

## 웨이브렛 변환을 이용한 혼합송전계통에서의 Fault Location

정 채 균\*, 홍 동 석, 이 증 범  
원광대학교

### Fault Location in Combined Transmission Systems Using Wavelet Transform

Chae-Kyun Jung\*, Dong-Suk Hong, Jong-Beom Lee  
Wonkwang University

**Abstract** - The combined transmission lines with the underground power cables are continuously expanded in power systems. So the fault of combined transmission line is increased every year as the complication of underground transmission line.

In this paper, traveling wave theory and DWT wavelet transform are used for fast and accurate detection of fault location at the combined transmission line. Traveling wave travels to each bus like surge and repeats reflection and transmission till transient signal is completely disappeared. When fault is occurred on overhead and underground line, the fault location detecting algorithm was performed with using continuous peak value time-delay of traveling wave reflected from A bus.

#### 1. 서 론

최근 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 인구집중현상에 따른 대도시의 전력수요 밀도가 급격히 높아지고 여러 가지 환경적 요인에 따라 지중송전선로의 건설이 확대되고 있다. 이에 따라 변전소 구간의 송전선로가 가공 및 지중으로 혼합되어 건설되는 경우가 증가하고 있다. 지중송전선로와 결합된 혼합송전선로는 가공송전선로에 비해 유지보수가 곤란하며 고장 발생시 고장점 탐지나 복구가 어려워 고장지속시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 또한 혼합송전선로에서의 고장점 추정 은 지중송전계통의 복잡화와 선로의 충전용량으로 인해 영상임피던스가 변화하여 기존의 고장점까지의 선로 임피던스 측정에 의한 고장점추정 방법의 많은 오차요인으로 작용하고 있다.[1]

본 논문에서는 오차 요인을 보정하면서 신속하고 정확한 고장점을 찾기 위한 방법으로 진행파이론을 이용하였다. 고장점 추정을 위해 진행파를 이용하는 방법은 Dommel과 Michels에 의해 처음 제안되었으나 신뢰성과 유지보수 등의 기술력 부족과 확신의 결여 등의 문제점이 야기되 사라지는 듯 했다.[2] 그러나 최근 Data Acquisition과 통신시스템의 발달로 인해 진행파이론을 이용한 고장점추정 방식은 새롭게 부각되고 있다. 전력계통의 고장은 과도신호에 의한 진행파를 발생시키고, 이 진행파는 선로를 따라 진행하여 선로전체에 과도현상을 유발시킨다. 이 때 발생한 파형은 수 kHz에서 수 MHz까지에 이르기까지 급격한 파두와 경사간 둔한 파미를 갖는 복합주파수이며, 선로의 전파정수와 특성임피던스에 좌우되는 진행파는 모선과 고장점에서 계통이 정적인 상태에 이를 때까지 반사와 투과를 반복하게 된다.

본 논문에서는 혼합송전선로에서의 1선지락고장과 선간단락 고장시 고장점 추정을 위해 전압신호를 이용한 진행파 해석을 수행하였다. 진행파 분석을 위해 각 상의 과도신호를 Clarke 변환 고유벡터 행렬에 의해 각각 독립 모드정수로 변환하였고, Wavelet의 DWT변환을 이용한 Mode Signal 분석을 통해 Scale1과 2에서 High Frequency 성분을 추출하여 혼합송전선로의 고장구간판별 및 고장유형 판별과 새로운 고장거리계산 알고리즘을 제시하였다.

#### 2. 진행파 및 웨이브렛 변환

##### 2.1 진행파 이론

3상 송전선로에서 발생한 진행파의 진행은 특성임피던스 ( $Z_0$ )와 전파속도( $v$ )에 의해 좌우된다. 길이가  $x$ 인 송전선로에서 과도신호의 진행파전압( $V$ )과 전류( $I$ )의 전파방정식은 식 (1)과 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta V / \delta x = -L \cdot \delta I / \delta t \quad (1)$$

$$\delta I / \delta x = -C \cdot \delta V / \delta t \quad (2)$$

여기서  $C$ 와  $L$ 은 송전선로의 전기적 특성을 나타내는 단위 길이 당 캐패시턴스와 인덕턴스로 케이블에서의 캐패시턴스는 가공선로에 비해 약 10배에 달하는데, 구조에 따라 약간의 차이는 있지만 일반적으로 20( $^{\circ}C$ )에서 0.3~0.7( $\mu F/km$ )의 값을 가지며, 인덕턴스는 0.2~0.4( $mH/km$ )의 값을 가진다. 이와 같은 선로정수는 선로의 특성임피던스와 전파속도에 영향을 미쳐 가공선로와 지중선로는 서로 다른 특성임피던스와 전파속도를 가지게 되어 접속이 이루어지는 종단접속점은 변이점으로 작용하게 된다.

