

웨이브렛을 이용한 지중송전계통 고장검출 및 노이즈 제거 알고리즘 개발

論 文

56-7-3

Development of Fault Detection and Noise Cancellation Algorithm Using Wavelet Transform on Underground Power Cable Systems

鄭彩均* · 李鍾範†

(Chae-Kyun Jung · Jong-Beom Lee)

Abstract - In this paper, the fault detection and noise cancellation algorithm based on wavelet transform was developed to locate the fault more accurately. Specially, noise cancellation algorithm was based on the correlation of wavelet coefficients at multi-scales. Fault detection, classification and location algorithm were tested by EMTP simulation on real power cable system. From these results, the faults can be detected and located even in very difficult situations, such as at different inception angle and fault resistance.

Key Words : Fault detection, Fault location, Noise cancellation method, Underground power cable systems

1. 서 론

지중송전계통을 비롯한 전력계통에서 고장점 추정을 위한 웨이브렛 변환의 적용은 많은 연구진에 의해 그 장점이 입증되었으며 지금까지도 다각적인 연구가 진행되고 있다 [1-5]. 웨이브렛 변환은 고장으로 인해 발생하는 과도신호를 시간과 주파수의 두 영역에서 검출할 수 있다는 장점이 있다. 특히 시간영역에서 분석이 가능하기 때문에 고장점 추정의 적용에 매우 유리한 장점을 가지고 있으며, 진행과 이론의 적용이 매우 용이하다.

지중송전계통에서 고장발생시 일반적으로 진행파를 이용한 고장점 추정 방법은 고장점이나 반대모선에서 반사되는 과도신호를 이용한다[3-7]. 특히 고장점에서 반사되는 신호는 신호의 일부가 반대 모선 방향으로 투과되기 때문에 측정모선에 이르는 신호는 매우 약해지게 되며, 이와 같은 과도신호는 가공선로와는 달리 케이블에서 감쇄가 크게 발생하므로 반사파의 신호는 더욱 약해질 수 있다[8]. 따라서 케이블 과도현상에서 발생하는 노이즈의 레벨은 반사파 레벨보다 더욱 크게 나타날 수 있으므로 반사파 신호로부터 노이즈를 제거하는 필터의 개발은 케이블 계통의 고장점 추정에 있어 매우 중요한 부분이다. 이러한 진행과 신호에 포함된 다량의 노이즈는 지중송전계통에서 진행파를 이용한 고장점 추정과 고속 보호계전알고리즘 개발에 많은 어려움을 주고 있다.

따라서 본 논문에서는 지중송전계통에서 추출된 전류신호를 웨이브렛을 이용해 변환하고, 고장점추정을 위한 적절한

신호검출을 위해 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서 개발한 노이즈 제거 알고리즘은 멀티스케일에서 웨이브렛 계수의 상호관계를 바탕으로 과도신호와 노이즈로부터 반사파를 판별하는 새로운 알고리즘으로 지중송전계통의 실시간 고장점 추정 알고리즘 개발에 큰 기여를 하였다.

2. 모델계통

본 논문에서 검토한 지중송전계통은 154kV, OF 2000mm² 케이블로 총 선로길이가 6.284km인 실제계통 모델이다. 그림 1은 본 논문에서 적용한 5개 색선의 크로스본드 대구간과 16개의 접속부를 가지고 있는 실제계통 모델의 계통도이다.

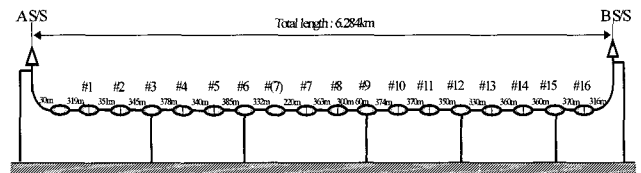


그림 1 지중송전계통 모델

Fig. 1 Model of underground power cable system

고장점 추정기법 검증에 위해 그림 1의 실제계통에서 발생한 1선지락고장을 고려하였으며, 이의 모델링 및 해석을 위해 ATP를 이용하였다. 샘플링율은 1MS/sec이며, 진행파의 전파속도는 1.67487×10^8 km/sec이다. 또한 더욱 신뢰성 있는 검증을 위해 다음과 같은 다양한 고장조건을 적용하였다.

- 고장상 : A상, B상
- 고장발생 위상 : 0°, 30°, 45°, 60°, 90°
- 고장저항 : 0Ω, 0.1Ω, 0.5Ω, 1Ω, 5Ω
- 고장거리 : A S/S로부터 1km, 2km, 3km, 4km, 5km

† 교신저자, 正會員 : 圓光大 工大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

E-mail : jpower@wonkwang.ac.kr

* 正會員 : 圓光大 工業技術開發研究所 研究員 · 工博

接受日字 : 2007年 2月 28日

最終完了 : 2007年 5月 2日

3. 고장검출 및 고장 상 판별 알고리즘

일반적으로 Detail 신호는 기본파 성분을 포함한 저주파 신호 외에 고주파 성분의 신호만 추출하여 출력하므로 고장 발생시 고장신호에 대한 여러 정보를 가지게 된다. 그러나 Detail 신호가 가지고 있는 과도 정보는 고장이 발생한 상외에 모든 상으로 유도되므로 단순히 이의 신호만 가지고 고장검출과 고장이 발생한 상을 판별하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 Approximation 신호의 최대 계수 비율 분석을 통해 고장 검출과 고장상을 판별할 수 있는 새로운 기법을 개발하게 되었다.

