시할 수 있다.

$$D^s = \frac{\sum_{n=0}^{2^r-1} i[k+\frac{n}{2^r}N+s]}{\sum_{n=0}^{2^r-1} i[k+\frac{n}{2^r}N]} \Rightarrow D = \sqrt[s]{D^s} \quad (1)$$

$$B = \frac{\sum_{n=0}^{2^r-1} i[k+\frac{n}{2^r}N]}{D^k \sum_{n=0}^{2^r-1} D^{\frac{n}{2^r}N}} \quad (2)$$

여기서 B는 직류옵셋의 초기치, r는 필터 차수, k는 샘플번호, D는 직류옵셋의 감쇠율, N는 주기당 샘플수이다.

2.2 DFT 필터에 의한 기본파 페이저 추출

과도상태 전류신호를 주기당 N 샘플링하여 얻은 이산 전류신호를 $i(k)$라고 할 때, DFT된 $I_{DFT}(n)$은 식 (3)과 같이 표시할 수 있다[2-8].

$$I_{DFT}(n) = \frac{2}{N}\sum_{k=0}^{N-1} i(k)\, W_N^{nh} \; (n = 0,1,..,N-1) \quad (3)$$

여기서 W_N^{nh}은 $e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ 이며, 식 (3)에서 h는 고조파의 차수이며, 기본파 페이저를 추출하기 위해서 h는 1이 된다.

2.3 영상전류보상에 의한 거리계전기법

영상전류에 의한 불평형상태에서 거리계전기의 부동작을 방지하기 위해서 고장회선과 건전회선의 영상전류와 회선간의 상호임피던스를 고려해 주어야 한다. 그림 1은 병행 2회선 송전선로에서 a상 1선 지락고장을 나타낸다.

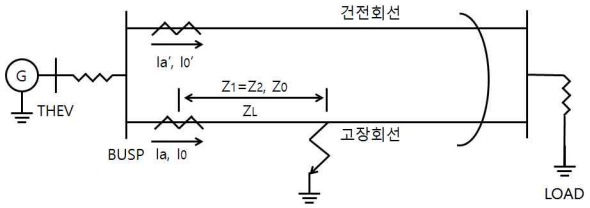


Fig. 1. One line to ground fault on a double circuit transmission line

1선 지락고장시 잉여분 보상계수(residual compensator factors)와 상호분 보상계수(mutual compensation factor)를 고려하여 거리계전기가 측정하는 전압은 식 (3)과 같이 표시할 수 있다.

$$V_a = Z_L(I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \cdot I_0 + \frac{Z_M}{Z_1} \cdot I_0') \quad (3)$$

여기서 V_a는 거리계전기가 측정한 a상전압, I_a는 고장회선에서의 a상전류, I_0는 고장회선에서의 영상전류, $I_0^{'}$는 건전회선에서의 영상전류, Z_0는 영상임피던스, Z_1는 정상임피던스, Z_M는 회선간의 상호임피던스, Z_L는 거리계전기 설치점으로부터 고장발생점까지의 임피던스이다.

잉여전류와 상호임피던스를 고려한 거리계전기가 측정하는 임피던스는 식 (4)와 같이 표시할 수 있다. 식 (4)와 같이 $3I_0$, $3I_0^{'}$를 이용하여 고장점까지의 임피던스를 구할 수 있다. 이때 사용되는 모든 전압과 전류신호들은 DFT 필터를 거친 기본파 페이저의 실수부와 허수부로 구분되어 선로 임피던스가 연산된다.

$$Z_L = \frac{V_a}{I_a + K_N \cdot 3I_0 + K_M \cdot 3I_0^{'}} \tag{4}$$

여기서 $K_N = (Z_0 - Z_1)/3Z_1$는 잉여분 보상계수, $K_M = Z_M/3Z_1$는 상호분 보상계수이다.

3. 사례연구

3.1 병행 2회선 송전선로 모델과 사고모의

제시한 직류옵셋제거필터를 이용한 개선된 거리계전기법의 효용성을 입증하기 위하여 ATP를 이용하여 그림 2와 같은 병행 2회선 송전선로를 모델링한 후 1선 지락고장을 모의하였다. 계통의 전원은 154kV이고, 전선의 규격은 ACSR 477MCM 240□ 가공지선은 ACSR 97□, 선로의 길이는 160km이다. 표 1은 선로정수이고 표 2는 등가 전원 정수 및 부하를 나타낸다.