위의 식(1)과 (2)의 무손실 송전선로에서의 전압과 전류의 일반해는 식(3)과 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(x, t) = k_1(t-x/v) + k_2(t+x/v) \quad (3)$$

$$I(x, t) = \frac{1}{Z_0} \cdot k_1(t-x/v) - \frac{1}{Z_0} \cdot k_2(t+x/v) \quad (4)$$

여기서 함수  $k_1$ 과  $k_2$ 는 서로 반대방향으로 진행하는 두가지 Wave를 나타내고 있다.  $k_1$ 은 Positive  $x$ 방향으로 진행하는 Wave이고  $k_2$ 는 Negative  $x$ 방향으로 진행하는 Wave이다. 전파속도( $v$ )는  $1/\sqrt{LC}$ 이고, 특성임피던스( $Z_0$ )는  $\sqrt{L/C}$ 이다. 특성임피던스는 진행파에 의해 보여지는 임피던스이며, 또한 진행파는 전파속도에서 선로를 따라 진행된다.[3]

혼합송전선로에서 고장이 발생하면 고장점에서 발생한 과도신호는 양방향 선로를 따라 Surge처럼 진행하게 된다. 그리고 양모선과 가공선로와 지중선로가 접속되어지는 접속점에서 반사와 투과가 이루어지며 이는 다시 고장점에서 반사된다. 이처럼 양모선사이의 진행파는 과도신호가 완전히 소멸할 때까지 투과와 반사를 계속하게 된다. 진행파를 이용한 고장점추정 방법으로 GPS를 이용한 양단 모선 Data Link를 통해 양단에서 측정된 진행파 도달시간의 Time-Delay를 측정하는 방법이 있다. 하지만 이는 경제성과 현실성을 고려할 때 현장 적용 가능성이 희박하다고 사료된다. 따라서 본 논문에서는 한쪽 모선에 설치한 Fault Locator의 편단정보만을 이용해 고장점까지의 거리 계산을 수행하였다. 편단정보를 이용하는 방법은 고장점에서 발생한 과도신호가 투과와 반사를 반복하면서 진행하여 모선에서 첫 번째 반사되는 시간과 두 번째 반사되는 Time-Delay를 측정함으로써 정확하고 신속하게 고장점을 추정하게 된다. 선로를 따라 진행하는 진행파의 투과와 반사는 그림 2와 그림 3의 Bewley's Lattice Diagram을 통해 나타낼 수 있다. 또한 3상 송전선로에서 고장시 발생하는 과도신호의 진행파들은 상간에 서로 상호결합하여 진행하게 되므로 Single 진행파속도는 측정이 불가능하다. 그러므로 다상선로에서 발생하는 과도신호의 진행파 관측을 용이하게 하기 위해 Phase Domain Signal을 적절한 변환행렬에 의해 독립 Mode Signal로 변환해야 한다.

따라서 본 논문에서는 식 (5)에 나타난 Clarke 변환행렬을 이용해 3상 과도 Signal로부터 Mode Signal 성분을 추출하였다.

$$\begin{pmatrix} V_{mode(A)} \\ V_{mode(B)} \\ V_{mode(C)} \end{pmatrix} = [T] \cdot \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서,

$V_{mode(A),(B),(C)}$  : Voltage Mode Signal Vector

$V_{a,b,c}$  : Voltage Phase Signal Vector

T : Clarke's Transformation Matrix

선로모선에서 기록된 과도신호를 Mode Signal로 변환하여 웨이브렛의 DWT 변환을 이용하였다. 그리고 DWT 변환에서 진행파가 포함되어 있는 신호의 High Frequency성분을 추출하여 모선에서 반사되는 시간지연을 해석함으로써 고장점까지의 거리를 계산하였다.

