

웨이브릿 변환과 신경망 학습을 이용한 고저항 지락사고 검출에 관한 연구

총 대승*, 유창완, 고재호, 임화영
광운대학교 제어계측공학과

A Study on High Impedance Fault Detection using Wavelet Transform and Neural-Network

Dae-Seung Hong*, Chang-Wan Ryu, Jae-Ho Ko, Wha-Yeong Yim.
Dept. of Control and Instrumentation Eng. Kwangwoon University

Abstract - The analysis of distribution line faults is essential to the proper protection of power system. A high impedance fault(HIF) does not make enough current to cause conventional protective device. It is well known that undesirable operating conditions and certain types of faults on electric distribution feeders cannot be detected by using conventional protection system. This paper describes an algorithm using neural network for pattern recognition and detection of high impedance faults. Wavelet transform analysis gives the time-scale information. Time-scale representation of high impedance faults can detect easily and localize correctly the fault waveform.

1. 서 론

전력계통에서 고저항 고장(High Impedance Fault : HIF)은 고장 전류가 작은 아크성 특징 때문에 고장 전류의 크기에 의존하는 기준의 계전 방식으로는 검출이 불가능하다. 특히, 3상 4선식 다중접지 방식인 우리나라 배전 선로에서의 고저항 지락사고는 고장 전류와 부하 전류와의 구별이 어려운 문제점이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

고저항 지락 사고를 검출하기 위한 기준의 연구에는 고조파 신호의 증가를 검출해 내는 방법, 3조파, 5조파, 7조파 성분의 증가를 검출해 내는 방법, 고저항 고장 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)을 통해 얻어진 고조파를 이용하여 고저항 사고를 검출하는 연구들이 있으나, 현재까지 완벽한 해결책은 없는 실정이다. 특히 FFT를 이용한 고저항 지락사고 검출시에도 검출된 고조파가 고저항 사고에 의해 발생한 고조파인지, 비선형 부하에 의해 발생한 고조파인지 판단하기 어려운 문제점이 있다.

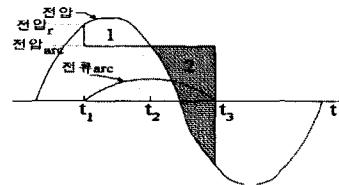
본 논문에서는 전압파형의 파고치 부근에서 아크가 발생되는 점에 착안하여 1주기의 전류 파형을 파고치 부근으로 4등분한 후 Wavelet Packet을 이용하여 각 구간의 고조파 전류의 계수 값을 추출하였고, 추출된 고조파 전류의 계수 값을 고장 검출의 변수로서 신경회로망에 학습시켜 고장 판별을 하였으며, 신경망 회로 구성에는 역전파 알고리즘(Back-Propagation) 학습법을 사용하고, 실측 데이터를 이용하여 검출성능 및 정확도를 높일 수 있는 가능성을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 아크 전류의 특성

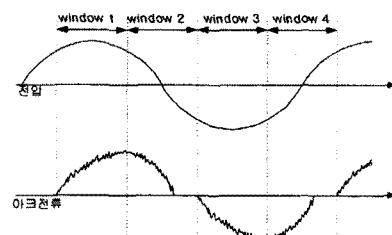
기준의 주파수 분포 특성을 이용한 고저항 지락사고 검출 기법은 1주기 전체에 대한 주파수 분포 특성을 고려하여 비슷한 고조파 분포가 나타나는 캐페시터 스위칭

등의 일반 부하와 구별이 불가능한 문제점이 있었다. 그러나 고저항 지락 사고시 아크성 전류는 매 주기마다 전압이 높을 때 발생하기 시작하여 서서히 소멸하는 [그림 1]과 같은 특성을 보이므로, 전압의 변화율에 비례하는 캐페시터 스위칭 전류는 파고치 전압일 때가 오히려 적어지는 현상을 보이는 것으로 구별된 특성을 가지고 있다.



