

154kV 지중송전케이블에서 Wavelet을 이용한 Fault Location에 관한 연구

論 文

49A-12-6

A Study on Fault Location Using Wavelet in 154kV Transmission Power Cable

李 俊 晟* · 文 聖 喆** · 李 鍾 範***

(Jun-Sung Lee · Sung-Chall Moon · Jong-Beom Lee)

Abstract - This paper describes a fault location technique using wavelets in underground transmission power cable system. Estimation of fault location is performed using data sampled at two ends of underground system. In the case of 50% fault of total underground transmission line, fault location is calculated using sampled single-end data in underground transmission line. Traveling wave is utilized in capturing the travel time of the transients along the monitored lines between the relay and the fault point. This traveling time information is provided by the wavelet. Simulation was performed using EMTP, ATP Draw and MATLAB. The results of fault location shown in this paper will be evaluated as an effective suggestion for fault location in real underground transmission line.

Key Words : Fault location, Traveling wave, Wavelet Transform, MATLAB, EMTP, ATP Draw

1. 서 론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 인구집중현상에 따른 대도시의 전력수요 밀도가 급격히 높아짐에 따라 도심지의 가공송전선로가 갖고 있는 한계성을 극복하기 위해 지중송전케이블의 건설은 해마다 증대되고 있다. 따라서 전국의 주요 대도시는 지중송전케이블이 포설되어 운전되고 있으며 이러한 현상은 계속 증대되리라 전망된다. 그러나 지중송전케이블이 지나는 잇점에 반하여, 가공선로에 비해 건설비가 고가이므로 초기투자비용이 막대한 점, 시공의 어려움 및 고장 발생시 고장지점의 발견이나 복구의 어려움 때문에 고장지속시간이 장기화되는 단점을 지니고 있다.

국내외에서 발표된 지중송전케이블에서 고장점 추정방법들은 Terminal method와 Tracer method를 이용하였는데, Terminal method는 케이블 단자에서 전기량 측정을 이용한 방법으로 Murray loop, Rader/Low와 고전압 펄스법 등을 사용하였고, Tracer method는 Magnetic Pickup, Sheath Pick등의 가청장비나 전자기 신호등을 이용하여 대략적으로 고장위치를 판별하는 방법으로 대부분 고전적인 방법을 이용하여 고장점 추정(Fault Location)에 관한 연구를 수행하였다 [1]-[3].

그러나 현재의 전력케이블에서의 고장점 추정은 지중송전케이블의 복잡화에 따른 선로충전용량 때문에 영상 임피던스

가 변화하고 커패시턴스가 계통 전압, 충전전하 및 다른 요소에 의해 변화되기 때문에 기존의 방법으로는 고장점 추정을 하기에는 매우 곤란하다[4]-[6]. 그러므로 기존의 방법보다 신속한 고장복구를 위한 새로운 접근형태의 연구가 필요한 실정에 있다. 따라서 현재 가장 활발한 연구가 진행중인 웨이브렛 변환[7][8]을 이용하여 고장점 추정에 관한 연구를 진행하고 있다. 그러나, 기존에 발표된 웨이브렛 변환을 이용한 고장점 추정에 관한 연구들은 가공송전선로에서 Wavelet변환을 이용하여 단순히 입력 전압과 전류의 기본파 성분을 추출하는 과정에 적용하여 고장점 추정을 하였다[8].

한편, 본 논문에서는 Wavelet변환을 이용하여 고장상황에 따라 고장전압과 전류의 진행과가 지중송전케이블 양단에 설치된 계전기의 위치에서 측정되는 시간과 고장점 도달에 대한 시간분석을 이용하여 Wavelet변환 과정에서 얻어진 최초 피크치의 scale성분과 time성분 중 time성분만을 직접 사용하여 고장점 추정을 하였다. 또한 선로의 중심부에서 발생한 고장에 대해서는 편단에서 얻은 정보로 고장점 추정을 하는 방법과 동기화된 샘플링 신호의 시간차에 의해 좀더 정확하게 선로중심부에서 발생한 고장에 관해서도 문제점을 해결하였다. 또한 기존의 문제점이었던 현장의 고장형태를 EMTP 및 ATP Draw로 상세히 시뮬레이션 하였다[9][10].