### 2.2 웨이브렛 변환

전력계통에서 발생하는 대부분의 고장의 진행파와 연관된 파형은 일반적으로 기본파와 그의 고조파가 결합된 성분을 포함하는 비주기적인 과도특성을 가지므로 주파수 영역으로 변환할 때 시간영역의 정보가 소실되는 푸리에 변환은 고장점출 및 고장점추정에 적합하지 못하다. 이를 보완하기 위해 제안된 STFT(Short-Time Fourier Transform)는 신호를 시간과 주파수영역으로 분석함으로써 푸리에 변환의 단점을 개선 하였다. 그러나 일정한 크기의 윈도우를 사용하기 때문에 제한된 범위에서의 신호분석만 가능하여 시간영역에서 윈도우 크기가 설정되면 모든 주파수 영역에서 윈도우 크기가 고정된다는 단점을 가지고 있다. 따라서 STFT를 이용한 방법도 비주기적이고 비정적인 전력계통의 과도특성을 분석하는데는 적절하지 못하다.[5][6]

그러나 웨이브렛 변환은 스케일이 주파수에 따라 변화한다. 즉, 시간-스케일 영역을 사용함으로써 가변윈도우의 특성을 나타내므로 Low Scale에서는 High Frequency 성분을 나타내고, High Scale에서는 Low Frequency 성분을 나타내게 된다. 이처럼 웨이브렛 변환은 웨이브렛 모함수를 정의하고 이 모함수를 시간에 따른 크기 변형(Scaling)과 시간에 따른 이동(Translation)을 통해 분석영역이 가변되는 윈도우를 사용함으로써 푸리에 변환과 STFT변환의 단점을 해결하였다.[7]

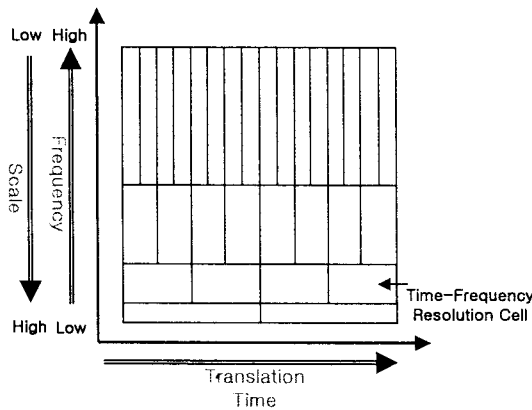


그림 1. 웨이브렛 변환의 Time-Scale의 관계

그림1은 웨이브렛 변환의 시간-스케일의 관계와 스케일과 주파수의 관계를 도표로 나타내었다.

$$C(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (6)$$

$$D(m, n, t) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \cdot \Psi\left(\frac{t-na_0^m}{a_0^m}\right) \quad (7)$$

연속웨이브렛 변환(CWT)은 식 (6)의 웨이브렛함수( $\Psi$ )의 Scale(a)과 Translation(b)에 의해 곱해진 Signal의 모든시간에 걸친 합으로 정의된다. 하지만 연속웨이브렛 변환은 모든 스케일에서 웨이브렛 분석을 수행하게 되어 무한히 많은 데이터가 산출되므로 분석시간이 길어진다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 식 (7)의 이산시간 웨이브렛함수( $\Psi$ )를 이용하여 Scale( $a_0^m$ )과 Translation( $na_0^m$ ) 요소를 이산화시켜 효율적으로 웨이브렛 분석을 수행할 수 있는 이산웨이브렛 변환(DWT)을 사용하였다. 이산 웨이브렛함수와 Signal S(t)에 대한 이산웨이브렛 변환식은 식 (8)과 같다.

$$DWT(s, m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n S(t) \cdot \Psi\left(\frac{t-na_0^m}{a_0^m}\right) \quad (8)$$

3상과도신호의 Mode Signal분석을 위해 일반적인 전력계통 고장분석에 주로 쓰이는 db4 마더웨이브렛을 사용하였다. 저역(low-pass)과 고역(high-pass) 분해 및 합성필터를 얻기 위해 Matlab의 orthfilt 함수를 이용하였으며 각각 Scale 1과 Scale2의 High Frequency 성분을 이용하여 고장구간 및 고장유형 판별과 고장점까지의 거리 계산을 수행하였다.

