

지중송전케이블 Fault Location을 위한 신호 전처리 기술 연구

이재덕, 유희석, 남기영, 정성환, 최상봉
한국전기연구원 지중시스템연구그룹

Signal Pre-processing for Fault Location on Underground Cable

Lee Jae Duck, RyooHee Suk, Nam Kee Young, Jeong Seong Hwan, Choi Sang Bong
Underground System Research Group, KERI

Abstract - 전력 케이블의 고장점 탐지를 상시 감시하고 있는 테이터로부터 on-line으로 할 수 있도록 하기 위한 전력 케이블 고장 신호의 전처리 기술 개발에 관하여 언급하였다. 고장 전류 파형을 모의하고 측정할 수 있는 케이블 고장 모의 측정 시스템을 구성하여 고장 전압과 전류 파형을 측정하였으며 측정된 신호로부터 고장 점을 보다 정확하고 빠르게 연산할 수 있도록 하기 위하여 down sampling, filtering 등 전처리 과정에 대하여 시뮬레이션하고 그 결과에 대하여 논하였다.

1. 서 론

전력 케이블 선로에서 케이블의 절연파괴, 상간 단락, 도체의 절단 등과 같은 고장이 발생하였을 때 고장이 발생한 위치를 찾아내는 것을 케이블 고장점 탐지라 한다.

전력 케이블의 사고는 그 파급 효과가 크기 때문에 보다 빠르고 정확한 검지 방법이 요구되며 따라서 지금까지 전력 케이블의 고장점 탐지를 위한 다양한 방법들이 연구되어 왔다.

종래에 주로 사용된 방법들은 전압비를 측정하는 방법, MURRAY LOOP법에 의한 Bridge 측정법, 커패시턴스 비율에 의한 방법, WURMBACH에 의한 전류방향 측정 방법 등이 있다. 이러한 측정 방법들은 전력 케이블의 단선 유무, 보조 도체의 유무, 고장점 저항의 고저에 따라서 적용 방법과 정확도가 다르며 되는 데 일반적으로 단선 고장일 경우에는 WURMBACH에 의한 전류 방향 측정 방법과 커패시턴스 비율에 의한 방법이 사용되며 지락 사고일 경우에는 MURRAY LOOP법에 의한 Bridge 측정법이 주로 사용된다. 그러나 이러한 종래의 고장점 탐지 방법은 정확도가 떨어지거나 측정하고자 하는 위치에서의 환경에 의해 영향을 받으며, 케이블이나 주변 설비에 영향을 주는 경우가 있는 등 실제 적용상의 어려움이 있어 새로운 고장점 탐지 방법들이 개발되게 되었다.

현재 상용화된 새로운 고장점 탐지 방법으로는 펄스 반사에 의한 고장점 탐지법이 있다. 펄스 반사법에 의한 고장점 탐지 방법은 펄스 신호의 반사원리에 근거를 두고 있다. 측정 장치에 의해서 발생된 충격파는 임피던스가 다른 케이블의 여러 부분, 예를 들어 고장점, 접속점, 가지점등과 같은 부분에서 반사되어 여러 가지 신호의 세기로 나타나는 것이다, 이러한 반사된 신호들은 부호와 크기에서 분명한 차이를 보이면서 오실로스코프의 화면에 나타나게 되며, 발생시키는 충격파에 따라서 전압을 이용하는 것과 전류를 이용하는 것으로 나누어진다. 이때 발생된 충격파의 입사와 반사파의 측정 시간으로 그 위치를 찾아내게 되는 것이다.

케이블에서의 파의 진행속도는 다음 식 (1)과 같이 유전율의 영향을 받게 되는데 유전율을 알고 반사되는 신호의 시간차를 측정하고 식 (2)를 이용하여 실제 고장 구간을 판별하는 원리를 이용한다.

$$v \propto \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

$$x = 2v \times t \quad (2)$$

여기에서 v는 충격파의 속도 (m/s), ε는 절연체의 유전율 c는 자유공간에서의 전파속도, x는 측정점에서 고장 위치까지의 거리, t는 반사파의 도달 시간을 나타낸다.

펄스 반사에 의한 고장점 탐지법은 높은 정확성을 가진다. 하지만 이 고장점 탐지 방법은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- i) 저저항 고장에서는 Low-voltage Pulse Radar를 적용할 경우 여전히 오차율이 크다.
- ii) 고전압 펄스를 이용한 방전검출형(discharge detecting pulse Radar)인 경우 고전압 펄스 발생장치가 필요하고 건전케이블에 높은 전압을 인가해야하며 이는 케이블과 인접 설비에 영향을 주게 된다.
- iii) 사고가 발생한 이후에 적용되는 방법이며 고장점 탐지 시 측정에 시간이 소요되어 사고 파급 효과가 여전히 존재한다.