2. 웨이브렛 이론

현재의 신호분석 방법 중 가장 일반적으로 사용되는 푸리에 변환은 주파수 영역으로 변환시 시간정보를 소실하므로 특정한 고장의 발생시점을 알 수가 없다. 이것은 주기성신호에서는 문제되지 않으나 대부분의 전력계통 신호는 비주기적인 과도특성을 가지므로 문제시된다. 또한 비주기성 신호를 분석하는데 있어서 푸리에 변환이 가지고 있는 단점을

* 準 會 員 : 圓 光 大 工 業 技 術 開 發 研 究 所 研 究 員

** 準 會 員 : (주)태광E&C 技 術 1 部 社 員

*** 正 會 員 : 圓 光 大 工 大 電 氣 · 電 子 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2000 年 11 月 4 日

最 終 完 了 : 2000 年 12 月 7 日

극복하기 위해 STFT(Shot Time Fourier Transform)가 제시되었으나 STFT는 신호를 일정한 해석 윈도우의 크기만큼 주기적으로 가정하는 고정 윈도우를 사용하기 때문에 빠른 과도파형과 정현파형이 동시에 존재하는 신호에 대해서는 적합한 분석방법이 되지 못한다.

반면 최근에 수학적으로 소개되어진 웨이브렛 변환은 웨이브렛 원형함수를 정의하고 이 원형함수를 시간에 의한 크기 변형 및 지연을 통하여 분석영역이 가변 되는 윈도우를 사용함으로써 푸리에 변환의 단점을 해결하였다. 또한 고주파수에서는 짧은 윈도우와 저주파수에서는 긴 윈도우를 사용함으로써 기본파, 저차 고조파 및 과도파형을 모두 갖는 신호의 분석에 적합하게 이용되고 있다. 이러한 웨이브렛 변환의 신호 분석방법을 그림 1에 나타내었다.

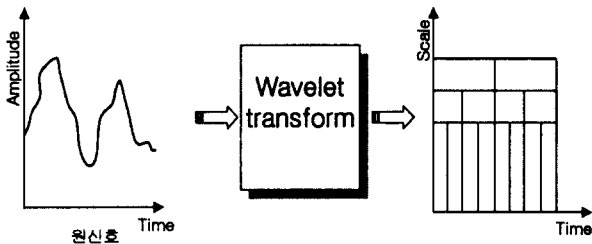


그림 1 웨이브렛 변환의 신호분석

Fig. 1 Wavelet transform analysis

2.1 웨이브렛 변환

자연계의 신호를 분석하는데 있어서 웨이브렛 변환의 표현은 다음과 같다. 임의로 주어진 신호 $x(t)$ 라는 함수를 연속 웨이브렛 변환하면 이것은 식 (1)에 따를 수 있다.

$$WT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)g\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \quad (1)$$

여기서, a 와 b 는 scaling(dilation)과 translation(time shift)에 대한 각각의 상수이고 g 는 방정식 안에서 간소하게 하기 위해 실제로 가정된 웨이브렛 함수이다. 이러한 웨이브렛 함수(mother wavelet)의 선정은 유연하게 허용조건을 만족시키는 것으로 설정되어진다. 그러나 연속 웨이브렛 변환은 분석할 웨이브렛의 갯수가 무한히 많아진다는 단점이 있으므로 scaling 요소와 shift 요소를 이산화시켜서 문제를 해결한다.

이산 웨이브렛은 기본적인 필터링과정을 보여준다. 즉 원 신호 $x(t)$ 를 고차필터와 저차필터로 분해하는 과정이다. 이렇게 샘플 되어진 웨이브렛 변환은 아래 주어진 식 (2)에 의해서 이산 웨이브렛 변환으로 바꿀 수 있다.

$$DWT(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n)g\left(\frac{k - na_0^m}{a_0^m}\right) \quad (2)$$

여기서는 연속 웨이브렛 변환에 관한 식 (1)에서 보이고 있는 a 와 b 를 $a = a_0^m$ 과 $b = na_0^m$ 으로 n 과 m 에 의하여 대체하여 이산 웨이브렛 변환한다. 실제 계산에 사용되어진 값들은 다음과 같다. $a_0=2$, $b_0=1$ 이고 $a_0^0=1$, $a_0^{-1} = \frac{1}{2}$