### 3. Fault Location 알고리즘

그림 2와 그림 3은 전체 선로길이가 L인 혼합송전선로에서 각각 가공선로와 지중선로에서 고장발생시 고장점에서 발생한 진행파 신호가 양모선으로 진행하여 양모선과 가공선로와 지중선로의 접속점에서 반사와 투과가 되고 반사된 신호는 다시 고장점에서 반사되는 진행파의 특성을 나타낸 Bewley's Lattice Diagram이다. 진행파의 흐름을 표현한 격자 다이어그램에서 볼 수 있듯이 가공송전선로에서 고장발생시 A 모선에서 반사되는 진행파는 고장점에서 반사되는 것으로 이들의 Time Delay 분석을 통해 고장점까지의 거리를 계산할 수 있다. 또한 지중송전선로에서 고장발생시 A 모선에서 반사되는 진행파는 접속점에서 투과되고 반사되는 신호의 Time Delay 분석을 통해 고장거리를 계산할 수 있다.

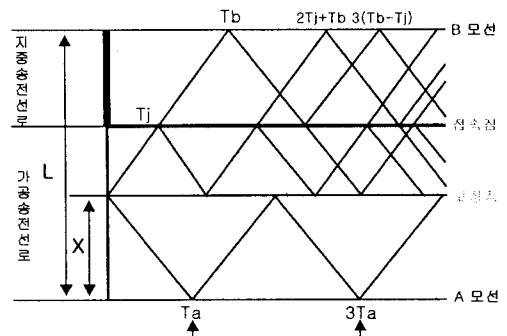


그림 2. 가공송전선로 고장시 Lattice Diagram

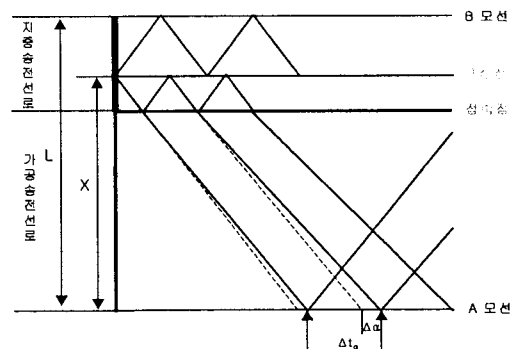


그림 3. 오차보상을 고려한 지중송전선로 Lattice Diagram

그림 3은 오차보상분을 고려한 지중송전선로의 Lattice 다이어그램이다. 지중송전선로에서 고장발생시 진행파는 접속점에서 가공선로로 투과되어 A 모션에서 반사되는 시간지연을 측정하게 되므로 진행파는 서로 다른 특성임피던스와 진폭정수의 특성을 가진 선로를 따라 진행하게 된다. 고로 진행파가 변이되어 모션에서 반사되는 시간차이에 비례하는  $\Delta\alpha$ 만큼의 지연시간에 의해 오차를 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 지중송전선로에 고장발생시 식 (11)에서처럼 오차보상분( $\Delta\alpha$ )을 고려한 고장거리 계산식을 제안하였으며, 가공선로 고장에서도 고장 유형에 따라 식 (9), (10) 과 같은 고장점까지의 거리계산 알고리즘을 제시하여 적용하였다.

• 알고리즘 A - 가공송전선로에 적용(지락고장)

$$X = \frac{v_A \cdot \Delta t_d}{2} \quad (9)$$

여기서,  $v_A$  = 가공송전선로 전파속도  
 $\Delta t_d$  = Mode B, Scale 2에서 분석한 A 모션에서의 초기 피크값과 연속되는 피크값의 차

• 알고리즘 B - 가공송전선로에 적용(선간단락)

$$X = \frac{v_A \cdot \Delta t_s}{2} \quad (10)$$

여기서,  $v_A$  = 가공송전선로 전파속도  
 $\Delta t_s$  = Mode C, Scale 1에서 분석한 A 모션에서의 초기 피크값과 연속되는 피크값의 차

• 알고리즘 C - 지중송전선로에 적용(지락고장)

$$X = v_A \cdot \tau_A + \frac{v_B \cdot (\Delta t_g - \Delta\alpha)}{2} \quad (11)$$

여기서,  $v_A$  = 가공송전선로 전파속도  
 $\tau_A$  = 가공송전선로 총 Traveling Time  
 $v_B$  = 지중송전선로 전파속도  
 $\Delta t_g$  = Mode B, Scale 2에서 분석한 A 모션에서의 초기 피크값과 연속되는 피크값의 차  
 $\Delta\alpha$  = 오차 보상분 [ $\Delta\alpha = (\Delta t_g/1.5)$ ]

위의 가공선로와 지중선로의 각각 다른 알고리즘을 적용하기 위해서는 고장구간 판별이 선행되어야 하며, 가공선로에서 지락고장과 선간단락고장에 따른 알고리즘 적용을 위해 고장 유형 판별이 이루어져야 한다.