따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고장시 발생하는 고장 전압 및 전류를 해석하여 고장 순간 고장점을 탐지할 수 있는 새로운 고장점 탐지 연구가 진행되고 있다. 이 방법은 케이블 고장에 의하여 일시적으로 발생하는 전압과 전류의 파형을 측정하여 고장점 거리를 산출하는 방법이다. 이 방법은 EPRI와 영국의 Brunel 대학에서 연구된 바 있다.

본 논문에서는 사고의 파급효과를 줄이기 위해 전력 케이블의 상태를 on-line으로 감시하고 사고 발생시에는 기록된 상시 감시 데이터를 분석하여 보다 빠르고 정확하게 고장점 탐지를 할 수 있는 새로운 고장점 탐지 기술 개발에 필요한 케이블 고장 신호 전처리 기술에 관하여 언급하고자 한다. 이하 2장에서는 새로운 고장점 탐지 기술의 개발에 필요한 실험 환경 및 개요에 관하여 언급하고 3장에서는 고장시 발생하는 측정된 파형 분석을 위한 전처리 기술에 관하여 언급하고자 한다.

2. 고장점 탐지를 위한 파형 측정 실험

전력 케이블의 상태를 on-line으로 측정, 기록하고 사고 시에는 기록된 데이터를 분석하여 고장점을 탐지할 수 있도록 하기 위해서는 기록되는 분석 데이터의 양이 많지 않고, 실시간 처리가 가능해야하며, 또 파형의 도달 시간을 정확하게 계산할 수 있는 신호 처리 방법이 요구된다. 고장점 탐지 방법은 전력 케이블 양단에 설치된 탐지 장치에 도달하는 신호의 시간 차이와 케이블의 전파시간을 이용하여 계산되기 때문에 사고시 발생하는 과도 전압 혹은 전류 파형의 도달 시간을 얼마나 정확하게 계산할 수 있는지에 따라서 그 정확도와 효율성을 높일 수 있다. 따라서 사고시에 발생하는 파형의 형태를 분석할 필요가 있으며 이를 위하여 모의 사고를

발생하고 또 사고 파형을 측정할 수 있는 모의 측정 시스템을 구축하였다. 그림 1은 모의 사고를 발생하고 파형을 측정하기 위한 시스템의 구조를 나타낸다.

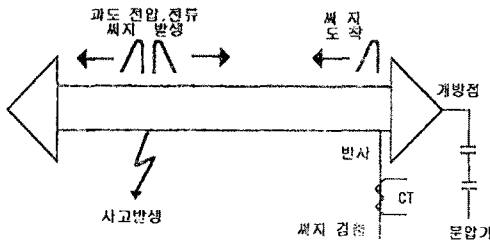


그림 1. 모의 사고 발생 및 측정 시스템 구조

실험은 전력 케이블, 특히 지중 송전선의 경우 단선 사고는 잘 일어나지 않고 주로 경년 변화나 침수 등의 원인에 의하여 발생하는 단락 사고가 주를 이루고 있는 점을 고려하여 단락 사고를 모의하여 실험하였다. 실험에 사용된 케이블은 전력 케이블 대신 지중 케이블과 구조가 유사한 RG 8/U shield 동축 케이블을 이용하였으며 케이블의 총 길이는 800m로 하였다. 파형의 측정은 20KV 정격의 고압 프로브와 100A 정격의 CT를 이용하여 전압 및 전류 파형을 모두 측정하였다. 측정 결과 전압 파형은 고주파 특성이 좋지 않았으나 전류 파형은 사고 모의 시에 나타나는 과도현상을 잘 나타내고 있음을 확인하였으며 본 논문에서도 이 전류 파형의 신호 처리 방법에 관하여 기술한다.

그림 2는 모의 사고 발생 및 측정 시스템을 이용하여 측정된 파형의 모양을 나타낸다.

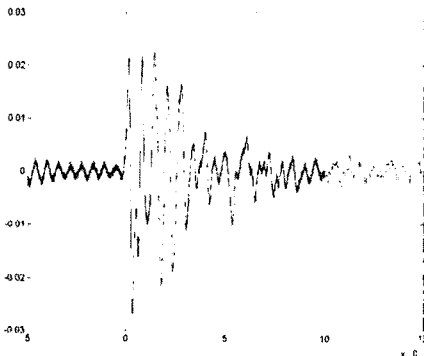


그림 2. 측정된 고장 전류 파형

그림 2의 전류 파형은 높은 고주파 성분을 포함하고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 5GHz sampling으로 얻어진 파형이며 주파수 분석을 하여보면 약 10Mhz 정도의 고주파 성분을 가지고 있음을 알 수 있다.