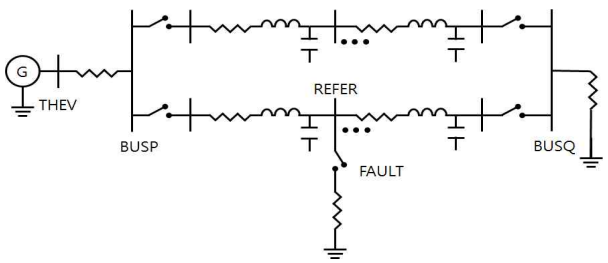


Fig. 2. Model of a double circuit transmission line

Table 1. Line parameters

대칭분	파라미터	값	단위
정상분	R_1	0.3434	Ω/km
	L_1	1.3158	Ω/km
	C_1	0.0052	μF/km
역상분	R_2	0.1342	Ω/km
	L_2	0.4765	Ω/km
	L_2	0.0090	μF/km
영상분	R_0	0.1342	Ω/km
	L_0	0.4758	Ω/km
	C_0	0.0090	μF/km

Table 2. Equivalent source parameter and load

	전원용량	역률	차과도 리액턴스
전원데이터	100MVA	0.85	7.71%
부하용량	80MVA		

표 3은 시뮬레이션 조건을 나타낸다. 고장의 종류는 a상 1선지락사고로 한정하였고 고장저항이 5Ω일 때의 직류옵셋의 영향을 검토하기 위하여 전압사고각을 0°, 45°, 90°로 가변하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 3. Simulation condition

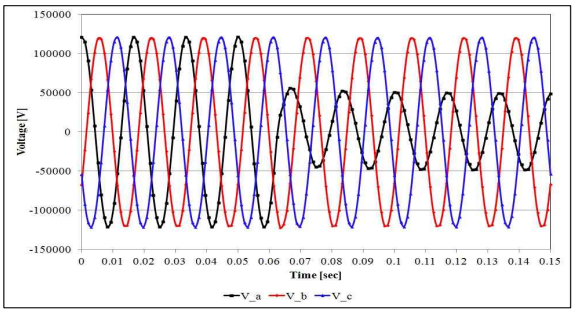
고장발생 거리	10%(16km)	전압사고각 (고장발생 시각)	0° (62.51ms)
	20%(32km)		
	30%(48km)		
	40%(64km)		45° (64.59ms)
	50%(80km)		
	60%(96km)		90° (66.67ms)
	70%(112km)		

본 논문에서 계산한 고장거리의 오차율은 식 (5)와 같이 전체 선로길이인 160km를 기준으로 나타내었다.

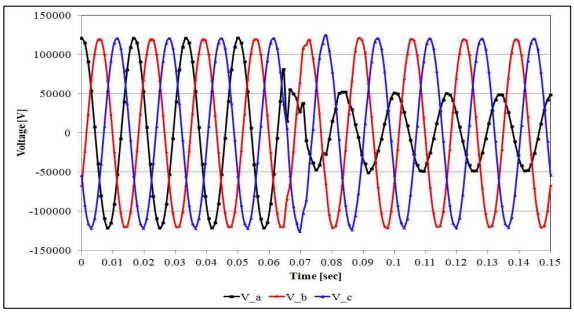
$$\left| \frac{\text{실제 고장거리} - \text{계산된 고장거리}}{\text{전체 선로길이}} \right| * 100[\%] \tag{5}$$

3.2 시뮬레이션 및 결과

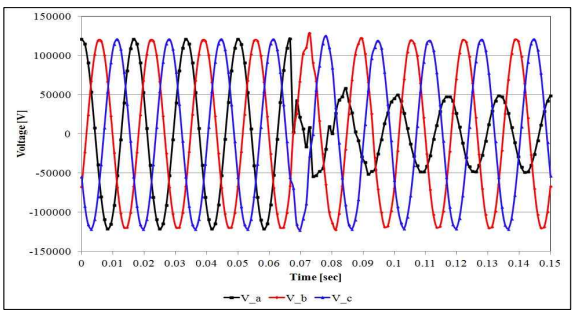
그림 3은 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 전압신호를 나타낸다. 그림 3과 같이 평형 3상전압은 고장발생직후 불평형이 되면서 전압사고각이 증가할수록 고조파성분이 많이 포함되는 것을 알 수 있다.