본 논문에서는 고장구간 판별을 위해 모드정수로 변환한 Mode C를 Scale 1에서 웨이브렛 분석하여 나타난 계수값의 노이즈를 최소화 하기위해 제공한 후 계수의 최대값을 비교하였다.

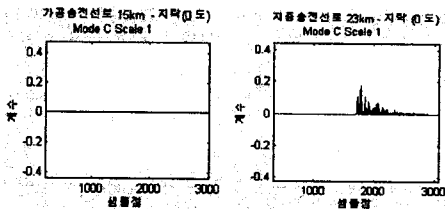


그림 4. Mode C, Scale 1에서 웨이브렛 분석

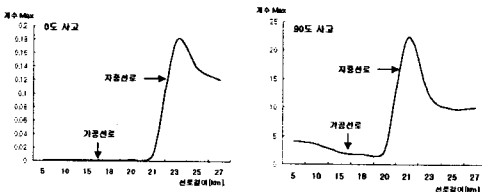


그림 5. 선로길이에 따른 웨이브렛 계수값 비교

그림 4는 가공송전선로 15km지점과 지중송전선로 23km지점에서 각각 1선지락사고(0도)시 웨이브렛 계수값을 비교한 파형이며, 그림 5는 0도와 90도 사고시 각 고장발생 지점에 따라 웨이브렛 계수값을 비교한 그래프이다. 그래프에 나타난 것처럼 0도 사고시에는 가공선로의 계수값은 Zero에 가깝게 나타났으나 지중선로는 고장시 최대 0.2의 계수값을 보여 가공선로와 지중선로 사고를 판별할 수 있었다.

선간단락사고는 지중송전선로에서는 시스템 특성상 사고발생 가능성이 희박하다고 사료되어 가공송전선로에서만 발생하는 것으로 하였다. 그러므로 가공송전선로에서 발생한 사고로 판별이 되면 이는 다시 고장유형 판별을 해야한다. 고장유형 판별은 Mode C를 Scale2에서 웨이브렛 분석하여 나타난 계수 합을 이용해 판별을 하였다. 그림 6을 1선지락과 선간단락시의 계수값을 비교한 그래프이다.

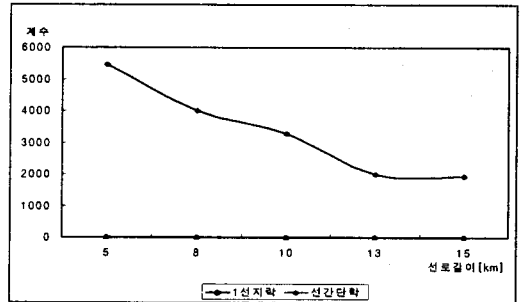


그림 6. 1선지락사고와 선간단락시의 계수 비교(0도사고)

고장유형판별을 마치면 식 (9), (10), (11)을 각각 적용하여 고장 구간과 유형별로 알고리즘을 각각 적용하여 고장거리를 계산할 수 있으며 그림 7에서 전체적인 흐름도를 나타냈다.

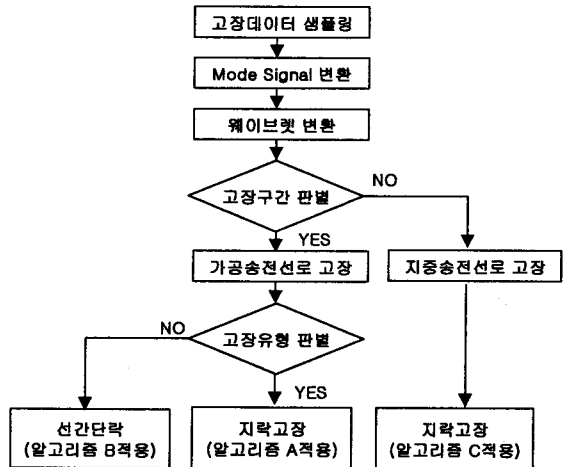


그림 7. 고장점 추정 흐름도

## 4. 모델계통 및 시뮬레이션

### 4.1 모델계통

본 논문에서는 가공송전선로와 지중송전케이블 선로가 혼합된 송전선로에서 1선 지락고장과 선간단락 고장이 발생했을 때 고장구간 및 유형을 판별하여 고장점추정 알고리즘 개발을 수행하였다. 154kV 양단전원으로 가공송전선로 20km와 지중송전선로 8.17km가 연계된 선로이며 가공선로는 ACSR 410(mm) $\times$ 2B이고, 지중송전케이블은 CV 2000(mm<sup>2</sup>) 케이블이 전력구방식으로 포설되어있다.

### 4.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

선로 모델링 및 시뮬레이션을 위해 EMTP 및 ATPDraw를 사용하였으며 고장데이터는 3.3( $\mu$ s)로 샘플링하였으며 전파속도는 가공선로에서는  $2.93119 \times 10^8$ (km/sec)이고, 지중선로

표 1. 고장점까지의 거리계산 결과(1선지락고장)

선로구간	가 공 송 전 선 로										지 중 송 전 선 로							
	5		8		10		15		18		21.5		22.57		24.57		27.1	
고장거리(km)	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Peak1[ms]	12.345	16.501	12.345	16.503	12.365	16.523	12.385	16.543	12.39	16.547	12.408	16.5578	12.4215	16.5627	12.443	16.5667	12.443	12.4443
Peak2[ms]	12.385	16.541	12.41	16.567	12.43	16.588	12.484	16.642	12.519	16.676	12.642	16.6148	12.5235	16.6617	12.6423	12.7017	12.6423	12.7017
거리계산(km)	5.86	5.86	9.48	9.37	9.53	9.52	14.5	14.51	18.9	18.9	21.56	21.57	22.84	22.76	25.56	27.19	25.56	27.19
오 차(%)	3.05	3.05	5.25	4.86	1.66	1.70	1.77	1.73	3.1	3.1	0.21	0.24	0.96	0.67	3.5	0.28	3.5	0.28

예선  $1.67619 \times 10^5$  [km/sec]이다. 또한 고장을 0도(12.326 msec)와 90도(16.484 msec)로 각각 분리하여 가공선로에서는 A모선에서 5km, 8km, 10km, 13km, 15km, 18km 지점에서 1선지락 및 선간단락고장을 시뮬레이션 하였으며, 지중선로에서는 A모선에서 21.5km, 22.57km, 24.57km, 27.1km 지점에서 1선지락고장을 모의하여 각각 고장점까지의 거리를 계산하였다.

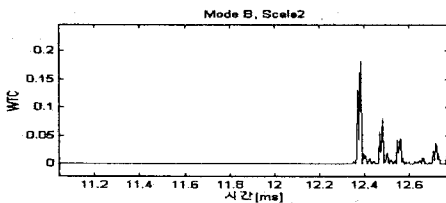


그림 8. 15km 1선지락시 웨이브렛 분석결과(0도)

그림 8은 15km 1선지락고장시 Mode B의 Scale 2에서 웨이브렛 분석한 결과이다. 첫 번째 피크값은 12.385(ms)이며, 두 번째 피크값은 12.484(ms)이다. 이를 알고리즘 A에 적용하여 고장거리를 계산하면 식 (12)와 같다.

$$X = \frac{2.93113 \times 10^5 \times [(12.484 - 12.385) \times 10^{-3}]}{2} = 14.5 [km] \quad (12)$$

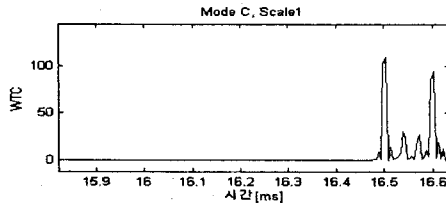


그림 9. 5km 선간단락시 웨이브렛 분석결과(90도)