본 논문에서 새롭게 개발한 알고리즘은 각상의 전류신호를 입력으로 하였으며, 최초 고장검출을 위해 웨이브렛 1단계 변화 후 고주파 영역에서 검출되는 Detail 성분(D1)을 이용하였다. 즉, 1차 고장검출을 위해 먼저 Threshold 값을 설정하고, 만약 검출된 D1 신호에서 얻어진 계수의 특성이 Threshold 값을 초과하면 1차 고장으로 판별할 수 있다. 다음 단계로 더욱 정확한 고장검출 및 고장상 판별을 위해 4단계 웨이브렛 변환 후 저주파 영역에서 검출되는 Approximation 신호를 새로운 고장검출 알고리즘에 적용하고 최종적인 고장검출 뿐 아니라 고장상을 판별하게 된다.

그림 2에서는 새로운 고장검출 기법을 도식화한 흐름도를 나타내었다. 그림 2에서처럼 1단계 Detail 신호에 의해 최초 고장이 검출되면 A상, B상, C상전류의 4단계 웨이브렛 분해를 통해 얻어지는 각각의 Approximation 신호(A_{4j})에서 최대 계수($Max(A_{4j})$)를 검출하여 식 (1)과 같이 검출된 신호 중 최대값(A_{max})을 추출하고 이의 값과 각상의 최대값의 절대치 비교를 통해 최종 고장검출과 고장상을 판별하게 된다. 3상의 계수 비율(R_j) 중 0에 근접한 값이 출력 되면 최종적으로 고장검출을 완료하게 되며, 동시에 계수 비율(R_j)이 1로 출력되는 상은 고장상으로 판별하게 된다.

$$R_j = \left| \frac{Max(A_{4j})}{A_{max}} \right| \quad (1)$$

여기서,

j : A상, B상, C상

$Max(A_{4j})$: 각상 Approximation신호의 최대 계수

A_{max} : 각상 $Max(A_{4j})$ 중 최대 계수

R_j : 각상 계수 비율

그림 3은 1km A상 1선지락고장시 원신호와 4단계 웨이브렛 변환 후 추출한 Approximation 계수 파형을 나타내었다. 각 상 Approximation의 최대 계수 분석결과 A상(A_{4a})은 1.4924×10^5 , B상(A_{4b})은 7.9555×10^3 , C상(A_{4c})은 7.6351×10^3 으로 나타나 최대계수(A_{max})는 A상 계수인 1.4924×10^5 로 선정되었다. 따라서 최종 계수비율은 R_a 는 1, R_b 는 0.0533, R_c 는 0.0513으로 분석 되었다. 그림 4는 3km A상 1선지락고장시 원신호와 4단계 웨이브렛 변환 후 추출한 Approximation 계수 파형을 나타내었다. 역시 각 상 Approximation의 최대 계수 분석결과 A상(A_{4a})이 9.3657×10^5 로 B상과 C상에 비해 크게 나타났으며, 최종 계수비율은 R_a 는 1, R_b 는 0.0308, R_c 는 0.0243으로 분석 되었다.

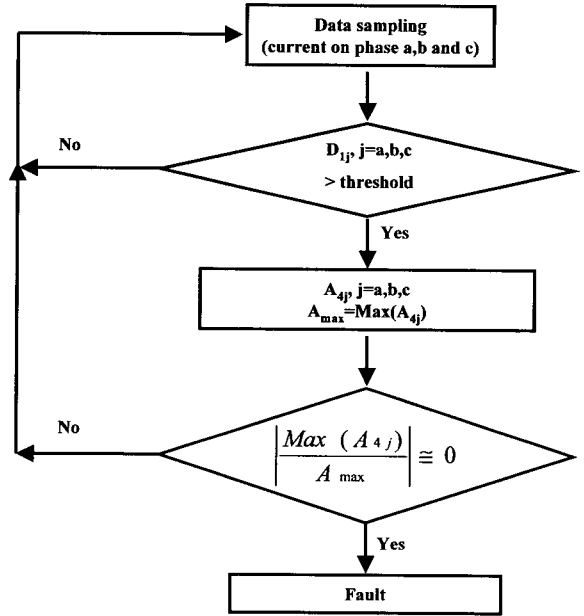


그림 2 고장검출 흐름도

Fig. 2 Flow chart for fault detection and classification

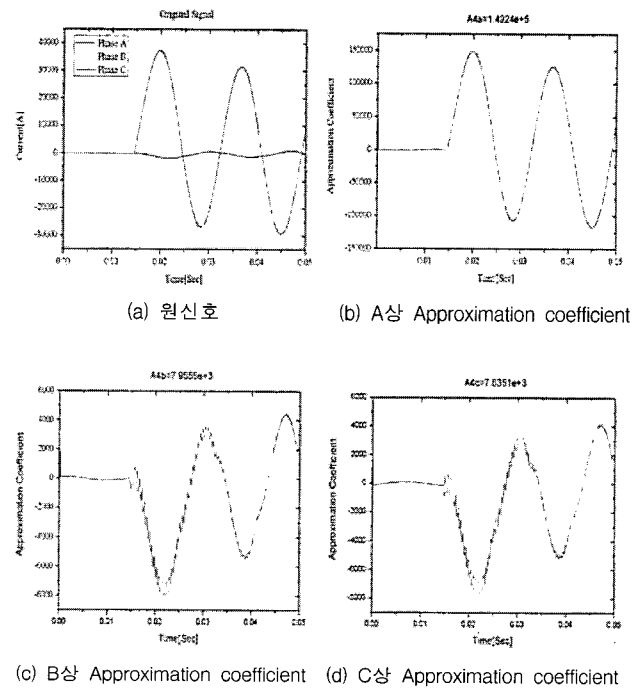


그림 3 1km A상 1선지락 고장시 4단계 Approximation 분석 결과(고장저항 : 0Ω, 고장위상 : 45°)

