

웨이블릿 변환을 이용한 누전점 검출에 관한 연구

박건우*, 김일권*, 김진수*, 김광순*, 김영일**
(주)케이디파워*, 대림대학**

A Study on the Method for Detecting of Leakage Point using Wavelet Transforms

Keon-Woo Park*, Il-Kwon Kim, Jin-Su Kim, Kwang-Soon Kim, Young-Il Kim**
KD Power Co.,LTD.*, DaeLim College**

Abstract - Wavelet transform is a new method for power system analysis. On the basis of extensive investigation, optimal mother wavelets for the detection of leakage current are chosen. The recommended mother wavelet is 'Daubechies 4' wavelet. This paper proposes a technique for modeling toe finding point of leakage current in distribution system using wavelet transform and EMTP MODELS.

1. 서 론

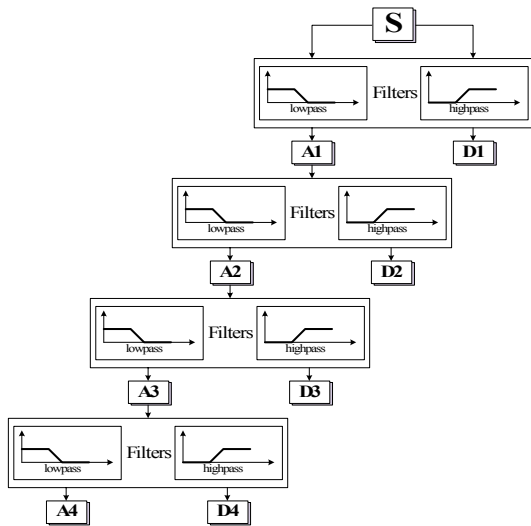
최근 국내에서는 설비의 노후 및 시공 불량으로 인한 누전이 발생하고 있다. 하지만, 이러한 누전에 있어서 발생 지점을 찾기란 매우 힘든 일이다. 본 연구에서 이용한 웨이블릿 변환은 전력계통의 고장과 같은 외란에 연관된 과도현상을 분석하기 위한 방법으로 가변적인 분해능을 사용 함으로서, 누전의 발생에 따른 특이점을 검출 할 수 있다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 전력계통 과도현상 프로그램인 EMTP를 이용하여 누전점 검출 및 그 결과를 검증하였다.

2. 본 론

2.1 웨이블릿 변환

디스크리트 웨이블릿 트랜스포(DWT : Discrete Wavelet Transforms)의 기본적인 동작은 n개의 샘플을 갖는 이산 신호에 적용된다. 신호에 대해 한 쌍의 필터를 적용시켜 저주파 대역과 고주파 대역으로 분리한다. 각 대역은 2라는 요소로 서브 샘플링 되었으므로 n/2개의 샘플을 포함한다.



<그림 1> 웨이블릿을 이용한 분해와 합성

2차원 이미지의 각 행에 대해 저역 통과 필터와 고역통과 필터를 적용시키고 2로 다운 샘플링을 수행하면 4개의 서브 이미지 LL, LH, HL, HH가 생성된다. 이러한 4개의 서브 밴드 이미지를 결합하여 원본 이미지와 동일한 샘플의 개수를 갖는 출력 이미지가 만들어진다.

여기서, LL은 원본 이미지에 수평과 수직방향으로 저역 통과 필터를 적용하여 2로 서브 샘플링한 것이고, HL은 수직방향으로 고역 통과 필터를 적용한 것으로 수직 방향의 주파수의 오차 성분을 포함하며, LH는 수평 방향으로 고역 통과 필터를 적용한 것으로 수평방향 주파수의 오

차 성분을 포함한다. 또, HH는 수평과 수직 방향에 고역 통과 필터를 적용한 것이다[1].

본 연구에서 누전점 검출을 위해 필요한 정보로서 전원측과 부하측의 전압 및 전류 성분이 필요하다. 하지만, 누전이 발생한 이후의 전압 및 전류 성분은 고조파 및 고주파 성분이 많이 삽입되어 있기 때문에 원신호를 추출하기가 매우 어려운 시점이다.

웨이블릿 변환은 임의의 특정 대역대의 신호를 시간영역에서 관찰하므로서, 특정 대역대 신호의 분해 및 합성이 용이하고, 원신호 추출이 가능한 장점을 가진다. 따라서, 웨이블릿 변환을 이용하여 전원측과 부하측의 전압 및 전류 성분에서 원신호를 검출하여 웨이블릿 변환된 값을 이용하여 누전점을 검출한다.

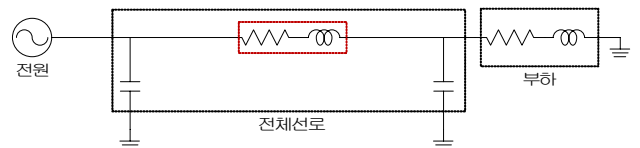
웨이블릿 변환은 원신호와 마더 웨이블릿과 유사성을 측정하는 것이므로 원신호 성분 즉, 기본과 성분을 추출하기 위해서 마더 웨이블릿의 스케일링되고 트랜스레이션된 웨이블릿들이 어떠한 주파수 성분을 포함하는지 알 필요가 있다. 본 연구에서는 기본과 성분 추출에 초점을 맞추어 60[Hz]의 성분을 포함하는 레벨까지만 분석을 수행하고, 이로부터 전압 및 전류의 기본과 성분을 얻는 방법을 취하였다.