(a) 전압사고각 0°



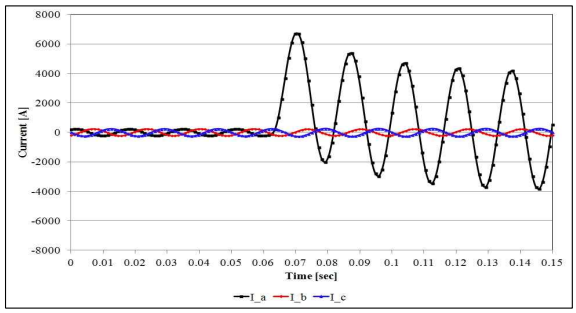
(b) 전압사고각 45°



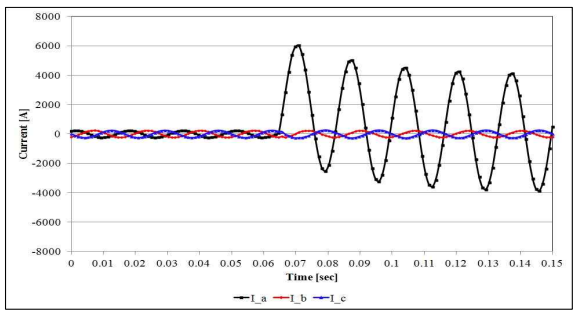
(c) 전압사고각 90°

Fig. 3. Three phase voltage signals

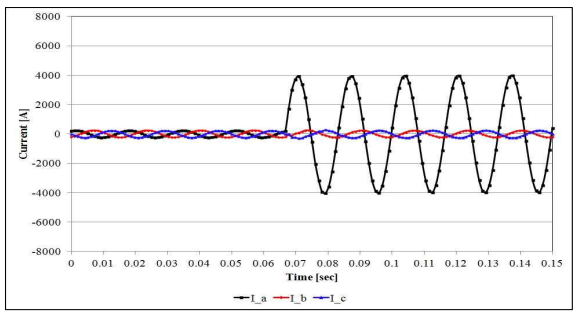
그림 4는 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 전류신호를 나타낸다. 그림 4와 같이 평형 3상전류는 고장발생직후 불평형이 되면서 전압사고각이 증가할수록 직류옵셋성분이 적게 포함되는 것을 알 수 있다.



(a) 전압사고각 0°



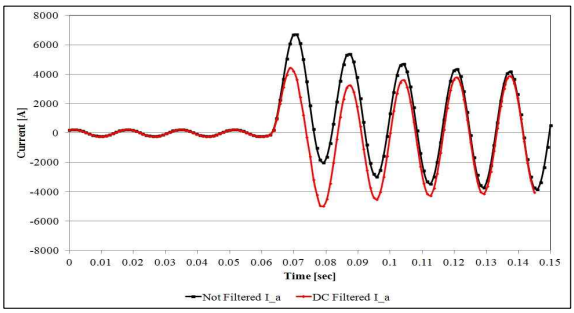
(b) 전압사고각 45°



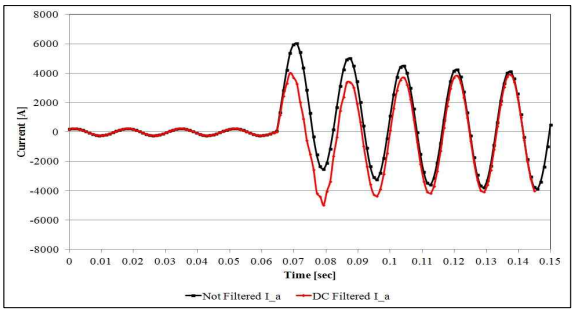
(c) 전압사고각 90°

Fig. 4. Three phase current signals (fault inception angle:0°)

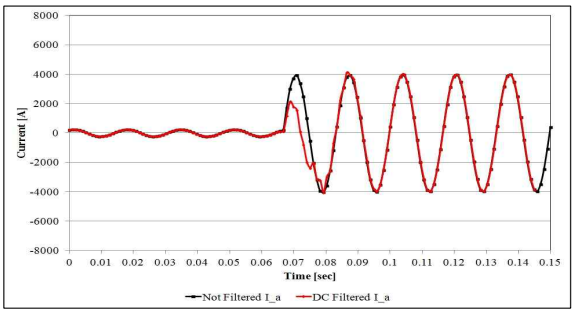
그림 5는 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 직류옵셋제거필터의 적용 전후의 전류신호를 나타낸다. 그림 5와 같이 제시된 직류옵셋제거필터에 의하여 고장발생후 50ms 정도 지나면 직류옵셋성분이 대부분 제거되는 것을 알 수 있다. 또 직류옵셋필터는 크기 및 위상변동이 없으므로 필터링후 어떠한 보정도 필요하지 않음을 알 수 있다.