(그림 1). 지속 아크의 파형

따라서 본 논문에서는 아크성 전류를 검출하기 위해 [그림 2]와 같이 1 주기마다 전압이 파고치의 부근과 나머지 구간을 2등분하여 4개의 데이터 윈도우(data window)를 정하고, 각 윈도우의 전류 데이터를 Wavelet Packet을 이용하여 고조파 성분을 추출하였다. 한 주기 내에서 파고치 구간(윈도우 1, 윈도우 3)과 나머지 구간(윈도우 2, 윈도우 4)의 전류의 주파수 분포 특성 변화를 고장 검출 인자로 사용하였다.



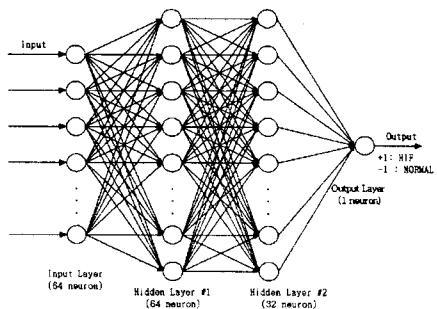
(그림 2) 데이터 윈도우

2.2 역전파 신경 회로망 학습 알고리즘

신경 회로망은 학습 시키고자 하는 입력 성분들과 그에 해당하는 출력소자들, 그리고 이를 연결시켜주는 회로망으로 구성된다. 역전파 학습 방법은 [그림 3]과 같이 입력층(Input layer)과 출력층(Output layer) 사이에 은닉층(Hidden layer)을 두어서 여러 단자를 통하여 입력과 출력을 연결시켜 출력과 입력 간의 차이 즉, 오차(ϵ)를 최소화하도록 가중치를 조절해준다.

고저항 지락 사고시의 실측 데이터 즉, 보도불리, 자갈, 모래 지락 등에서의 다양한 형태의 사고파형들을 파고치 부근의 고조파 성분의 크기와 나머지 구간의 고조파 성분의 그기를 추출해 주파수 분포 특성 변화를 신경

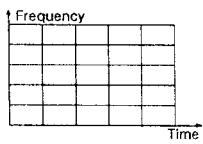
망 회로의 입력으로 인가하여 출력이 1이 되도록 학습시키고, 또한 정상 상태에서의 데이터에 대하여 고조파 성분의 크기를 입력시켜 출력이 -1로 하는 신경망의 가중치를 계산하였다.



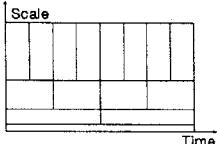
(그림 3) 역전파 신경회로망의 구조

2.3 Wavelet Transform

기존의 고저항 지락사고 검출 시 시간영역에서 직접 검출 또는 신호에 포함되어 있는 주파수 정보만을 구하는 방법(Fourier Transform)은 그 적용범위에 있어 제약을 가진다. 그 제약을 극복하기 위하여 개발된 WDFT(Windowed Discrete Fourier Transform)은 [그림4]와 같이 윈도우 함수가 시간축을 따라 이동함으로써 시간축에서의 분해능을 결정하는 윈도우 함수의 길이와 스펙트럼에서의 주파수 분해능을 분석할 신호에 따라 적절히 선택해야 한다.



(그림 4) WDFT

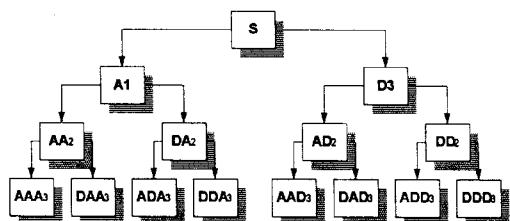


(그림 5) MRA

그러나 고저항 지락사고는 순간적이거나 돌발적인 형태로 기본주파수에 실려 짧은 시간 발생하게 되며, 이를 사고 파형은 일반적으로 기본 주파수 보다 높은 고주파 성분을 나타내므로 전 구간에 걸쳐 동일한 분해능을 가지고 검출해 낼수는 없다. 그러므로, 이러한 낮은 주파수성분은 낮은 분해능으로, 높은 주파수 성분은 높은 분해능으로 해석하는 MRA(Multiresolution Analysis) 기법을 적용할 필요가 있다. Wavelet transform은 [그림5]와 같이 시간-scale 표현이 가능하다.