본 연구에 사용된 마더 웨이블릿은 'Daubechies' 웨이블릿 중 'db4' 성분이다. 다음 그림 1은 웨이블릿 변환을 이용한 신호의 분해와 합성을 나타낸 것이다.

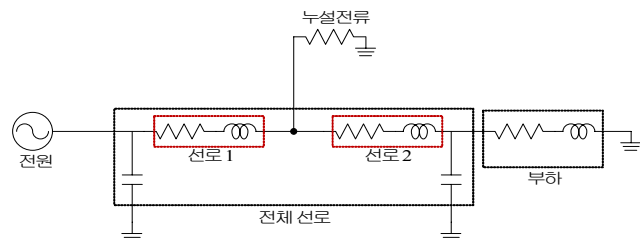
그림 1에서 D1, D2, D3, D4의 출력 부분이 웨이블릿 함수를 나타내며, A1, A2, A3, A4 성분이 스케일 함수에 의해 분해된 성분을 나타내고 있다. 여기서, 4차에 해당하는 A4성분이 외란(누전)에 의해 발생하는 고조파 성분을 제거한 기본과 성분을 의미한다.

2.2 등가회로 해석

다음 그림 2는 일반적인 배전계통 선로의 임피던스 해석 회로도를 나타낸 것으로, 전원부, 선로 그리고 부하로 구성되어 있다. 현재 우리나라의 배전계통은 3상 4선식 π형으로 구성되어 있으므로, 선로의 일부분에서 누전이 발생한다면 다음 그림 3에서 나타낸 것과 같이 임피던스 등가회로가 바뀌게 된다. 즉, 선로 임의의 지점에서 누전이 발생되면 누전 발생점을 기준으로 선로 1과 선로 2로 분리되어 각각의 임피던스를 가지게 된다.



<그림 2> 누전발생 이전의 등가회로



<그림 3> 누전발생 이후의 등가회로

그림 3에서 보는 바와 같이, 선로 1을 제외한 선로 2와 부하 그리고 누설전류는 병렬회로로 구성되는 것을 알 수 있다. 여기서, 전원, 누설전

류의 크기, 부하의 용량, 전체 선로길이에 대한 선로 정수는 알 수 있으므로 누전 발생지점을 찾기 위해 선로 1과 선로 2의 길이에 대한 선로 정수를 계산 하는 것이 가능하다. 즉, 전류 및 전압 분배 법칙을 이용하여 선로 1의 저항성분을 산출하고, 이로부터 선로 1의 선로정수를 계산 해서 전체 선로정수에 대한 비를 확인해 보면 현재의 누전 발생 위치를 찾을 수 있다.

누전 발생 이후의 전압과 전류에는 많은 고조파가 삽입되기 때문에, 웨이블릿 변환을 이용하여 외란이 제거된 누설전류, 전체 부하의 용량 그리고 부하의 용량을 계산한다.

여기서, 전체 부하의 용량에는 선로 임피던스가 포함이 되어 있으며, 부하의 용량에는 실제 사용되는 부하의 용량만을 의미한다. 또한 선로 정수는 선로의 종류에 따라 다르기 때문에, EMTP의 Line Constant를 이용하여 선로정수를 검출하였다[2].

다음 식 1은 누전 발생계통에서의 전체 임피던스를 계산하는 식이다.

$$Z_{total} = Z_{line1} + \left[\frac{(Z_{line2} + Z_{load}) \times Z_{leak}}{(Z_{line2} + Z_{load} + Z_{leak})} \right] \quad (1)$$

식 1에서, 선로 1과 선로 2의 임피던스를 알지 못하지만, 선로 전체의 임피던스를 알기 때문에 다음 식 2와 같이 생각할 수 있다.

$$Z_{line} = Z_{line1} + Z_{line2} \quad (2)$$

식 2를 식 1에 대입하면 아래 식 3과 같다.

$$Z_{total} = Z_{line1} + \left[\frac{(Z_{line} - Z_{line1} + Z_{load}) \times Z_{leak}}{(Z_{line} - Z_{line1} + Z_{load} + Z_{leak})} \right] \quad (3)$$

위의 식 3을 정리하게 되면 다음 식 4와 같다.

$$Z_{line1}^2 - Z_{line1}(Z_{total} + Z_{line} + Z_{load}) - Z_{total}(Z_{line} + Z_{load} + Z_{leak}) - Z_{leak}(Z_{line} + Z_{load}) = 0 \quad (4)$$

여기서, 선로 1에 대해 정리를 하기위해 식 5와 같은 근의 공식을 사용하게 된다. 또한 여기서 두 개의 근이 도출되는데 저항 성분 중에 음의 성분이 없기 때문에 양의 성분만을 이용한다.