이며, $b = n \times 2^{-i}$ 이고, i 는 정수형태이다. 이러한 분석방법은 여러개의 고차필터($D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$)와 여러개의 저차필터($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$)로 구성된 필터뱅크로서 웨이브렛 변환을 반복한다. 그림 2는 이러한 다분해 과정의 예로, 원신호 S 를 고차필터와 저차필터로 다분해하는 과정을 레벨별로 보이고 있다. 또한 원신호 $x(t)$ 를 S 라고 하다면 다음 식 (3)과 같이 재구성할 수 있으며, 그림 2와 같이 표현된다.

$$S = cD_1 + cD_2 + cD_3 + \dots + cD_n + cA_n \quad (3)$$

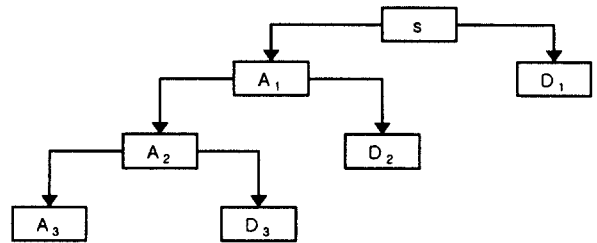


그림 2 원신호에 대한 재구성(고차필터와 저차필터)

Fig. 2 Reconstructed signal composition(high pass filter and low pass filter)

3. Wavelet을 이용한 고장점 추정 방법

본 논문에서 사용한 고장점 추정방법은 진행파 이론에 기반을 두고 한쪽단 정보를 이용하는 방법과 양쪽단 정보를 이용하는 방법을 혼합하여 사용하였으며, 웨이브렛 변환으로 신호를 분석하여 고장점으로부터 검출점까지의 시간을 계산함으로써 실제통에서 보다 정확한 고장점 추정을 할 수 있도록 하였다.

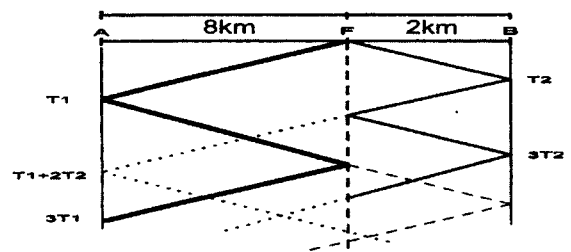


그림 3 모선 A로부터 8km 지점에서 1선지락 고장시

진행파의 Lattice diagram

Fig. 3 Lattice diagram for traveling wave the single line-to-ground faultt at 8km from bus A

그림 3은 고장직후의 과도진행파의 진행을 보인 것이다. 이러한 현상을 이용하여 최초 고장이 발생할 때 일어나는 고장파형을 검출하여 고장점으로부터 검출점까지의 시간을 계산하면 실제 고장점까지의 거리를 추정할 수 있다. 또한 실제 계전기에서 검출되는 과도진행파를 이용함으로써 고장점 추정을 간소화 할 수 있다.

그림 4에서 모선 A와 B사이에 연결된 송전선로의 길이를 L , 여기서의 특성 임피던스를 Z_L , 진행파의 속도를 C 라고

할 때 지락고장이 모선 A로부터 x 점에서 발생하였다고 한다면, 과도 파형의 전파가 고장점과 양단에 위치한 계전기의 검출점 사이에서 최초 고장점의 정상상태에 도달할 때까지 계속 되어 진다. 고장발생시에 양단으로 진행하며 나타나는 과도진행파 신호는 선로양단에서 같은 시간에 동시에 측정 및 기록될 수 있도록 한다. 이렇게 기록되어지는 전압과 전류성분의 진행파는 웨이브렛 변환을 이용하여 분석되고 변화되어 진다.

