

Wavelet 변환을 이용한 송전선로의 일시고장과 영구고장 검출에 관한 연구

조성빈* · 김철환*
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

A Study on the Detection of Transient Fault and Permanent Fault in Transmission Lines Using Wavelet Transform

Seong-Bin Cho* · Chul-Hwan Kim*
School of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan Univ.

Abstract - With conventional single pole auto-reclosure (SPAR), unsuccessful reclosure using a fixed dead time in the case of transient fault, or reclosure onto a permanent fault, may aggravate the potential damage to the system and equipment. In this respect, the research is needed to implement SPAR effectively. In this paper, we present a wavelet transform approach to detect and discriminate between transient fault and permanent fault in transmission lines.

전류값이 매우 작으며, 1차 아크에 의해 이온화된 고온의 가스에서 2차 아크가 발생하기 때문에 2차 아크는 오랫동안 전기가 계속되지는 않는다. 또한, 2차 아크 소호와 함께 아크 회복전압이 감소됨에 따라 2차 아크의 최종 소호가 이루어지게 된다. 2차 아크의 소호는 단상 자동재폐로 동안의 건전상에 대한 용량성, 유도성 결합 및 아크 파라미터들의 시변성에 의해 영향을 받는다(4).

1. 서론

국·내외의 학술지 및 문헌에 의하면, 송전선로의 뇌서지에 의한 1회선 아크접지사고(일시적 1회선 아크사고)의 비율이 대기 중에서 발생하는 송전선로의 고장의 85%를 넘고, 이 중 일시적 1선지락 아크사고의 비율은 70%를 넘는 것으로 집계되고 있다. 이러한 일시적 1선지락 아크사고가 발생한 경우에 대책으로 단상 자동재폐로 방식을 이용하고 있다. 현재 사용되고 있는 단상 자동재폐로 방식은 사고가 발생하면 차단기로 사고를 차단하고 일정시간(Dead Time)이 지나면 자동적으로 재폐로를 수행하고 있다(1).

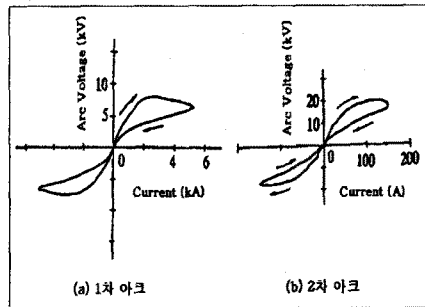


그림 1. 아크의 전압-전류 특성 곡선

기존의 단상 자동재폐로 방식은 일시고장시에 고장이 완전히 제거되지 않은 상태에서 재폐로를 하거나 영구고장임에도 불구하고 재폐로를 수행함으로써 전력시스템의 안정도와 전력설비에 막대한 손실을 줄 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 따라서, 단상 자동재폐로를 효율적으로 수행할 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있다.

3. 고장사고 시뮬레이션

3.1 모델 계통도

시뮬레이션을 한 모델 계통은 현재 1999년 4월 완공을 목표로 건설중인 신가평과 신태백 구간으로 2006년의 예상 최고 부하시 조류계산을 바탕으로한 765[kV] 실제용 송전선로이다.

2. 아크 특성

2.1 1차 아크특성

전력계통에서 선로에 뇌서지가 유입되어 일시적으로 절연이 파괴되었다가 회복되는 일시고장사고가 발생한 경우에, 차단기에 의해 제거되기 전의 사고 파형을 1차 아크라고 한다. 사고 파형은 차단기가 동작하기 전이므로 매우 큰 사고전류를 나타내게 된다. 일반적으로 전압-전류의 특성은 히스테리시스 루프를 나타내며, 전류가 증가하는 동안 전압은 거의 일정하나, 전류가 감소하는 부분에서 전압은 전류와 비례관계를 나타낸다(4).