$$Z_{line1} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (5)$$

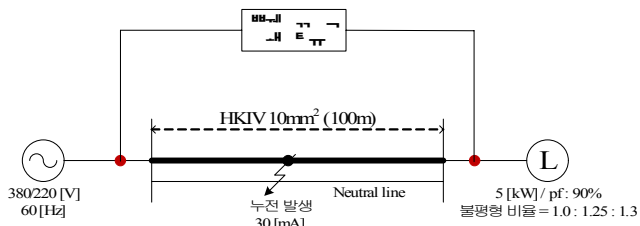
여기서,

$$b = Z_{line} + Z_{load} + Z_{total}$$

$$c = Z_{total}(Z_{line} + Z_{load} + Z_{leak}) - Z_{leak}(Z_{line} + Z_{load})$$

2.3 누전점 검출 알고리즘

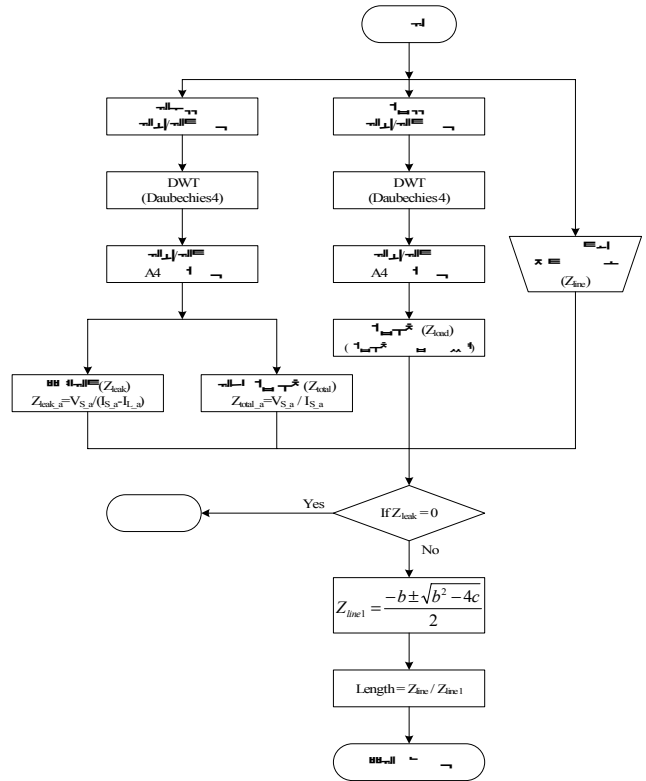
본 연구는 누설전류 발생 위치를 검출하는 것으로서, 계통선로상에 누전이 발생하지 않는다면 그 검출 동작을 종료하고, 누설전류가 발생하면 누설전류 검출 동작을 수행하게 된다. 다음 그림 4는 누전점 검출을 위한 모델계통을 나타내고 있다.



〈그림 4〉 누전점 검출을 위한 모델계통

본 연구에서 사용된 선로는 HKIV 10mm² 이며 부하의 용량은 3상 부하를 사용하며 3상 부하의 총 용량은 5[kW]로 설정하였다. 또한 누전은 A상에서 30[mA]로 설정하였다.

다음 그림 5는 누전점 검출에 대한 흐름도를 나타내고 있다.



〈그림 5〉 누전점 검출에 대한 흐름도

2.4 시뮬레이션 결과

표 1은 본 연구에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 총 선로의 길이를 100[m]를 기준으로 하여 10[m]간격으로 누전을 발생시켜 가면서 총 9번의 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

〈표 1〉 거리에 따른 시뮬레이션 결과

| 선로임피던스 (Ω : 실제값) | 선로임피던스 (Ω : 측정값) | 실제거리 (m) | 측정거리 (m) | 오차 (%) |
|---------------------|---------------------|-------------|-------------|-----------|
| 0.002645 | 0.002866 | 10 | 10.84 | 7.72 |
| 0.00529 | 0.005607 | 20 | 21.2 | 5.56 |
| 0.007935 | 0.008415 | 30 | 31.82 | 5.71 |
| 0.01058 | 0.011929 | 40 | 45.1 | 11.31 |
| 0.01322 | 0.014738 | 50 | 55.72 | 10.30 |
| 0.01587 | 0.01722 | 60 | 65.1 | 7.84 |
| 0.01851 | 0.01803 | 70 | 68.17 | -2.66 |
| 0.02116 | 0.022512 | 80 | 85.11 | 6.01 |
| 0.0238 | 0.025768 | 90 | 97.42 | 7.64 |

3. 결 론

본 논문에서는 전력계통에서 발생하는 누전의 위치를 검출하기 위한 방법으로 웨이블릿 변환을 이용하여 누전에 의해 발생하는 전원측과 부하측의 전압 및 전류의 고조파를 제거하여 외란이 없는 원신호를 추출할 수 있게 하는 웨이블릿 변환을 이용하여 누전점 검출 방법을 도출하였으며, 전력계통의 과도현상 프로그램 중의 하나인 EMTP를 이용하여 그 결과를 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강현배, 김대경, 서진근, “웨이블릿 이론과 응용”, 대우학술총서, 2003
- [2] EMTP Rule Book. 1983