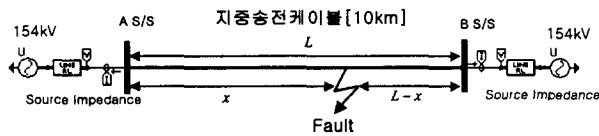


그림 4 고장점 추정을 위한 모델계통
Fig. 4 Model system for Fault location

각각의 모선 A와 B에서 기록되어진 고장점에서 발생하는 과도진행파 정보를 웨이브렛 변환으로 분석하여 얻어진 과도진행파의 최초 피크치 시간을 각각 T_A 와 T_B 라고 하면 선로의 양단에서 고장점 추정을 위한 지연시간을 결정할 수 있으며, 모선 A로부터 고장점사이의 거리 x 는 아래의 식 (4)와 같이된다.

$$x = \frac{L - C \cdot (T_B - T_A)}{2} \quad (4)$$

여기서, L 은 선로길이, x 는 모선 A로부터 고장점까지의 거리, C 는 진행파의 속도를 나타낸다.

그러나 선로의 중심부에서 지락고장이 일어나는 경우에 대해서는 선로의 양단에서 고장점 위치검출을 위한 지연시간인 $T_B - T_A$ 가 0에 가깝게 되어 위치검출이 불가능하게 되는 경우가 발생한다. 따라서 식 (4)를 사용하여 고장점 추정을 할 수 없는 경우인 모선 A에서부터 선로길이가 45%~65%에 이르는 선로의 중심부 $T_B - T_A$ 가 0.1~0까지이므로 이러한 경우에는 모선 A와 B중 어느 한쪽 모선에서 측정된 정보만

을 가지고 아래의 식을 이용하여 고장점의 위치를 결정한다.

$$x = \frac{C \cdot t}{2} \quad (5)$$

여기서, C : 진행파의 속도

t : 위치검출을 위한 지연시간

편단정보를사용할 경우의 t 는 식 (6)과 같이된다

$$t = 2\tau - t_x \quad (6)$$

여기서, τ : 선로전체에 대한 진행파의 이동시간

t_x 는 편단에서 측정된 정보를 웨이브렛 변환하여 얻은 첫 번째 피크치와 두 번째 피크치 사이의 시간 간격이다. 이러한 고장점 추정방법은 고장점으로부터 발생하는 진행파가 계전기에서 측정되는 첫 번째 도착한 피크치를 사용하여 시간을 계산하므로 고장이 지속될 때 나타나는 간헐적인 피크치에 대한 오차를 현저히 줄일 수 있다. 또한, 모의 결과를 해석하고 오차를 판정하기 위하여 식 (7)을 사용하여 오차를 산출하였다.

$$\text{오차}(\%) = \frac{|\text{실제거리} - \text{계산거리}|}{\text{총선로의길이}} \times 100 \quad (7)$$

본 논문에서 사용한 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다.