Fig. 3 Analysis results of 4 step approximation in case of 1km single line to ground fault of phase A(Fault resistance: 0Ω, Fault inception angle: 45°)

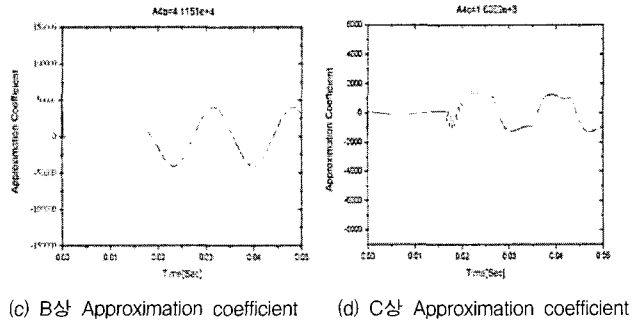
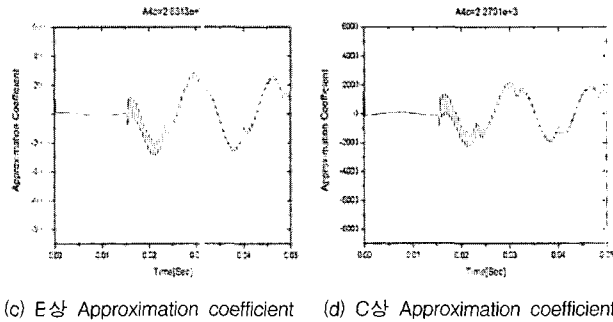
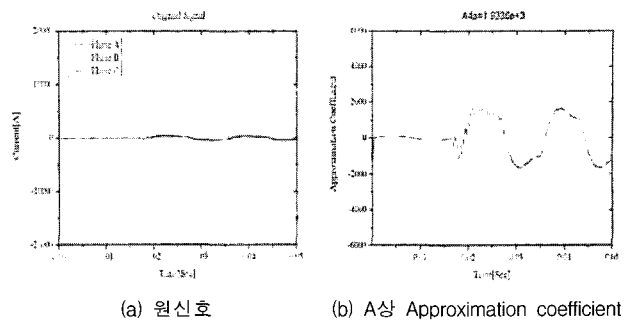
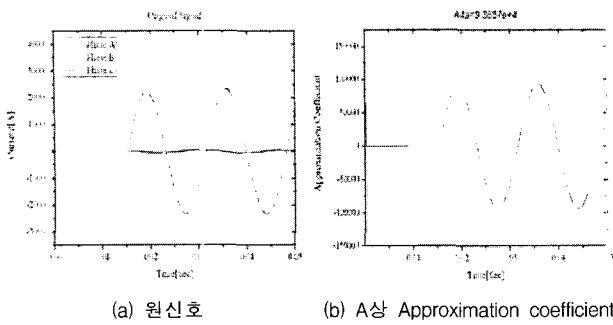


그림 4 3km A상 1선지락 고장시 4단계 Approximation 분석 결과(고장저항 : 1Ω, 고장위상 : 60°)

Fig. 4 Analysis results of 4 step approximation in case of 3km single line to ground fault of phase A(Fault resistance: 1Ω, Fault inception angle :60°)

그림 6 5km B상 1선지락 고장시 4단계 Approximation 분석 결과(고장저항 : 5Ω, 고장위상 : 90°)

Fig. 6 Analysis results of 4 step approximation in case of 5km single line to ground fault of phase B(Fault resistance: 5Ω, Fault inception angle: 90°)

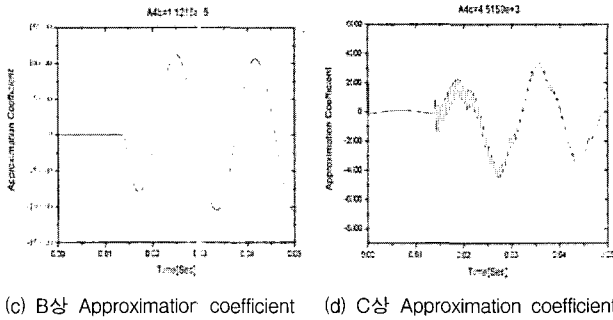
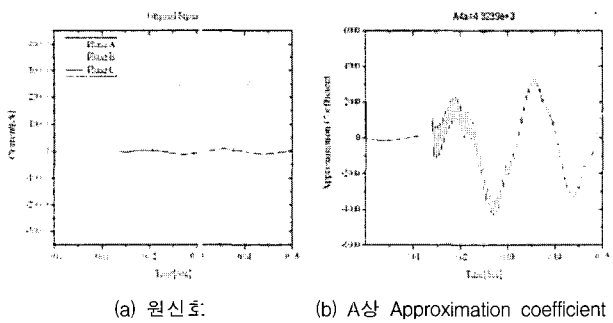