여러 가지 조건에서 실험을 하여 본 결과 고장 전류 측정 파형은 그림 2와 유사한 형태를 나타내었다. 본 논문에서는 이하 3장을 통하여 그림 2의 측정된 파형을 이용하여 고장 신호 전류 전처리에 관하여 언급한다.

3. 고장점 탐지를 위한 파형의 전처리

고장점 탐지에서 가장 중요한 요소는 고장 전류가 양단 측정점에 도달하는 시간차를 정확하게 측정하는 것이다. 그 외에도 고장 전류의 폭과 종단점 및 사고점과의 거리에 의하여 발생하는 반사와 간의 거리 등에 관한 정보의 추출 등 중요한 요소들이 있지만 무엇보다도 측

정점에 도달하는 전류 파형의 시간차를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 고장 전류의 도달 시간을 정확하게 측정하고 또 원하는 신호 성분만을 추출하기 위해서는 여러 단계의 신호 처리를 해야 한다. 이러한 신호처리 단계 중에서 중요한 몇 가지의 전처리 기술에 관하여 언급하고자 한다. 여기에서 언급하고자 하는 신호 처리 기술들을 굳이 전처리 과정으로 표현하는 것은 고장점 탐지를 위한 전체 과정이 다음 그림 3과 같이 진행되게 되는데 신호 전처리 과정은 고장 탐지 주처리 프로세스에서 빠르고 정확하게 고장점 탐지가 가능하도록 하기 위한 신호 처리를 수행하기 때문이다.

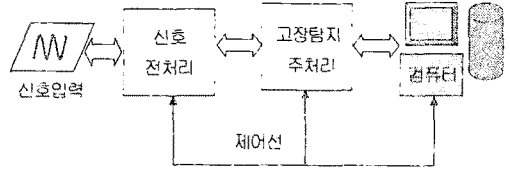


그림 3. 고장점 탐지를 위한 시스템 블록도

고장점 탐지 과정은 센서로부터 on line으로 신호가 입력되면 신호 전처리 과정을 수행한 다음 고장 탐지 주처리 프로세스로 데이터를 전달하고 주처리 프로세스가 도달 시간, 파형 분석 데이터를 종합하여 고장점을 탐지하며 주요 관련 사항들을 기록할 수 있도록 컴퓨터와 I/F 되도록 되어있다.

그림 4는 전처리 과정 중의 하나로서 그림 2에서 얻은 파형을 실시간 적으로 처리할 수 있도록 하기 위해 down sampling 과정과 정확한 도달 시간의 계산이 용이하도록 down sampling된 신호의 절대치를 취하여 얻은 파형을 나타낸다.

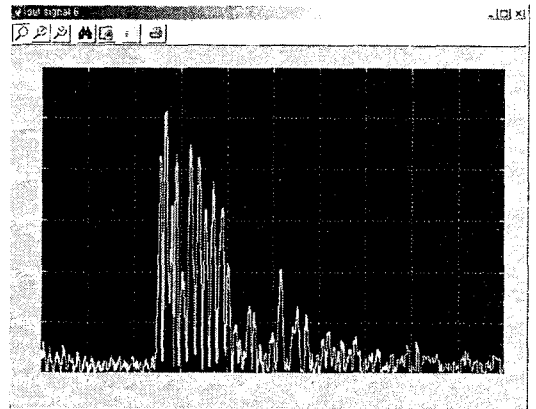


그림 4 down sampling과 절대치 처리를 한 파형

그림 2와 그림 4의 time scale이 다르게 나타난 것은 down sampling 다음의 시간축을 1으로 정규화 하였기 때문이며 실제 파형의 모양의 변화는 거의 생기지 않음을 확인하였다.

그림 4에 나타난 파형으로부터 고장점에 관한 원하는 정보를 추출하는 것은 여전히 어렵다. 실시간 처리 분해 및 신호 해석을 위한 많은 연산량이 부담으로 작용할 수밖에 없다.

따라서 실시간 처리에 적합하도록 하면서 보다 간편한 회로 구성에 의하여 고장점 탐지가 가능하도록 하기 위한 처리가 필요하다. 본 논문에서는 이것이 가능하도록 디지털 필터를 설계하였다.