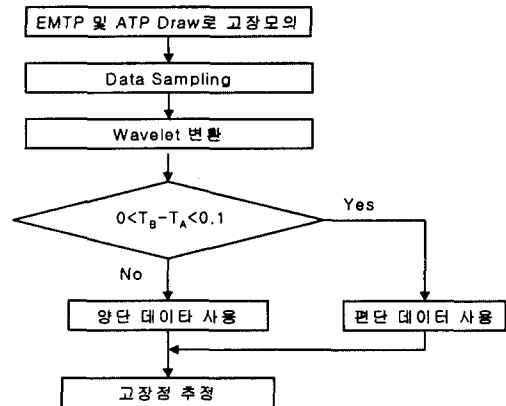


그림 5 고장점 추정을 위한 알고리즘의 흐름도
Fig. 5 Flow char of algorithm for fault location

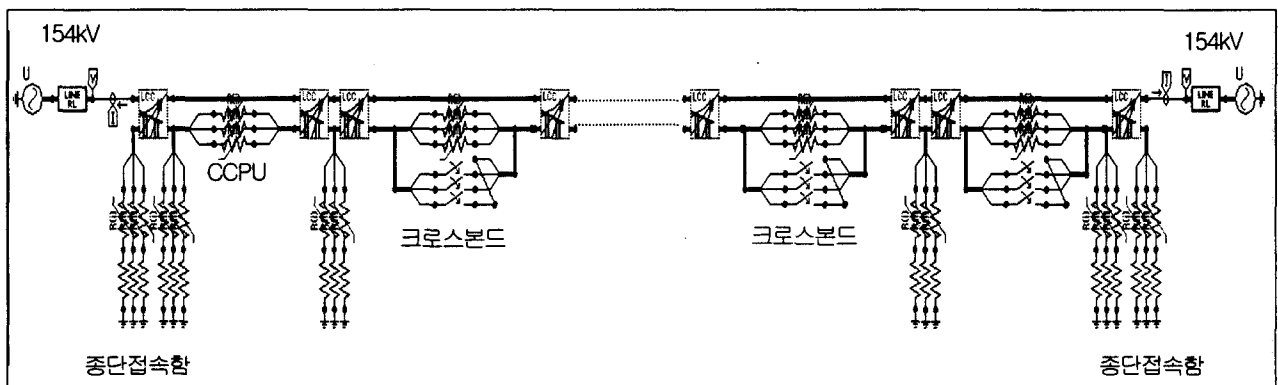


그림 6 A S/S에서 B S/S까지 케이블 모델계통
Fig. 6 Cable model system form A S/S to B S/S

4. 모델계통

본 논문에서 사용된 모델계통은 154kV 양단전원 계통의 실계통으로서 케이블 포설형태는 전력구방식으로 되어있다. 시뮬레이션에서 사용된 케이블은 단면적 2000mm² 154kV XLPE케이블이다.

그림 6은 양단전원을 갖는 계통으로서 방식층 보호장치는 전원(source)측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치되어 있으며 대지간 접지방식을 이용하여 접지되었다, 또한 방식층 보호를 위해 교락 비접지방식으로 다시 방식층 보호장치가 설치되었다. 선로의 길이는 10km이며, 포설 형태는 선로를 세구간으로 나누어 두 개의 구간은 크로스본딩 하였고, 세 번째 구간은 직접접지한 형태로서 구간별 선로길이 및 접지상태는 표 1에 나타내었다. 또한 모델계통은 EMTP 및 ATPDraw로 상세히 시뮬레이션 하였다. 그리고 전원(source)측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치된 방식층 보호장치 상황하에서 다양한 고장형태를 모의하였으며 보통접속함의 접지저항을 5Ω, 고장저항을 0Ω, 10Ω 및 100Ω으로 다양하게 해석하였다.

표 1 선로길이 및 접지상태

Table 1 Line length and grounding state

구 간	D S/S	1구간	2구간	3구간	4구간
선로길이[m]	500	500	500	500	500
접 지 상태	○	○	△	△	○
구 간	5구간	6구간	7구간	8구간	9구간
선로길이[m]	500	500	500	500	500
접 지 상태	△	△	○	△	△
구 간	10구간	11구간	12구간	13구간	14구간
선로길이[m]	500	500	500	500	500
접 지 상태	○	△	△	○	△
구 간	15구간	16구간	17구간	18구간	T S/S
선로길이[m]	500	500	500	500	500
접 지 상태	△	○	△	○	○

[직접접지:○ 크로스본드 접지: △]

5. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 사용한 모델계통은 서로 같은 양단전원을 가진 동일한 계통으로 모델링의 주파수는 7,680Hz를 사용하였으며, 전파속도는 1.75031×10⁵km/sec 이고, 고장의 유형은 0° 고장을 기본으로 하였다. 또한 선로의 길이 10km에 따라 20%, 50% 및 80% 지점에서의 고장을 모의하였다. 이때 고장 저항은 시불변으로 각각 0Ω, 10Ω 및 100Ω을 사용하였다. 그리고 판단 정보를 사용할 때 필요한 선로전체에 대한 진행파의 이동시간이 모의 선로의 길이에 따라 다르므로 전체 선로구간이 10km인 본 모델계통에서는 5.71327×10⁻⁵ sec 이다.

그림 7은 모델계통으로부터 동시에 기록된 신호인 과도전압성분을 128샘플링한 데이터를 이용하여 고장점 추정을 위해 MATLAB을 사용하여 웨이브렛 변환과정을 보여주고 있으며, 이러한 변환과정을 통해 고장점까지의 지연시간을 계산하여 수행하였다.