(a) 전압사고각 0°

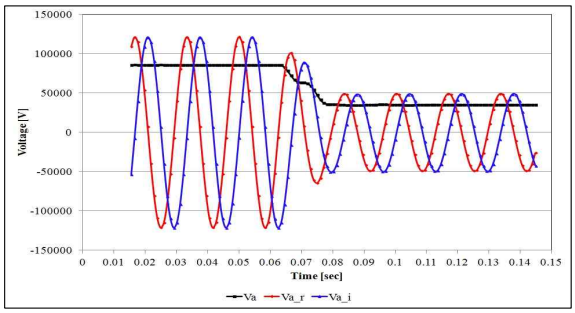


(b) 전압사고각 45°

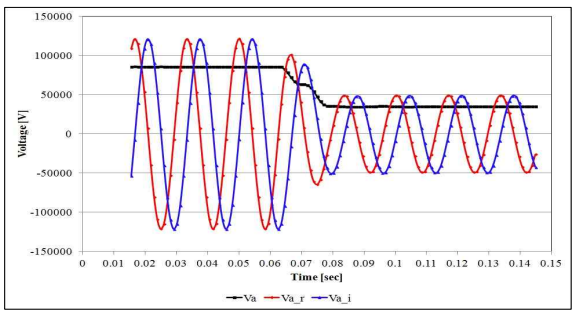


(c) 전압사고각 90°

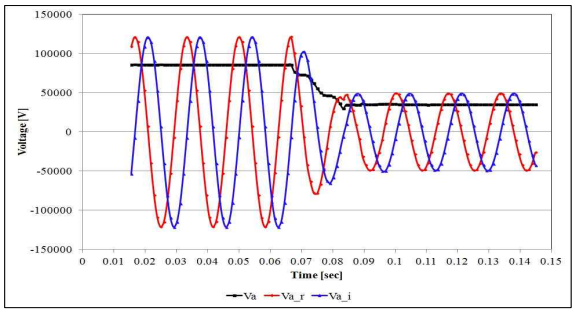
Fig. 5. Performance of proposed DC offset filter



(a) 전압사고각 0°



(b) 전압사고각 45°



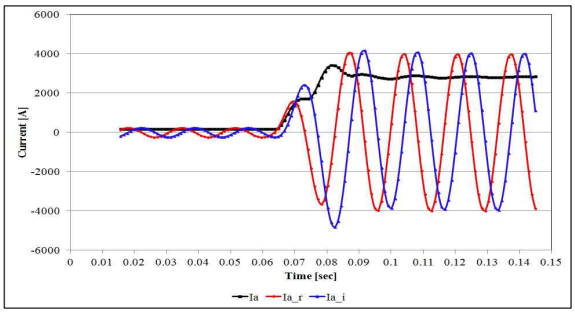
(c) 전압사고각 90°

Fig. 6. Fundamental voltage phasor of DFT filter

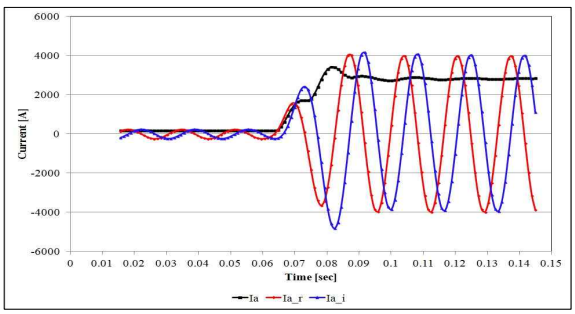
그림 6은 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 전압신호에 대한 DFT 필터의 기본파 페이저의 추출을 나타낸다. 그림 6과 같이 DFT 필터의 코사인필터와 사인필터에 의해 기본파성분 페이저의 실수부, 허수부 및 크기가 추출되는 것을 알 수 있다. 전압사고각이 증가할수록 기본파 페이저의 과도상태가 다소 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 전류신호에 대한 DFT 필터의 기본파 페이저의 추출을 나타낸다. 그림 7과 같이 DFT 필터에 의해 기본파의 실수부성분과 허수부성분, 페이저 크기 추출이 잘 되는 것을 알 수 있다. 전류신호의 기본파 페이저는 고장발생직후 전압사고각이 증가할수록 그 과도상태가 감소하는 것을 알 수 있다.

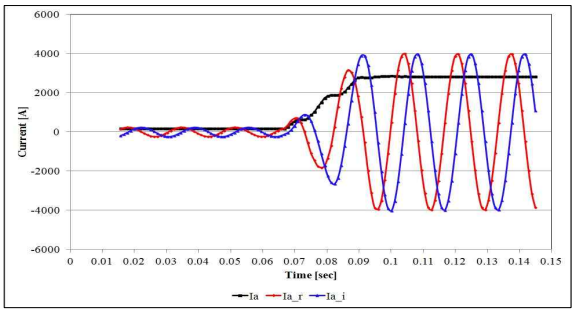
그림 8은 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 고장회선에서의 영상전류(I_0)와 건전회선에서의 영상전류(I_0')를 나타낸다. 지락고장이 발생한 고장회선에서는 고장발생직후 대지귀로를 흐르는 영상전류가 증가하는 알 수 있고, 건전회선에서는 상호결합에 따라 적은 영상전류가 흐르는 것을 알 수