그림 5 2km B상 1선지락 고장시 4단계 Approximation 분석 결과(고장저항 : 0.5Ω, 고장위상 : 30°)

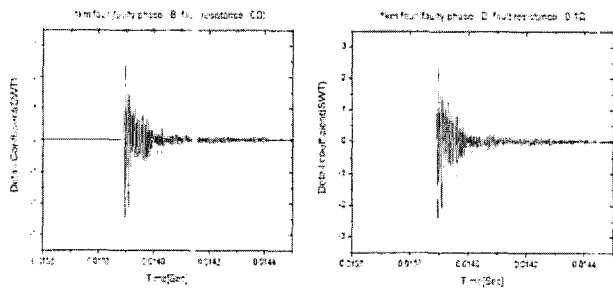
Fig. 5 Analysis results of 4 step approximation in case of 2km single line to ground fault of phase B(Fault resistance: 0.5Ω, Fault inception angle: 30°)

그림 5와 그림 6은 각각 2km와 5km B상 1선지락고장시 원신호와 4단계 웨이브렛 변환 후 추출한 Approximation 계수 파형을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 고장이 발생한 B상에서의 Approximation 최대 계수가 A상이나 C상에 비해 크게 나타났으며, 최종 계수비율 분석결과에서도 2km 고장시에 R_a 는 0.0385, R_b 는 1, R_c 는 0.0403, 또한 5km 고장시에 각각 R_a 는 0.0470, R_b 는 1, R_c 는 0.0390으로 분석 되었다.

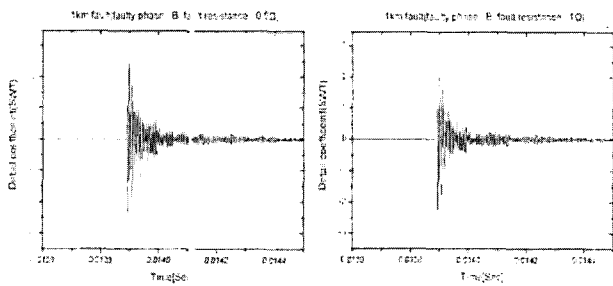
일반적으로 고장이 발생한 상의 전류 신호는 건전상에 비해 매우 높으며, 이는 웨이브렛 분석에서도 그대로 적용된다. 즉, 건전상에서 발생하는 신호는 고장상에 비해 약하기 때문에 최대 Approximation 계수에서도 상대적으로 작은 값을 보이게 된다. 그림 3 ~ 그림 6의 분석에서도 알 수 있듯이, 고장이 발생한 상에서의 최대 Approximation 계수 (A_{ij})는 나머지 두상의 계수에 비해 매우 큰 값을 보이는 동시에 다른 두상의 최대 계수는 상대적으로 작은 값을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 고장이 발생한 상에서는 Approximation 최대 계수와 각상 계수 중 최대값이 동일하기 때문에 항상 최대 계수비율은 1인 반면 나머지 두상에서의 최대 계수비율은 0에 가까운 매우 작은 값을 보이게 된다. 결과적으로 3상의 계수비율에서 최대 계수비율이 0에 근접한다는 것은 각 상간의 전류 불평형율이 극단적인 차이를 보인다는 것을 의미하므로 이를 통해 지중송전계통의 고장발생 여부를 검출할 수 있으며, 동시에 최대 계수비율이 1인 상은 고장상으로 판별할 수 있다.

다. 그림에서처럼 각각의 $D1$ 신호에는 과도신호에 포함된 다량의 노이즈가 함유되어 있음을 알 수 있으며, 고장이 발생한 0.0138초 이후에 샘플링된 신호에 불규칙적인 피크점들이 여러 곳에서 발생하고 있어 이는 고장점까지의 거리계산이 심각한 오차 요인이 된다[9]. 그림 8에서처럼 고장지점, 고장위상, 고장저항 등이 다른 고장조건에서 검출된 Detail 신호에서도 고장발생 이후 불규칙적인 노이즈들이 과도신호에 대량으로 포함되어 있음을 알 수 있다.

실제로 지중송전계통에서 발생하는 과도현상은 외부 환경적인 영향 등에 의한 간섭으로 높은 주파수 영역의 노이즈가 발생되므로 그림 7과 그림 8에서처럼 노이즈와 과도신호를 판별하기가 매우 어렵다. 즉, 기존 단순 웨이브렛 적용으로는 고장점에서 반사되는 과도신호를 원활히 검출할 수 없으며, 이는 결국 정확한 고장점 추정에 심각한 영향을 미친다. 따라서 노이즈를 제거하는 방법은 진행파를 이용한 고정점 추정에 있어 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.