디지털 필터는 앞서 양단에서 측정되는 고장 신호 전류의 시간 차이를 정확하게 측정할 수 있도록 해야 하는데 가장 기본적으로는 신호의 envelop가 변하지 않도록

록, 즉 파형의 모양이 변하지 않도록 하는데 중점을 두었다. 신호의 모양이 변하지 않도록 하기 위해서는 FIR 필터를 사용하여야 하는데 이 경우 필터의 차수를 길게 하면 차단 특성은 좋아지지만 필터에서의 지연 시간이 발생하여 이를 고려하여 차수가 크지 않도록 유의하여 설계하였다.

그림 5는 그림 3의 파형에 FIR low pass filtering을 하여 얻은 파형이다.

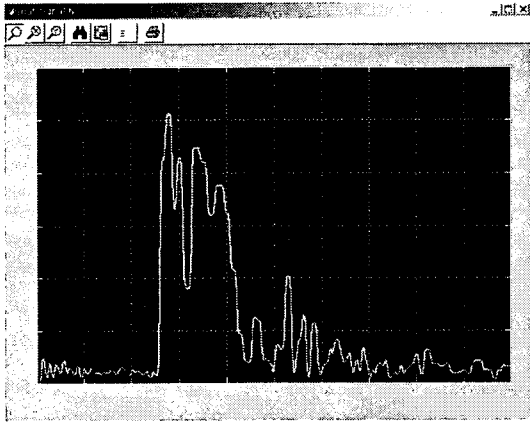


그림 5. Low pass filtering 결과 파형

그림 5는 그림 2 및 4과는 달리 낮은 주파수의 신호만을 주로 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 2의 파형과는 달리 단순하면서도 파형의 윤곽을 그대로 유지하고 있어 고장 전류 신호 해석에 유용하게 사용할 수 있다. 그림 4에 나타난 파형 중 두 번째 peak 파형은 고장 전류가 중단에서 반사된 파형으로 해석할 수 있는데 이 정보는 전처리 과정의 다음단과 그림 3의 고장점 주처리 프로세스에서 보다 정확한 사고 위치를 탐지하기 위해 사용되도록 처리된다.

고장점 탐지가 실시간으로 처리되기 위해서는 신호 전처리 과정과 고장점탐지 주처리 프로세스의 처리 및 연산량이 적어야 한다. 이를 위해서 그림 5에 나타난 low pass filtering된 파형은 더욱 손쉽게 처리될 수 있도록 단순화 과정을 거치게 되는데 평균값 처리 및 level shifting 과정을 거치게 된다.

3. 결 론

전력 케이블의 사고는 그 파급 효과가 크기 때문에 보다 빠르고 정확한 감지 방법이 요구된다. 그러나 지금까지 전력 케이블의 고장점 탐지를 위해 개발된 방법들은 on-line으로 케이블을 감시하고 사고 발생시에는 기록된 상시 감시 데이터를 분석하여 보다 빠르고 정확하게 고장점 탐지를 할 수 있는 기술의 개발이 미비한 상태이다.

본 논문에서는 전력 케이블의 고장점 탐지를 상시 감시하고 있는 데이터로부터 on-line으로 할 수 있도록 하기 위한 전력 케이블 고장 신호의 전처리 기술 개발에 관하여 언급하였다. 고장 전류 파형을 모의하고 측정할 수 있는 케이블 고장 모의 측정 시스템을 구성하여 고장 전압과 전류 파형을 측정하였으며 측정된 신호로부터 고장점을 보다 정확하고 빠르게 연산할 수 있도록 하기 위한 down sampling, filtering 등 전처리 과정에 대하여 시뮬레이션하고 그 결과에 대하여 논하였다.

앞으로 신호 전처리 과정을 통하여 얻어진 결과를 이용하여 전력 케이블, 특히 지중 송전 케이블의 고장점 탐지가 실시간으로 가능하도록 고장점탐지 시스템을 설계, 개발할 수 있도록 보다 심도있게 연구할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이준성, 문성철, 이종범, "154KV 지중송전케이블에서 wavelet을 이용한 Fault Location에 관한 연구", 전기학회논문지, 49권 12호 608 613, 2000년 12월
- [2] 김병천, 박남옥, 김철환, "MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 전기학회논문지, 51A권 4호 163 168, 2002년 4
- [3] 강용철, 남형열, 박종근, "EMTP를 이용한 전압원으로서의 배전계통 고저항 사고 모델링 기법", 전기학회논문지, 48A권 11호 1388 1393 1999년 11월
- [4] 김현, 김철환, "wavelet을 변환을 이용한 고저항 지락사고 고장점 추정", 전기학회논문지, 49A권 8호 369 373, 2000년 8월