(a) 전압사고각 0°



(b) 전압사고각 45°



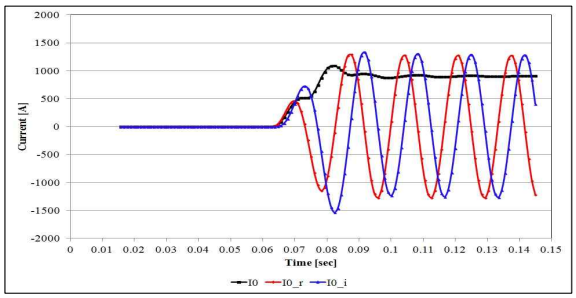
(c) 전압사고각 90°

Fig. 7. Fundamental current phasor of DFT filter

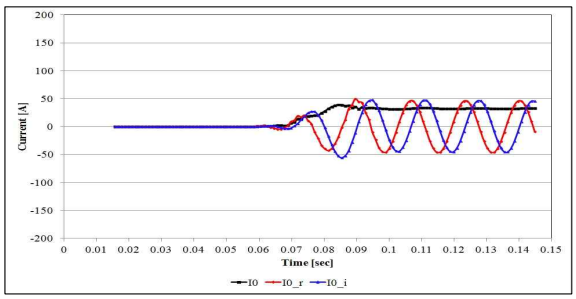
있다.

그림 9는 a상 1선 지락고장이 16km에서 발생했을 경우, 전압사고각 가변에 따른 임피던스 궤적을 나타낸다.

그림 9 (d)와 같이 전압사고각 0°에서 제시한 기법의 계측 임피던스는 1.936191+j7.694142가 되고 종래의 기법의 계측 임피던스는 2.157794+j7.582002가 된다. 그림 9와 같이 제시한 직류옵셋필터를 거친 거리계전기법이 종래의 거리계전기법보다 고장점까지의 임피던스가 신속하게 수렴하는 것을 알 수 있다.



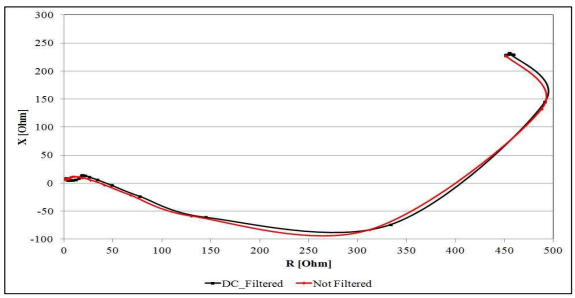
(a) 고장회선



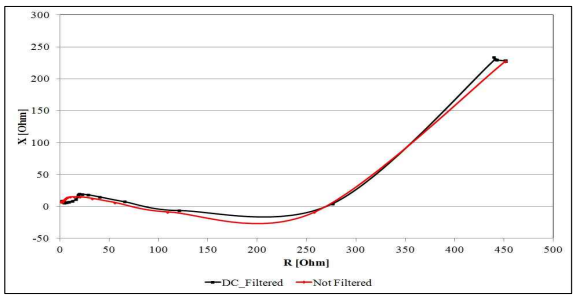
(b) 건전회선

Fig. 8. Zero sequence current

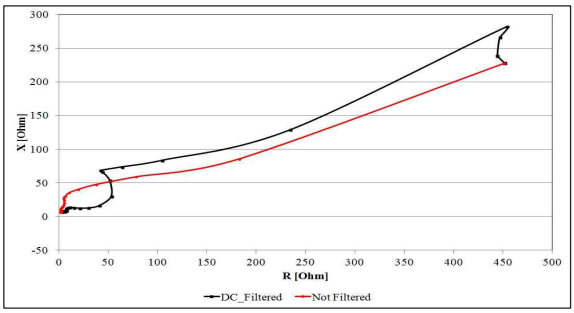
그림 10은 직류옵셋이 가장 많이 포함되는 전압사고각 0°에서 a상 1선 지락고장이 발생했을 경우, 고장발