2.3.1 Wavelet Packet

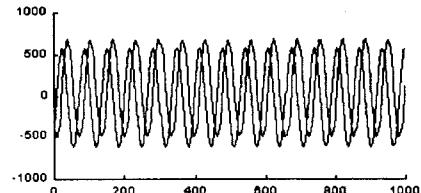
고저항 지락사고 파형을 [그림 2]에서와 같이 재구성하여 Wavelet packet을 이용한 분해과정을 거친다. 분해과정은 고주파, 저주파 영역을 [그림 6]과 같이 연속적으로 분해하여 표현된다..



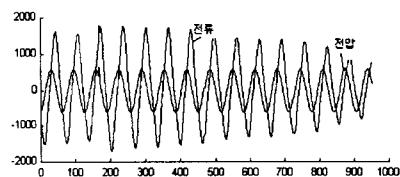
(그림 6) Wavelet Packet Decomposition

2.4 고저항 지락사고 예제

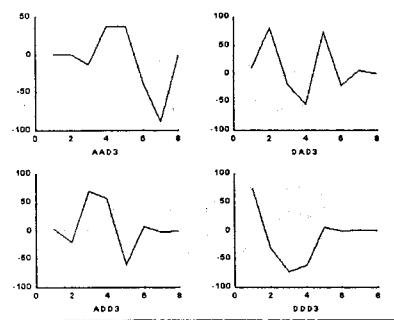
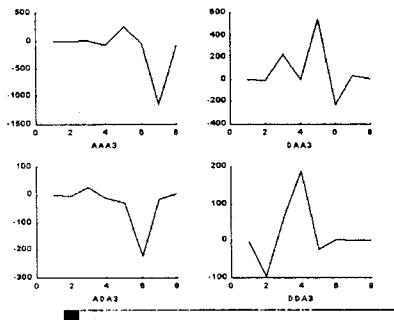
[그림7]의 정상부하의 전압/전류 파형과 [그림8]의 자갈-모래 고저항 지락사고 파형을 비교해 부근과 나머지 구간을 윈도우를 취하여 재구성하여 Daubichies wavelet을 기본으로 한 wavelet packet 결과를 [그림9]에 나타내었다.



(그림 7) 정상 부하의 전압/전류 파형



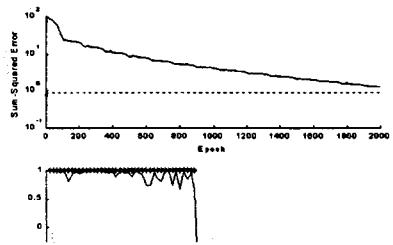
(그림 8) 자갈, 모래 고저항 지락사고시의 전압/전류 파형



(그림 9) Wavelet packet 결과

[그림 10]의 신경망 입력으로 wavelet packet을 이용하여 Neural-Network의 학습과정을 통한 최적화된 가중치를 얻는 과정을 보여준다.

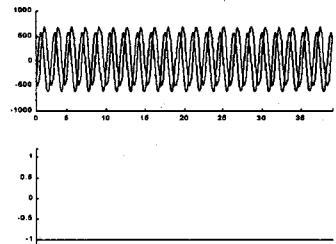
고저항 지락 사고파형은 '1'값, 정상파형은 '-1'로 신경망의 출력을 정하고 각 가중치를 학습시켜 최적화하고, 이 가중치를 이용하여 각각의 실측 고저항 지락사고 파형을 사례연구에서 유형별로 사고여부를 판별해 보았다.