그림 8과 그림 9는 선로길이 10km인 경우 20% 지점에서 1선 지락고장이 발생하였을 때 양단에서 측정된 전압성분을 웨이브렛 변환한 그래프를 보이고 있다. 또한 위에서 제시한 고장점 추정방법을 사용하여 고장점 추정을 하기 위해서 그림 8과 그림 9에서 나타난 첫 피크치의 시간값인 190.01ms와 189.98ms를 각각 식 (4)에 대입하면 다음과 같이 계산된다.

$$x = \frac{10 - [1.75031 \times 10^5 \times (190.01 - 189.98) \times 10^{-3}]}{2} \quad (8)$$

$$= 2.3745\text{km}$$

또한 식 (7)을 이용하여 오차[%]를 계산하면 다음과 같다.

$$e = \frac{|2 - 2.3745|}{10} \times 100 = 3.745[\%] \quad (9)$$

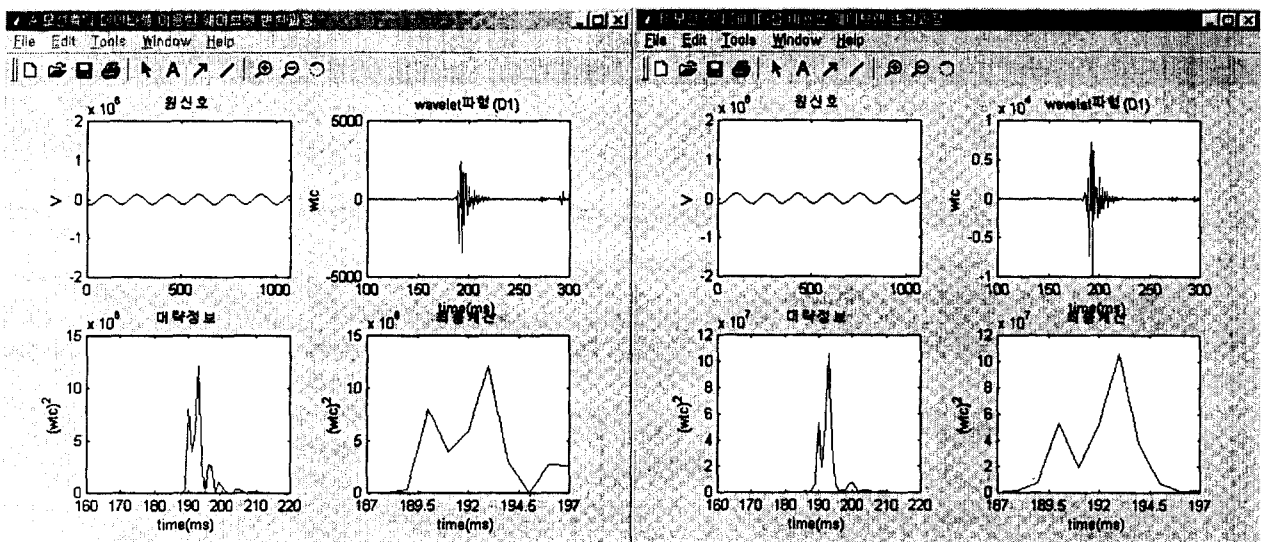


그림 7 원신호에서 웨이브렛 변환과정(1선지락, A상)

Fig. 7 Wavelet transform on the original signal(SLG, A-Phase)

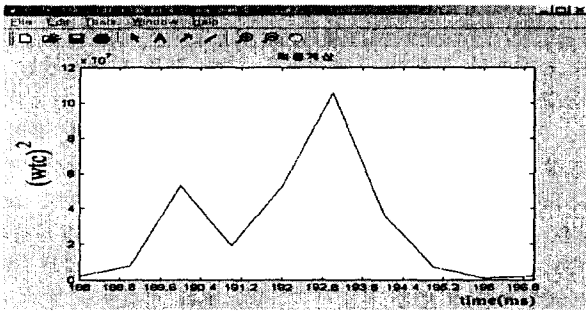


그림 8 20%지점에서 B모선 측의 정보를 이용한 웨이블릿 계수 그래프(1선 지락고장)

Fig. 8 Wavelet coefficient graph using bus B data at 20% point (SLG)