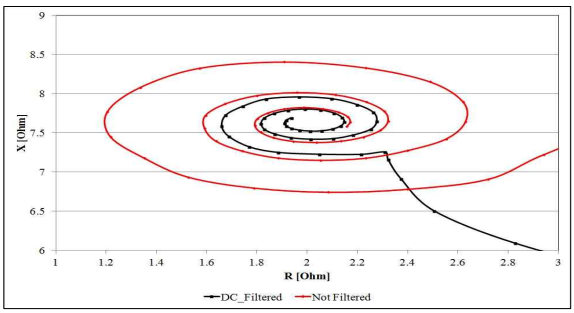
(a) 전압사고각 0°



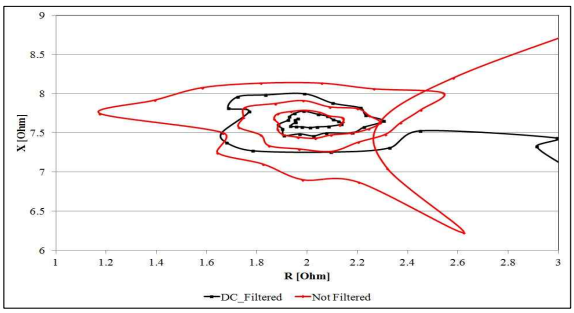
(b) 전압사고각 45°



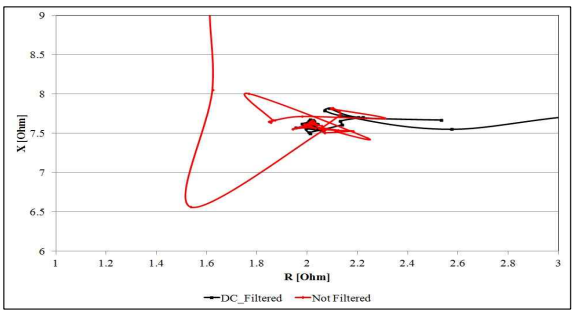
(c) 전압사고각 90°



(d) 전압사고각 0° (상세)



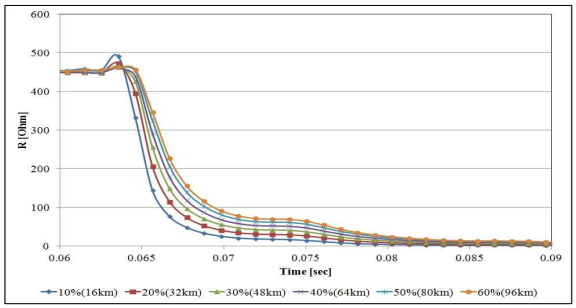
(e) 전압사고각 45° (상세)



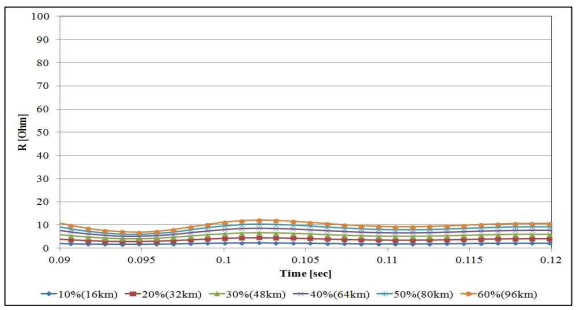
(f) 전압사고각 90° (상세)

Fig. 9. Impedance loci

생거리 가변에 따라 계산된 저항값의 수렴특성을 나타낸다. 그림 10 (a)는 고장발생이전인 60ms부터의 수렴특성이고, 그림 10 (b)는 고장발생후 2주기가 지난 시각인 94.82ms부터의 상세 수렴특성을 나타낸다. 각 고장발생거리별로 저항값은 16km에서는 2.147Ω, 32km에서는 4.294Ω, 48km에서는 6.441Ω, 64km에서는 8.588Ω, 80km에서는 10.736Ω, 96km에서는 12.883Ω으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 그림 10과 같이 고장발생거리가 증가할수록 저항값의 수렴특성이 느려지는 것을 알 수 있다.



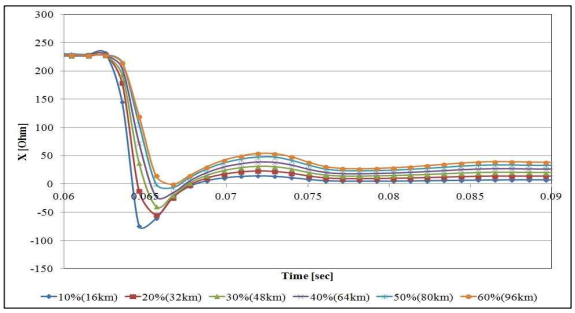
(a) 수렴특성(60ms부터)



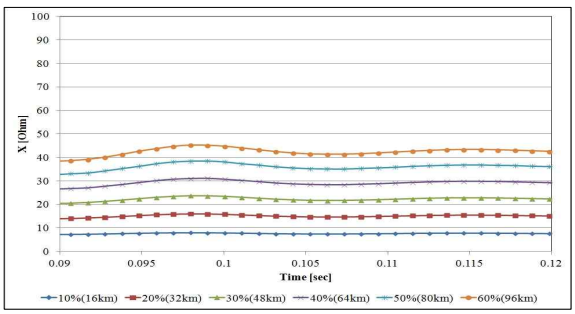
(b) 상세 수렴특성(67.51ms부터)