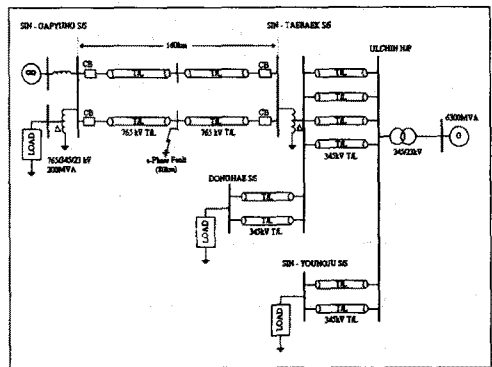


그림 2. 모델 계통도

2.2 2차 아크특성

일시고장시에 차단기가 동작하여 1차 아크가 제거되고 2차아크가 발생하게 된다. 1차 아크와 마찬가지로 히스테리시스 곡선을 보이지만, 1차 아크에 비해 사고

선로정수는 실제용 모델의 실제 선로정수이며, 기본 주파수 60[Hz], 64샘플링으로 데이터 카드를 구성하였

다. 일시적인 1선 지락사고의 모델링은 Johns와 Aggarwal의 아크모델을 이용하여 모의되었으며, 영구 고장은 1선지락, 2선지락, 선간단락, 3선지락 등을 모의하였다. 신가평-신대백간 선로의 길이는 160[Km]이며, 중간지점인 80[Km]에서 고장을 모의하였다[4].

3.2 시뮬레이션 결과

그림3은 신가평-신대백 구간의 중간지점인 80[Km]에서 모의한 일시적인 a상 1선 지락사고를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 0.1[s]에 사고가 발생하여 1차 아크가 발생하였고 0.3[s]에 차단기가 동작하여 선로를 차단하였다. 하지만 선로는 상호연결된 캐퍼시터를 통하여 계속하여 2차 아크전류가 흐르게 되고 계전점에서 측정 시 그림3과 같이 2차 아크전압 파형이 나타나게 되고 0.988[s]에서 2차아크는 자동소호되며, 이후 DC off-set 을 지닌 정현파 형태의 전압 파형이 지속된다.

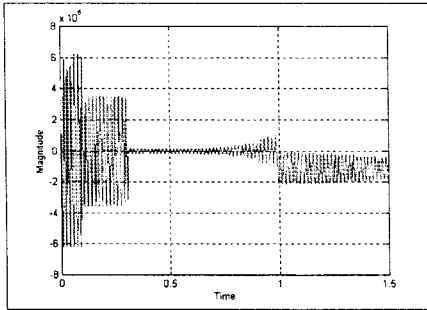


그림 3. 일시적인 1선지락 아크사고시 전압 파형(a상)

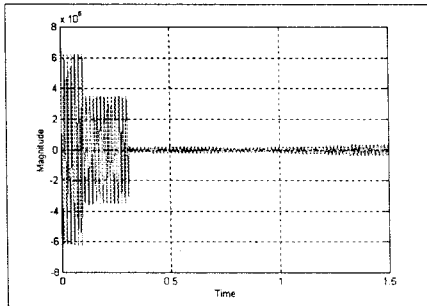


그림 4. 영구적인 1선 지락사고시 전압 파형(a상)

그림4는 영구고장의 한 예를 보여주는 것으로써 a상 1선 지락사고시 a상 전압 파형을 보여주고 있다. 영구 고장인 경우에는 차단기가 동작한 이후에 거의 정현적인 전압 파형이 지속됨을 알 수 있다. 일시고장과 영구고장시의 가장 큰 특징은 차단기가 동작한 후 일시고장인 경우에는 고조파 성분을 포함하는 아크 전압 파형이 보여지고 있는 반면에 영구고장시에는 거의 정현파에 가까운 파형이 보여지고 있다는 점이다.

4. Wavelet 분석을 이용한 일시고장과 영구고장의 검출 및 판별 결과

4.1 Wavelet 변환을 이용한 고장 검출

Wavelet 변환을 이용하여 일시고장과 영구고장의 특징을 추출하기 위해 일시고장시에 2차 아크전압이 점점 증가하는 시점에서부터 2차 아크가 소호된 이후까지의

데이터, 즉 0.5-1.2[s]까지의 데이터를 입력으로 하여 분석하였고, 판별을 위한 특징추출을 위해 검출되어진 파형을 -10~10의 크기로 정규화하여 도시하였다.