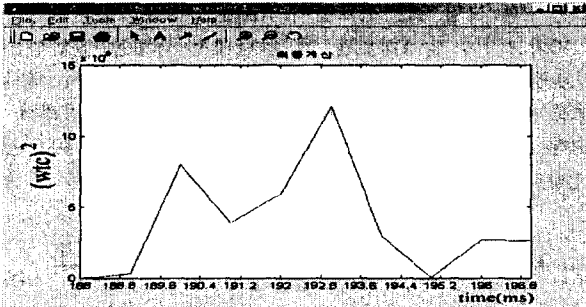


그림 9 20%지점 A모선 측의 정보를 이용한 웨이블릿 계수 그래프(1선 지락고장)

Fig. 9 Wavelet coefficient graph using bus A data at 20% point(SLG)

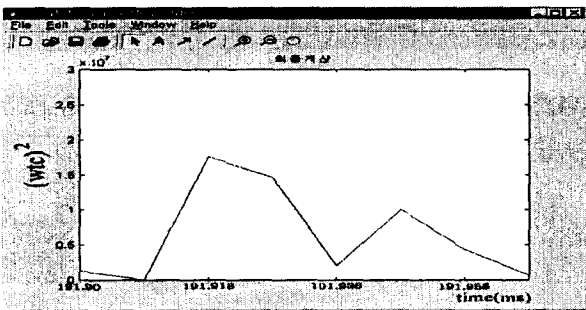


그림 10 50%지점에서 A모선 측의 정보를 이용한 웨이블릿 계수 그래프(1선 지락고장)

Fig. 10 Wavelet coefficient graph using bus A data at 50% point(SLG)

위와 같이 선로의 양단에서 동시에 샘플링 된 과도전압과 전류파형을 이용하여 오차가 작고 정확한 고장점을 추정할 수 있다. 그러나 선로의 중심부에서 발생하는 고장일 경우에는 고장점을 추정할 수 있는 시간지연부분이 거의 0에 가까워 본 논문에서 제시한 식 (5)를 이용하여 계산하였다. 또한 모의한 선로의 길이가 10km이므로 이때의 선로전체에 대한 진행파의 통과시간은 5.71327×10^{-5} sec이다. 그림 10은 편단

에서 측정된 과도전압 및 전류파형을 128샘플링하여 웨이블릿 변환한 그래프이며 각각의 첫 번째 피크치와 두 번째 피크치의 값은 191.9201msec, 191.9492msec로 고장점 추정결과는 다음과 같다.

$$x = \frac{1.75031 \times 10^5 \times [2 \times 5.71327 \times 10^{-5} - ((191.9201 - 191.9492) \times 10^{-3})]}{2} = 5.6257 \text{ km}$$

또한, 식 (7)을 이용하여 오차를 계산하면 다음과 같다.

$$e = \frac{|5 - 5.6257|}{5} \times 100 = 6.257 [\%] \quad (10)$$

표 2 고장저항 및 고장범위 변화에 따른 고장점 추정 결과(1선 지락고장)

Table 2 Estimation result according to fault resistance and fault location(SLG)

고장범위	0Ω		10Ω		100Ω	
	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)
20%(2km)	2.3745	3.745	2.5122	5.122	2.7748	7.748
50%(5km)	5.6505	6.505	5.7065	7.065	5.6257	6.257
80%(8km)	7.1529	8.47	7.3629	6.37	6.9253	10.75

표 3 고장저항 및 고장범위 변화에 따른 고장점 추정 결과(2선 지락고장)

Table 3 Estimation result according to fault resistance and fault location(DLG)

고장범위	0Ω		10Ω		100Ω	
	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)
20%(2km)	3.0747	10.747	2.6371	6.371	2.6996	6.996
50%(5km)	5.9314	9.314	5.7625	7.625	5.8106	8.106
80%(8km)	7.71298	2.87	7.0479	9.52	7.2579	7.42

표 4 고장저항 및 고장범위 변화에 따른 고장점 추정 결과(3상 지락고장)

Table 4 Estimation result according to fault resistance and fault location(3-Phase ground fault)