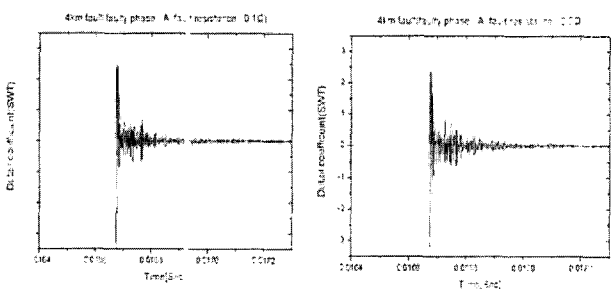
(a) fault resistance : 0Ω (b) fault resistance : 0.1Ω



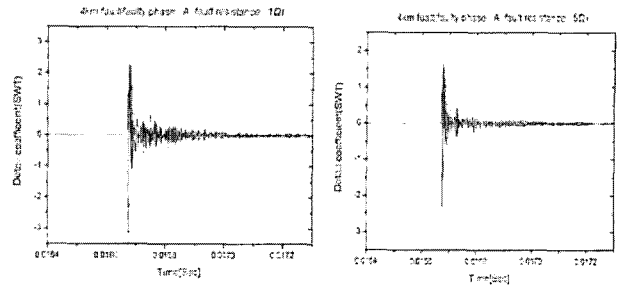
(c) fault resistance : 0.5Ω (d) fault resistance : 1Ω

그림 7 1km B상 1선지락 고장시 Detail 1(D1) 신호(고장 위상 : 30°)

Fig. 7 D1 signal in the case of 1km single line to ground fault of phase B(Fault inception angle:30°)



(a) fault resistance : 0.1Ω (b) fault resistance : 0.5Ω



(c) fault resistance : 1Ω (d) fault resistance : 5Ω

그림 8 4km A상 1선지락 고장시 Detail 1(D1) 신호(고장 위상 : 90°)

Fig. 8 D1 signal in the case of 4km single line to ground fault of phase A(Fault inception angle:90°)

본 논문에서는 고장 발생시 나타나는 과도신호에 대한 Multi-scale 웨이브렛 분석을 통해 검출된 신호의 상호관계 (correlation)를 이용해 노이즈를 제거하는 새로운 기법을 개발하여 제시하였다. 다량의 노이즈가 포함된 Detail신호를 Multi-scale Correlation 기법을 이용해 3단계에 걸쳐 신호를 필터링 한 후 최종적으로 노이즈가 완전히 제거된 새로운 신호를 출력하는 것이다. 3단계 필터링 과정에 대한 자세한 설명은 그림 10의 상세 흐름도를 통해 제시하였다.

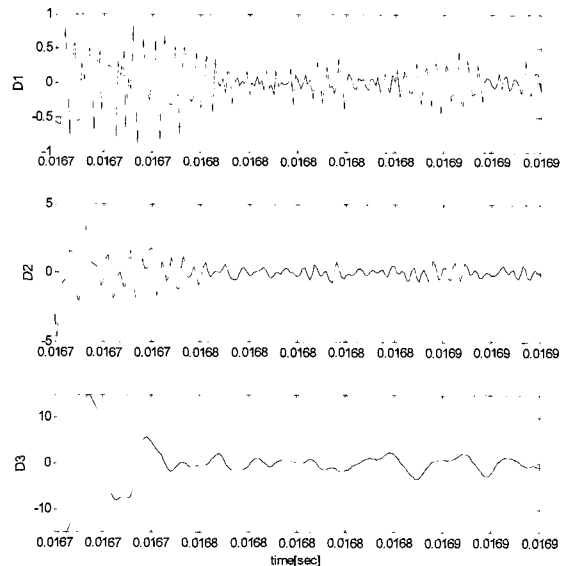


그림 9 1km A상 1선지락 고장시 3단계 Detail 신호(고장 저항 : 1Ω, 고장위상 : 90°)

Fig. 9 3 step detail signal in the case of 1km single line to ground fault of phase A(fault resistance : 1Ω, fault inception angle : 90°)

그림 9에서처럼 3단계 웨이브렛 분석결과 추출한 각각의 Detail 신호에서 알 수 있듯이 일부의 과도신호는 상대적으로 감소하는 반면 명백히 높은 값을 가지는 신호 또한 관측할 수 있다. 즉 두 최대값이 동일한 Maxima line에 포함되면 스케일 2^j 에서의 최대값은 2^{j+1} 에서 또 다른 최대값까지