Wavelet 분석에 이용된 마더 웨이블렛(mother wavelet)은 db4이며, 1~12[level]까지를 분석해 본 결과 3[level]에서 가장 좋은 특징이 출력됨을 알 수 있었다.

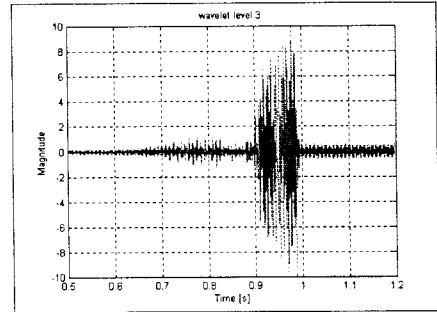


그림 5. 일시고장시 Wavelet 분석 결과(a상 1선 아크사고)

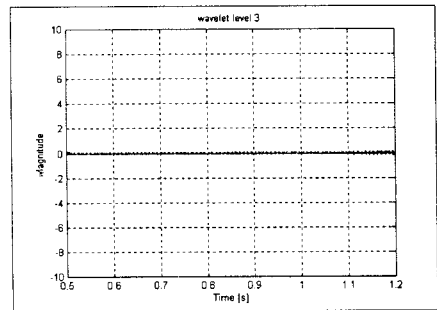


그림 6. 영구고장시 Wavelet 분석 결과(a상 1선지락)

일시고장시에 Wavelet 분석 결과를 보면 2차 아크전압이 최종 소호되는 시점에서 웨이블렛 계수값들이 크게 나타남을 알 수 있다. 반면에, 영구고장시에는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

Wavelet 분석을 통해서 그림5와 그림6에서 보듯이, 일시고장과 영구고장을 판별할 수 있는 명확한 특징추출이 이루어졌음을 알 수 있다.

4.2 일시고장과 영구고장의 판별

일시고장과 영구고장을 판별하기 위해 Wavelet 분석을 통해 추출되어진 웨이블렛 계수들의 값들을 주기당 실효치를 계산하였으며, 1 샘플씩 moving window 하면서 시간적으로 변화하는 실효치 성분의 크기를 이용하여 일시고장과 영구고장을 판별하였다.

일시고장과 영구고장의 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 [km]에 각각의 고장에 대해 모의하고 위에서 설명한 과정과 마찬가지로 실효치를 분석한 결과를 토대로 하여 실효치가 1보다 클 때 출력을 1로 하고 1보다 작으면 0으로 출력하도록 프로그램을 수행하였다. 1값은 재폐로를 수행하라는 신호이며, 0은 재폐로를 수행하지 않고 선로를 차폐시키라는 신호가 된다.

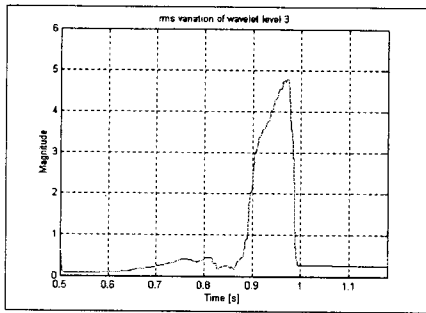


그림 7. Wavelet 계수값들의 실효치 변화(일시고장)

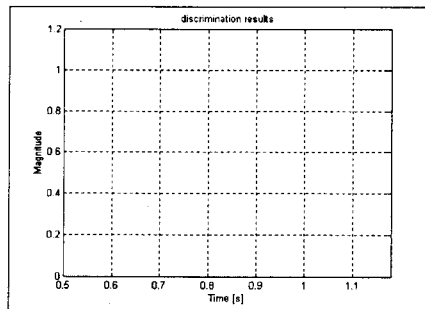


그림 10. 판별 결과(영구고장)