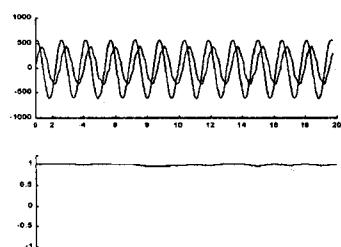
(그림 10) NN의 가중치 학습결과

2.5 사례 연구

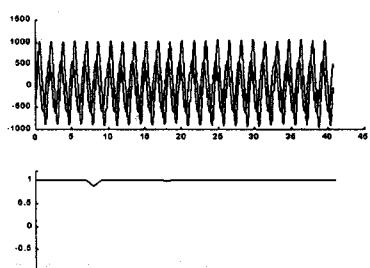
본 논문에서는 파고치 부근에서의 고장파 성분과 전압이 낮은 위치에서의 고장파 성분의 크기를 고장 검출 변수로써 신경 회로망에 학습시켜 출력이 1이면 사고, -1이면 정상상태로 고장판별을 시도하였다. 정상 상태와 실측 사고 파형들에 적용했을 때 결과를 그림에서 나타냈으며, 출력이 1에 가까운 값이 나올수록 사고일 가능성이 높은 것이다.



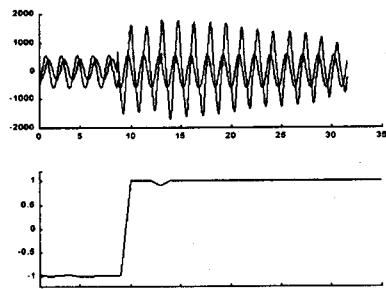
(그림 11) 정상부하의 전류
파형과 사고 판단 출력



(그림 12) 아스팔트 고저항
지락사고시 파형과 사고판단 출력



(그림 13) 보도불력 고장 지락시
파형과 사고판단 출력



(그림 14) 자갈·모래 고장 지락시
파형과 사고판단 출력

3. 결 론

본 논문에서 학습 능력을 가진 신경회로망을 써서 고저항 고장 판별을 시도하였다. 고저항 고장시 실측된 여러 형태의 사고 파형 중 전류 파형 1주기를 4등분한 후 wavelet packet을 이용하여 고주파 및 저주파 성분으로 분류하여 각 구간의 전류의 분포 특성 변화를 고장 검출 변수로 적용하여 검출 성능 및 정확도를 높일 수 있었다. 신경회로망의 학습 방법으로 역전파 알고리즘을 이용하였으며, 다양한 형태의 고저항 고장에 대해 복잡한 수식적 해석이 없이도 검출이 가능하고, 학습되지 않은 다른 형태에 고장에 대해서도 고장 판별이 가능하도록 하였다.

Wavelet packet을 결과를 적용하여 신경망의 입력을 결정하였으나, 너무나 많은 입력으로 인하여 학습속도가 느린 단점을 극복하기 위해 입력선택을 하는 과정이 추가화제로 남는다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. Mike Aucoin and B. Don Russell, "Distribution High Impedance Fault Detection Utilizing High Frequency Current Components". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 101, No.6, pp.1596-1606, Jun. 1982
- [2] "High Impedance Fault Detection Using Third Harmonic Current", Electric Power Research Institute Report EL-2430, Prepared by Hughes Aircraft Co., Jun. 1982
- [3] B. Mike Aucoin and B. Don Russell, "Detection of Distribution High Impedance Faults Using Burst Noise Signals Near 60Hz", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.2, pp.342-348, Apr. 1987
- [4] S. J. Balser, K. A. Clements and D. J. Lawrence, "A Microprocessor-based Technique for Detection of High Impedance Faults", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, pp.252-258, Jul. 1986.
- [5] Huang, C. L., Chu, H. Y., Chen, M. T. "Algorithm comparison for high impedance fault detection based on staged fault test", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, No.4, Oct. 1988.
- [6] Russel, B. D., Chinchali, R. P. "A digital signal processing algorithm for detecting arcing faults on power distribution feeders". IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.4, No.1, Jan. 1989.
- [7] 임화영, 유창완, 고재호, "전력계통의 고임피던스 고장 검출 기법에 관한 연구", 대한전기학회지, 48A권 1호, 15-21, 1999년 1월
- [8] C. Sidney Burrus, Remesh A. Gopinath, Haitao Guo, "Introduction to wavelets and wavelet transforms", Prentice Hall, Inc. 1998