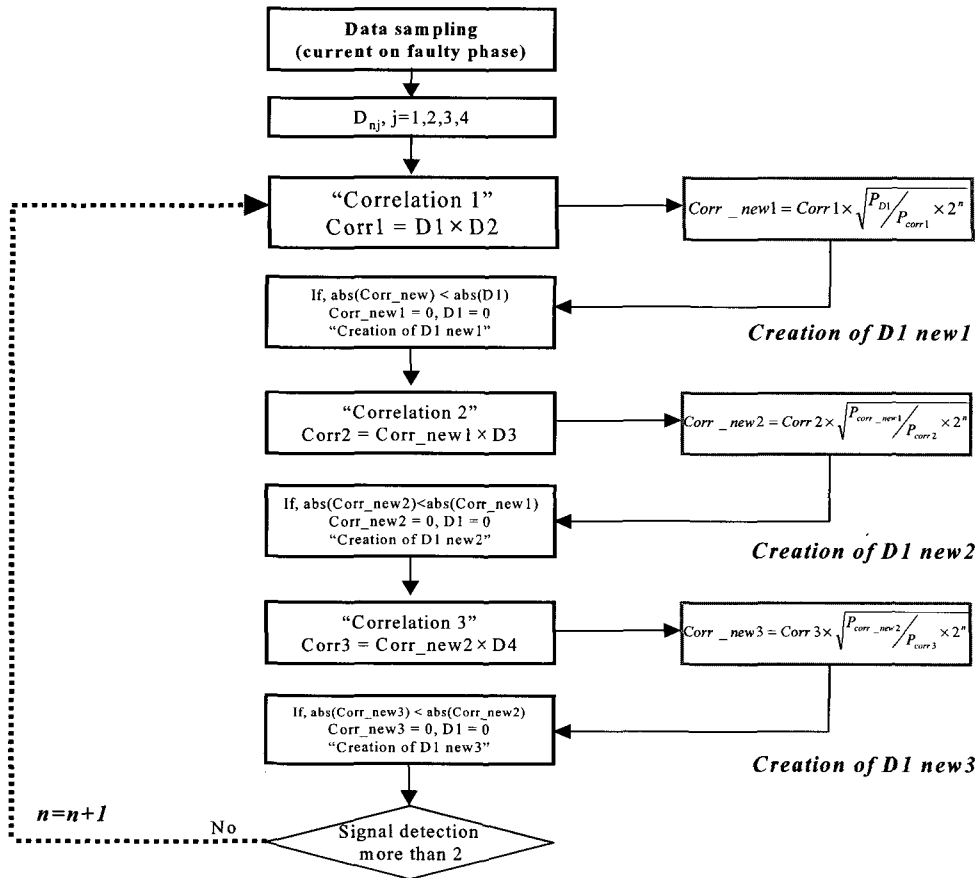


그림 10 고장점 추정을 위한 노이즈 제거 기법의 흐름도
Fig. 10 Flow chart of noise cancellation technique for fault location

진행한다는 것을 발견하였다. 또한 일반적으로 노이즈가 포함된 Maxima의 수는 스케일이 증가할 때 점점 감소된다. 이와 같은 현상은 각각 Detail 신호의 상호결합을 통해 과도 신호를 정확히 판별할 수 있는 가능성을 보여준다.

본 논문에서 제안한 Multi-scale Correlation 방법은 단순하면서도 정확하게 노이즈를 제거할 수 있다. 만약 과도 신호가 n 레벨에서 웨이브렛에 의해 분해되면 Detail 계수는 D1, D2, D3, ..., Dn 이 된다. 여기서 첫 번째와 두 번째 스케일에서의 Detail 성분을 식 (2)와 같이 직접 곱하여 Corr1이 생성되고, 다음으로 식 (3)과 같은 Correlation 방정식을 얻는다. 마지막으로 Corr_new1과 D1 절대값의 대소비교를 통해 새로운 Detail 성분인 D1_new1을 생성하게 된다.

$$Corr1 = D1 \times D2 \tag{2}$$

$$Corr_{new1} = Corr1 \times \sqrt{\frac{P_{D1}}{P_{Corr1}}} \times 2^n \tag{3}$$

여기서, $P_{D1} = \sum D1^2$, $P_{Corr1} = \sum Corr1^2$

다음으로 식 (4)와 같이 Corr_new1과 D3를 직접 곱하여 Corr2를 얻고 새로운 Correlation 성분인 Corr_new2를 식 (5)와 같이 재 스케일하게 된다. 이 과정을 통해 D1_new2를 얻을 수 있다.

$$Corr2 = Corr_{new1} \times D3 \tag{4}$$

$$Corr_{new2} = Corr2 \times \sqrt{\frac{P_{Corr_{new1}}}{P_{Corr2}}} \times 2^n \tag{5}$$

여기서, $P_{Corr_{new1}} = \sum Corr_{new1}^2$, $P_{Corr2} = \sum Corr2^2$

마지막으로 식 (6)과 식 (7)처럼 Corr3과 Corr_new3의 성분을 얻고 D1_new1과 D1_new2와 같은 방법으로 D1_new3을 생성시킨다.

$$Corr3 = Corr_{new2} \times D4 \tag{6}$$

$$Corr_{new3} = Corr3 \times \sqrt{\frac{P_{Corr_{new2}}}{P_{Corr3}}} \times 2^n \tag{7}$$

여기서, $P_{Corr_{new2}} = \sum Corr_{new2}^2$, $P_{Corr3} = \sum Corr3^2$

위의 과정을 거쳐 최종적으로 D1_new3에 2개 이상의 과도 신호가 검출되면 고장점 추정이 이루어지고 단지 1개의 신호가 검출되면 다음 차수(n=2, 3, ..., n)에서 2개 이상의 신호가 검출될 때 까지 알고리즘은 반복된다. 그림 10에서는 노이즈 제거를 위한 모든 알고리즘 과정을 흐름도로 나타내었다.

4.2 노이즈 제거기법 사례분석

본 논문에서 제시한 새로운 노이즈 제거기법의 검증을 위해 먼저 실제계통에서 발생한 1선지락고장을 EMTP/ATP를 이용해 시뮬레이션 하였다. 또한 더욱 신뢰성 있는 검증을 위해 고장거리, 고장저항 및 고장위상 등을 다양하게 변화시켜 여러 고장조건을 고려하였다.

그림 11은 1km 지점 A상에서 고장저항이 0.5Ω인 1선지락고장이 45°의 위상에서 발생했을 때 노이즈 제거과정을 나타내었다. 그림 11(a)에서처럼 첫 번째 Detail 성분인 *D1*에서는 다량의 노이즈로 인해 A S/S에서 반사되는 신호검출이 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 1단계 Correlation 함수인 *Corr1*(b)을 거치면서 *D1 new1*(c)을 추출하고 2단계 Correlation 함수 *Corr2*(d)를 거치면서 *D1 new2*(e)를 추출하기 까지 노이즈는 현저히 저감되며, 최종적으로 *D1 new3*(f)신호를 통해 첫 번째와 두 번째 반사 신호를 정확히 검출할 수 있다. 여기서 각각 첫 번째와 두 번째 신호의 도달시간은 0.014587초와 0.014599초이며, 전파속도를 고려한 고장점 추정결과 1.005km로 매우 정확하게 고장점까지의 거리가 계산됨을 확인하였다. 계산오차는 0.079%이다.