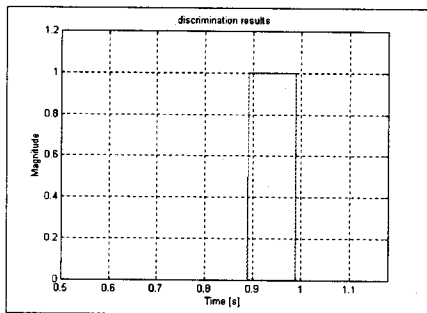


그림 8. 판별 결과(일시고장)

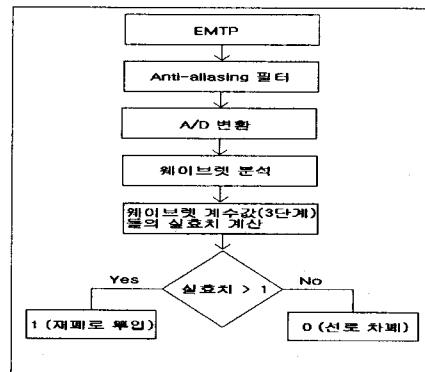


그림 11. 연구 수행도

일시고장시에 Wavelet 계수값들의 변화를 보면 2차 아크가 소멸되기 전 단계에서 높은 계수값들을 가짐을 알 수 있다. 그림7에서 볼 수 있듯이 아크가 소멸되는 시점에서 Wavelet 계수값들의 실효치가 1값을 넘고 있음을 알 수 있고, 다른 경우들에 대해서도 공통적으로 1 값이 넘는 경우를 일시고장으로 판별하면 적당하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 그림8과 같이 일시고장을 판별 하고 있음을 알 수 있다.

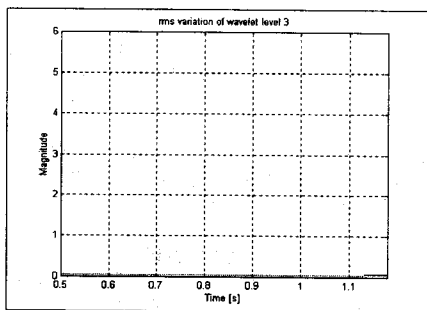


그림 9. Wavelet 계수값들의 실효치 변화(영구고장)

영구고장인 경우에는 Wavelet 계수값들의 실효치가 일시고장인 경우보다 매우 작은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 영구고장시에도 차단기가 동작하여 선로를 차단하지만 뇌서지에 의해 발생하는 일시고장 사고인 경우에 비해 아크전압이 작기 때문에 Wavelet 계수값들은 작은 값을 나타내며 그림 9와 같이 실효치의 변화를 보여준다.

5. 결 론

이상에서 보는 바와 같이 Wavelet 분석을 이용한 일시고장과 영구고장의 검출 및 판별은 성공적으로 수행되었다. 본 논문의 취지는 송전선로에서의 효율적인 재폐로를 위한 일시고장과 영구고장의 검출 및 판별에 있었으며, 이를 통해 일시고장시에 재폐로를 수행하고 영구고장시에 선로를 차폐시킴으로써 기존의 재폐로 방식에 비해 향상된 기법을 제시하였다. 앞으로 3상 재폐로와 다상 재폐로 방식의 연구에도 크게 기여할 것이라 여겨진다. 좀 더 실용적인 연구를 위해서 많은 실제용 데이터를 이용한 분석이 절실히 요구되며, 재폐로에 따른 선로의 안정도에 대한 연구도 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. T. Johns and R. K. Aggarwal, "Design and Implementation of an Adaptive Single Pole Autoreclosure Technique for Transmission Lines using Artificial Neural Networks", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, 748-755, April, 1996, pp.
- [2] I. K. Yu and Y. H. Song "Wavelet Analysis and Neural Network based Adaptive Singlepole Autoreclosure Scheme for EHV Transmission Systems", Electrical & Systems, Vol. 20, No. 7, pp. 465-474, 1998.
- [3] 한국전력공사 기술연구원, "765kV 초고압 보호계전 방식에 관한 연구", 최종보고서, 1994년 12월.
- [4] 안상필, 김철환, "EMTP MODES를 이용한 2차 아크 모델링 기법에 관한 연구", 성균관대학교 논문집, 과학기술편 제 49호, No. 2, pp. 41-52, 1998.