그림 9는 5km 선간단락시 Mode C의 Scale 1에서 웨이브렛 분석한 결과이다. 첫 번째 피크값은 16.5033(ms)이며, 두 번째 피크값은 16.5379(ms)이다. 이를 알고리즘 B에 적용하여 고장거리를 계산하면 식 (13)과 같다.

$$X = \frac{2.93113 \times 10^5 \times [(16.5033 - 16.5379) \times 10^{-3}]}{2} = 5.07 [km] \quad (13)$$

표 2. 고장점까지의 거리계산 결과(선간단락고장)

선로구간	가 공 송 전 선 로					
	5		10		15	
고장거리(km)	0	90	0	90	0	90
Peak1[ms]	12.3453	16.5033	12.3651	16.5321	12.3852	16.5429
Peak2[ms]	12.3799	16.5379	12.4294	16.5875	12.4844	16.6419
거리계산(km)	5.07	5.07	9.42	9.44	14.53	14.51
오 차(%)	0.25	0.25	2.05	1.98	1.66	1.74

식 (15)는 지중송전선로에서 1선지락고장 발생시 Mode B의 Scale 2에서 웨이브렛 분석한 결과를 이용해 알고리즘 C

를 적용하여 고장점까지의 거리를 계산한 결과이다. 27.1km 지점에서 1선지락 고장시(0도 고장) 첫 번째 피크값은 12.4443(ms)이며 두 번째 피크값은 12.7017(ms)이므로 오차보상분 ( $\Delta\alpha$ )은 식 (14)와 같다.

$$\Delta\alpha = \frac{12.7017 - 12.4443}{1.5} = 0.1716 [ms] \quad (14)$$

$$X = (2.93113 \times 0.06823307 \times 10^2) + \frac{1.67619 \times 10^2 \times (0.2574 - 0.1716)}{2} = 27.19 [km] \quad (15)$$

## 5. 결 론

본 논문에서는 진행과 웨이브렛 변환을 이용하여 혼합송전선로에서 고장발생시 고장구간 판별과 고장 유형판별을 통해 고장점 추정 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 고장구간 판별은 Mode C의 Scale 1에서 웨이브렛 계수값의 최대값을 비교하여 가공송전선로와 지중송전선로의 사고를 판별하였으며, 가공송전선로의 지락사고와 단락사고 고장유형 판별은 Mode C Scale 2에서 웨이브렛 계수값의 합을 비교하여 판별하였다. 고장점까지의 거리계산은 고장형태에 따라 알고리즘 A, B, 그리고 지중송전선로 고장의 경우 특성임피던스 변화에 따른 투과파의 시간지연으로 인한 오차보상분 ( $\Delta\alpha$ )를 고려한 알고리즘 C를 적용하여 표 1과 2에서처럼 0도와 90도사고에서 거리계산결과 낮은 오차를 보여 본 논문에서 제시한 알고리즘으로 정확한 고장점을 추정할 수 있음을 증명하였다. 또한 본 논문에서 제시한 알고리즘은 양단정보를 이용하여 GPS 등의 Data Link 시스템을 이용하는 고장점 추정방법과는 달리 편단정보만을 이용하여 고장점 추정을 수행하게 되므로 경제성과 현실성이 우수하여 본 논문에서 제시한 알고리즘은 정확한 고장거리 계산과 신속한 고장복구를 위해 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 이준성, 문성철, 이종범, "154kV 지중송전케이블에서 Wavelet을 이용한 Fault Location에 관한 연구", KIEE, Vol. 49A, NO. 12, DEC. 2000.
- [2] A.Abur, F.H.Magnago, "Use of Time Delays between Modal Components in Wavelet based Fault Location", Electrical Power and Energy Systems, No. 22, 2000.
- [3] M Aurangzeb, P.A.Crossley, P.Gale, "Fault Location on a Transmission Line Using High Frequency Travelling Waves Measured at a Single Line End", IEEE, pp. 2437~2442, 2000.
- [4] Surya Santoso, "Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, pp 924~930 1996
- [5] W.A.Wilkinson, M.D. Cox, "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11, No. 4, Nov. 1996.
- [6] Martin, "Wavelet and Filter Banks: Theory and Design", IEEE Transaction on Signal Processing, Vol. 40, No. 9, pp. 2207~2232, 1992
- [7] Wavelet Toolbox For Use with MATLAB