고장위상이 90°이고 2km 고장의 경우, 그림 12에서처럼 첫 번째 알고리즘 과정($n=1$)에서 *D1 new2*와 *D1 new3*에서 단지 하나의 신호만 검출되었다. 이 경우에는 알고리즘은 자동적으로 다음 차수($n=2$)에서 반복 실행하여 그림 13과 같은 신호를 얻게 된다. 그림 13에처럼 Correlation 함수를 거쳐 최종적으로 출력되는 *D1 new3* 신호에서는 노이즈가 제거된 반사파 과도신호가 정확히 검출되는 것을 확인할 수 있다. 여기서 각각 0.016673초와 0.016697초가 검출되었으며, 고장점까지의 거리는 2.009km로 계산되었다. 오차는 0.143%이다.

○처럼 본 논문에서 제시한 노이즈 제거 알고리즘은 다양한 고장사례를 통해 노이즈 제거 효과의 우수성을 효과적으로 검증하였으며, 본 논문에서 제시한 사례 외에 모든 고장 조건에서 동일한 결과를 얻었다. 또한 실제 노이즈 제거 기법을 적용한 고장점 추정 방법은 다음 논문을 통해 발표하도록 하겠다.

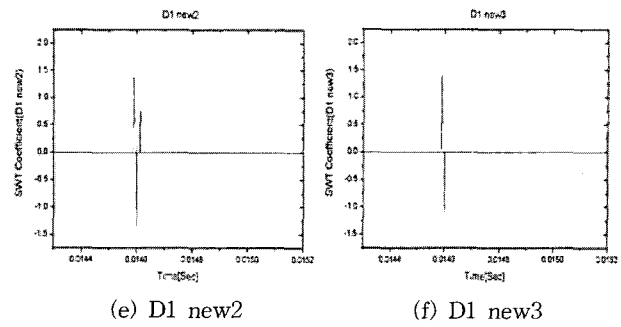


그림 11 1km A상 1선지락 고장시 노이즈 제거과정(고장 저항 : 0.5Ω, 고장위상 : 45°, $n=1$)

Fig. 11 Noise cancellation procedure in the case of 1km single line to ground fault of phase A(Fault resistance : 0.5Ω, Fault inception angle : 45°, $n=1$)

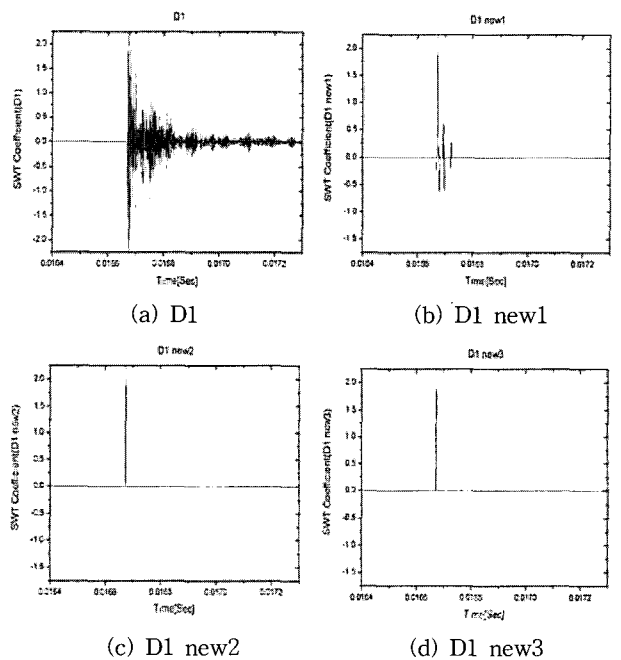
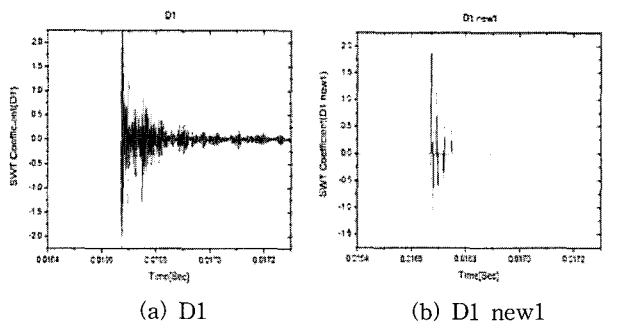
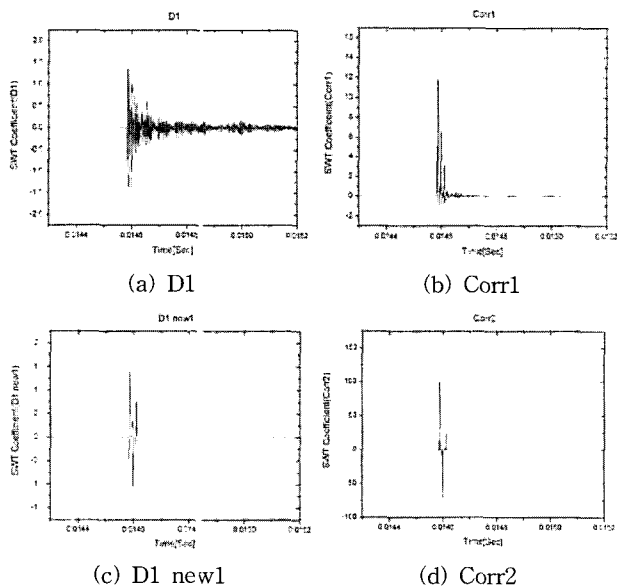