Fig. 10. Convergence characteristics of resistance value

그림 11은 직류옵셋이 가장 많이 포함되는 전압사고각 0°에서 a상 1선 지락고장이 발생했을 경우, 고장발생거리 가변에 따라 계산된 리액턴스값의 수렴특성을 나타낸다. 그림 11 (a)는 고장발생이전인 60ms부터의 수렴특성이고, 그림 11 (b)는 고장발생후 2주기가 지난 시각인 94.82ms부터의 상세 수렴특성을 나타낸다. 각 고장발생거리별로 리액턴스값은 16km에서는 7.624Ω, 32km에서는 15.248Ω, 48km에서는 22.872Ω,



(a) 수렴특성(60ms부터)



(b) 상세 수렴특성(94.82ms부터)

Fig. 11. Convergence characteristics of reactance value

64km에서는 30.496Ω, 80km에서는 38.120Ω, 96km에서는 45.744Ω으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 그림 11과 같이 고장발생거리가 증가할수록 리액턴스값의 수렴특성이 느려지는 것을 알 수 있다.

표 4는 종래의 거리계전기법과 제시된 직류옵셋필터를 거친 개선된 거리계전기법에 의해 계산된 고장발생거리와 전압사고각에 따른 임피던스를 나타낸다. 임피던스와 송전선로에 의해 결정되는 이론값을 비교한 것으로 계산값은 사고 후 2주기가 지난 뒤의 값이다.

표 4와 같이 제시된 거리계전기법과 종래의 거리계전기법에 의해 계산된 임피던스와 실제값을 이용하여 고장거리의 오차율을 구해보면, 개선된 거리계전기법이 종래의 거리계전기법보다 16km에서는 0.15~0.23%, 32km에서는 -0.02~0.78%, 48km에서는 -0.32~1.46%, 64km에서는 -0.5~2.04%, 80km에서는 -1.31~2.55%, 96km에서는 -1.08~2.44%, 112km에서는 -0.8~2.67%로 최소 -1.31%에서 최대 2.67%까지 오차율이 개선되는 것을 알 수 있다. 또한 고장발생거리는 계전기 설치점과 가까운 고장일수록 그 오차율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이론값에 대한 종래의 거리계전기법과 제시된 거리계전기법의 계산값은 고장발생거리가 증가할수록 오차가 커지는 것을 알 수 있다. 또 리액턴스값이 종래의 거리계전기법보다 제시된 거리계전기법이 오차가 더 적음을 알 수 있다.

Table 4. Impedance of fault distance change and fault inception angle change

기법		conventional		proposed		conventional		proposed		conventional		proposed	
고방발생거리		10% (16km)				20% (32km)				30% (48km)			
이론값		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
		2.147	7.624	2.147	7.624	4.294	15.248	4.294	15.248	6.441	22.872	6.441	22.872
계산값	0°	2.631	7.643	1.675	7.728	5.063	15.108	2.945	15.227	7.297	22.335	4.099	22.451
	45°	2.312	7.483	1.833	7.984	4.319	14.548	3.327	15.534	6.380	21.641	5.005	23.190
	90°	2.126	7.782	2.129	7.657	3.717	15.256	3.650	15.106	5.661	22.549	5.481	22.332

conventional		proposed		conventional		proposed		conventional		proposed		conventional		proposed	
40% (64km)				50% (80km)				60% (96km)				70% (112km)			
R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
8.588	30.496	8.588	30.496	10.736	38.120	10.736	38.120	12.883	45.744	12.883	45.744	15.030	53.368	15.030	53.368
9.362	29.346	5.156	29.433	11.206	36.267	6.016	36.253	12.937	42.595	6.858	42.629	14.496	48.781	7.578	48.626
8.324	28.425	6.435	30.565	9.525	34.629	7.325	37.215	11.433	41.204	8.468	43.890	12.399	46.797	9.088	49.700
7.421	29.531	7.424	29.120	7.832	35.967	8.279	34.801	9.971	42.536	9.636	41.736	10.319	48.733	10.104	48.127

4. 결 론

종래 DFT 필터 기반 거리계전기법은 직류옵셋성분의 영향에 따라 오·부동작의 가능성이 높고 고장점 표정이 떨어진다.

이에 본 논문에서는 병행 2회선 송전선로에서 직류옵셋의 영향을 최소화하기 위하여 직류옵셋제거필터를 적용한 개선된 거리계전기법을 제시하였다. 제시된 기법의 효용성을 입증하기 위하여 154kV 병행 2회선 송전선로를 ATP를 이용하여 모델링하고 가장 고장발생 확률이 높은 1선 지락사고를 대상으로 하여 여러 가지 고장조건에 의해 시뮬레이션 데이터를 활용하였다. 시뮬레이션 결과 제시된 직류옵셋필터를 적용한 개선된 거리계전기법은 종래의 거리계전기법보다 오차율이 최소 -1.31%에서 최대 2.67%까지 개선된 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 (사)한국산업기술진흥협회 학연공동기업부설연구소 연계 후속 연구개발 지원사업의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

References

[1] D. N. Hong et al., "Field Guide Book of Substation Facilities", KEPCO, pp. 1~356, 1999. 12.
[2] S.H. Horowitz, A.G. Phadke, "Power System Relaying", John Wiley & Sons, Ltd, RSP, pp. 1~331, 2008.
[3] S.H. Kang, D.G. Lee, S.R. Nam, P.A. Crossley, Y.C. Kang, "Fourier Transform-Based Modified Phasor Estimation Method Immune to the Effect of the DC Offsets," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 24, No. 3, pp. 1104~1111, July 2009.
[4] T.S. Sidhu, X. Zhang, F. Albasri, and M.S. Sachdev, "Discrete Fourier transform-based technique for removal of decaying DC offset from phasor estimates," Proc. Inst. Elect. Eng., Gen.,Transm. Distrib., Vol. 150, No. 6, pp. 745~752, Nov. 2003.
[5] Y.S. Cho, C.K. Lee, G.S. Jang, H.J. Lee, "An Innovative Decaying DC Component Estimation Algorithm for Digital Relaying," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 24, No. 1, pp. 73~78, January 2009.
[6] D.G. Lee, S.H. Kang, "Distance Relaying Algorithm Using a DFT-based Modified Phasor Estimation Method", Trans. on KIEE, Vol. 59, No. 8, pp. 1360~1365, 2010. 8.
[7] G.H. Park, S.H. Kang, S.K. Kim, J.H. Shin, "A Fault Location Algorithm Using Adaptively Estimated Local Source Impedance for a Double-Circuit Transmission Line System," Trans. KIEE. Vol. 61, No. 3, pp. 373~379, MAR, 2012.
[8] C.W. Park, M.S. Kim, S.R. Kim, H.K. Min, W. H. Ban, "Study on Digital Distance Relaying Algorithm using ATPdraw", 2012 KIEE Summer Conference, pp. 1686~1687, 2012. 7.
[9] Seok-Jun Chang, "Analysis of the response of a distance relay considering the errors of line Impedance", 2012 KIEE Summer Conference, pp. 438~439, 2012. 7.
[10] J.S. Kang, J.J. Yang, "Effects on Distance Protection by Changing Parallel Transmission Line Operation Mode and Zero Sequence Current", 2014 KIEE, Power System Protection & Automation Research Group, Spring Conference, pp. 27~30, 2014. 4.
[11] KEPCO System Protection Team, "154kV T/L IED Panel with PCM Current Differential Scheme", GS(General Technical Specifications of KEPCO), pp. 1~26, 2013. 11.
[12] K.H. Park, G.W. Lee, C.W. Park, C.H. Kim, M.C. Shin, "A Study on the Digital Distance Relaying Algorithm based on Arithmetic Fourier Transform Filter", 1995 KIEE Summer Conference, pp. 471~475, 1995. 7.
[13] C.W. Park, H.W. Yoon, "A Study on Accurate Phasor Extraction Using a New Offset Elimination Filter", Journal of KIIEE, Vol. 27, No. 7, pp. 29~36, 2013. 7.
[14] C.W. Park, "Advanced DC Offset Removal Filter of High-order Configuration", Trans. on KIEE, Vol. 62P, No. 1, pp. 12~17, 2013. 3.
[15] C.W. Park, K.D. Yoon et al., "Development of Fault Locator for T/L using Synchophasor", Proposal for MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), pp. 1~37, 2015. 3.
[16] C.W. Park, W.H. Ban, T.P. An, "Real-time Test using IED based on DSP 6713 of Advanced DC-offset Elimination Filter", 2013 KIEE Summer Conference, pp. 584~585, 2013. 7.

◇ 저자소개 ◇

박철원(朴哲圓)
1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997~2007년 강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 2007년~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수. 2011년~현재 대한전기학회 전력기술부문회 이사. 2012~2014년 대한전기학회 논문지 P권 편집위원장. 현재 대한전기학회 평의원. 2010년 대한전기학회 학술상 수상. 2013년 전력계통보호제어연구회 R&D 대상 수상.