고장범위	0Ω		10Ω		100Ω	
	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)	계산거리 (km)	오차 (%)
20%(2km)	3.1622	11.622	3.0309	10.309	2.9171	9.171
50%(5km)	5.7442	7.442	5.91157	9.116	5.4813	4.813
80%(8km)	7.004	9.96	7.888	1.12	7.424	5.76

표 2에서 표 4까지는 선로길이와 고장저항의 변화에 따른 고장점 추정 결과를 고장저항에 따라 계산하여 나타낸 것이다. 표 2는 1선 지락고장시 각각의 고장지점을 20%, 50% 및 80%에 대하여 모의한 결과로 20%와 80%에서는 기존의 논문[3-4]의 오차범위인 10%이상의 오차보다 오차범위를 5% 이내로 줄일 수 있었다. 표 3과 표 4 또한 2선 지락고장 및 3상 지락고장에서의 고장점 추정 결과 및 오차를 나타낸 것이며 3상 지락고장시 80%지점에서 고장저항 10 Ω 의 경우 고장점 오차가 가장 작은 1.12%내에서 고장점을 추정하였다.

6. 결론

본 논문에서는 전력케이블에서의 고장점 추정을 위해 고장점 방법들을 이용하여 기존의 방법과 달리 웨이브렛 변환을 이용하여 고장점 추정을 하였다. 이를 통해 얻어진 중요한 결과들을 보면 다음과 같다.

(1) 전력케이블에서 고장시의 전압과 전류의 과도진행파를 직접 사용함으로써 고장점 추정방법을 간소화하였다.

(2) EMTP 및 ATP Draw를 이용하여 실제 전력케이블 계통을 상세히 모델링한 후 고장을 모의함으로써 고장점 추정 방법의 신뢰도를 향상시켜 실제계통에서 신속한 고장복구를 위해 유용하게 사용될 수 있도록 하였다.

(3) 선로의 중심부에서 발생한 고장에 대해서는 고장점 추정의 오차가 컸으나 이 경우에는는 판단의 정보를 이용함으로써 해결하여 고장점 추정의 신뢰성을 향상시켰다.

참 고 문 헌

[1] E. C. Bascom. et al, "Computerized Underground Cable Fault Location Expertise", IEEE 1994.

[2] C. M. Wiggins, et al, "A Novel Concept for URD Cable Fault Location", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 1, Jan. 1994.
 [3] W. A. Elmore, "Zero Sequence Mutual Effects on Ground Distance Relays and Fault Location", Nineteenth Annual Western Protective Relaying Conference, Oct. 1992.
 [4] D. Novosel, D. G. Hart, E. Udren, and A. Phadke, "Accurate Fault Location Using Digital Relays", ICPS Conference, China, Oct. 1994.
 [5] M. Kezunovic and B. Perunicic "Automated Transmission Line Fault Analysis Using Synchronised Sampling at Two Ends", IEEE Transactions on Power System. Vol 11. No 1. Feb. 1996.
 [6] Fernando H. Magnago and Ali Abur, "Fault Location Using Wavelet", IEEE PE-303-PWRD-0-12-1997.
 [7] Michel Misit and et al., "Wavelet toolbox for use with Matlab", The Mathworks Inc. 1996.
 [8] L. L. Lai and et al., "Fault Location of a Teed-network with Wavelet Transmission and Neural Networks", International conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies 2000, pp. 505~509, April 2000.
 [9] 케이블시스템에 있어서의 서지현상조사전문위원회, "케이블시스템에 있어서의 서지현상과 대책", 日本電氣學會, 제366호, Ⅱ부, 1991. 4.
 [10] 東京電力株式會社, "地中送電線路ケーブル設計基準(案)"

저 자 소 개



이준성 (李俊晟)
 1973년 11월 2일생. 1998년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 원광대학교 공업기술개발연구소 연구원
 Tel : 063-850-6735, Fax : 063-850-6735
 E-mail : powerman4u@hanmail.net



이종범 (李鍾範)
 1955년 7월 12일생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원교수. 현재 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수
 Tel : 063-850-6735
 E-mail : ipower@wonms.wonkwang.ac.kr



문성철 (文聖喆)
 1972년 1월 29일생. 1998년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 태평E&C 기술1부 근무
 Tel : 031-467-7943, Fax : 031-444-3744
 E-mail : schmoon@tge.co.kr