그림 12 2km A상 1선지락 고장시 노이즈 제거과정(고장 저항 : 0.5Ω, 고장위상 : 90°, $n=1$)

Fig. 12 Noise cancellation procedure in the case of 2km single line to ground fault of phase A(Fault resistance : 0.5Ω, Fault inception angle : 90°, $n=1$)



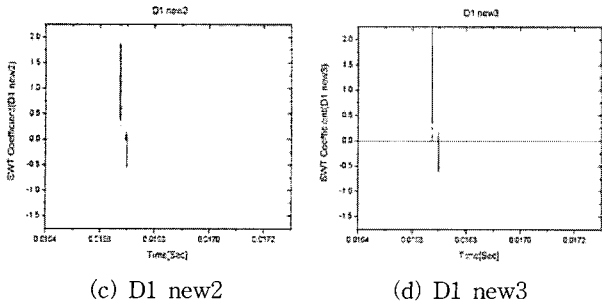


그림 13 2km A상 1선지락 고장시 노이즈 제거과정(고장 저항 : 0.5Ω, 고장위상 : 90°, n = 2)

Fig. 13 Noise cancellation procedure in the case of 2km single line to ground fault of phase A(Fault resistance : 0.5Ω, Fault inception angle : 90°, n = 2)

5. 결 론

본 논문에서는 지중송전계통 고장 검출 및 고장 상 판별, 고장점 추정을 위한 노이즈 제거 알고리즘을 개발하였다. 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 웨이블릿 분석 결과 출력되는 Approximation 신호의 최대 계수 비율 분석을 통해 고장검출과 고장상을 판별하는 새로운 판별 기법을 개발하였다. 모든 고장조건에서 고장이 발생한 상에서의 최대 계수 비율은 1인 반면 나머지 상에서는 0에 가까운 매우 작은 값을 보여 고장 발생 여부를 검출할 수 있는 동시에 고장 상을 판별할 수 있다.

2) 고장지점, 고장위상, 고장저항 등의 다양한 고장조건에 대한 웨이블릿 분석 결과 1단계 Detail 신호(D1)에 다량의 불규칙적인 노이즈들이 과도신호에 대량으로 포함되어 있어 고장점까지의 거리계산에 어려움이 있음을 밝혔다.

3) 웨이블릿 분석 결과 출력되는 Detail 신호에 대한 Multi-scale Correlation 기법을 적용해 3단계의 필터링 과정을 거쳐 노이즈를 제거하는 새로운 노이즈 제거 알고리즘을 개발하였으며, 다양한 고장사례 분석을 통해 노이즈가 효과적으로 제거됨을 검증하였다.

본 논문에서 개발된 노이즈 제거 알고리즘은 향후 전류신호를 실시간으로 모니터링하면서 고장 발생시 고장을 검출하고 고장점까지의 거리를 실시간으로 탐지할 수 있는 새로운 기법 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 산업자원부 전력산업고급인력 해외연수 지원사업에 의하여 연구됨

참 고 문 헌

[1] C. K. Jung, J. B. Lee, X. H. Wang, Y. H. Song, "A Study on the Fault Location Algorithm on Underground Power Cable System", *IEEE PES General Meeting*, 2005

[2] L. Shang, G. Herold, J. Jaeger, "A New Approach to High-Speed Protection for Transmission Line Based on Transient Signal Analysis Using Wavelets", *Development in Power System Protection, Conference Publication*, No. 479, 2001

[3] A. Abur, F. H. Magnago, "Use of Time Delays between Modal Components in Wavelet base Fault Location", *Electrical Power and Energy Systems*, No. 22, 2000

[4] W. Zhao, Y. H. Song, Y. Min, "Wavelet analysis based scheme for fault detection and classification in underground power cable system", *Electric Power System Research* 53(2000) 23-50

[5] F. H. Magnago, A. Abur, "Fault Location Using Wavelets", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 13 Issue 4, 1998. 10

[6] W. Zhao, Y. H. Song, W. R. Chen, "Improved GPS Travelling Wave Fault Locator for Power Cables by Using Wavelet Analysis", *Electric Power System Research* 23(2001) 403-411

[7] Styvaktakis, E., Bollen, M.H.J., Gu, I.Y.H., "A Fault Location Technique Using High Frequency Fault Clearing Transients", *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 19 Issue 5, pp. 50-60, 1999. 5

[8] Kai Steinbrich, "Attenuation Behaviour of Single-core Power Cables", CIGRE-WG B1-05 session 20.06.03

[9] X. H. Wang, "Characterization, detection and location of sheath fault on underground power transmission cables", *PhD Thesis*, Department of Electronic and Computer Engineering, Brunel University: London. 2001

저 자 소 개



정 채 균 (鄭彩均)

1973년 7월 14일 생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재, 독일 University of Siegen, Post-doc 연구원
Tel : (063) 850-6735
E-mail : chekyun@wonkwang.ac.kr



이 종 범 (李鍾範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1987~1990년 한국 전기연구원 지중송전연구실 실장. 현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수.
Tel : (063) 850-6735
E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr