

지중송전케이블 고장신호 처리를 위한 필터 설계

이재덕, 류희석, 최상봉, 남기영, 정성환, 김대경
한국전기연구원 지중시스템연구그룹

Filter Design for Fault Location Detection on Underground Power Cable

Lee JaeDuck, Ryoo HeeSuk, Choi SangBong, Nam KeeYoung, Jeong SeongHwan, Kim DaeKyeong
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract— To reduce the effect of fault on underground power cable, we need exact and fast fault location detection technique. In this thesis, we describe on filter design technique that can be applied to on-line fault detection technique.

To design filter for fault location detection on power cable, we should analysis fault signal. So we designed test bed for fault generation and measured fault signals for analysis. Through the analysis of signals, we found that ANC filter can be applied to separate fault signals and we designed a ANC filter.

We tested on the designed filter through computer simulation, and we describe its results in this paper.

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.

그러나 종래의 고장점 탐지 방법들은 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 방법으로서 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 형태의 신호로서 나타나는데 이 반사되는 신호의 도달 시간과 부호, 크기, 형태 등을 분석하여 고장점의 위치를 찾게 된다.

펄스 반사에 의한 고장점 탐지법은 높은 정확성을 가지고 있다. 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 발생 장치가 필요하고 건전케이블에 높은 전압을 인가해야하며 이는 케이블과 인접 설비에 영향을 주게 된다.
- iii) 사고가 발생한 이후에 적용되는 방법이며 고장점 탐지시 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 on-Line으로 측정하고 고장 발생 시에는 이 측정된 전압 및 전류의 파형을 분석하여 고장점 위치를 산출하는 방법이다.

on-line 고장점 탐지 방법에서는 정확한 고장점의 계산을 위해서 선로의 양단에 센서들을 설치하고 빠른 샘플링 간격으로 신호를 취득하며 또 취득된 신호로부터 고장점 탐지에 필요한 신호를 분리하는 필터링 기술이 필요하게 된다. 본 논문에서는 지중 송전 케이블의 고장점 탐지를 위해 필요한 신호 처리 기술로서 필터의 설계 기술에 관하여 언급한다.

이하 2장에서는 새로운 On-Line 고장점 탐지 기술의 개요와 구성, 모의 고장 장치와 파형 측정, 그리고 고장시 발생하는 측정된 파형 분석을 위한 필터링 기술에 관하여 언급하고자 한다.

2. 고장점 탐지 기술 개요와 필터설계

2.1 On-Line 고장점 탐지 기술의 개요

On-Line 고장점 탐지 방법은 전력 케이블 양단에 설치된 탐지 장치에 도달하는 신호의 시간 차이와 케이블의 전파속도를 이용하여 계산되기 때문에 사고시 발생하는 과도 전압 혹은 전류 파형의 도달 시간을 얼마나 정확하게 계산할 수 있는가에 따라서 그 정확도와 효율성을 높일 수 있다. 이를 위해서는 여러 가지의 전처리 기술이 필요한데 필터링 기술도 그 중의 하나이다.

사고시 발생하는 전압 혹은 전류의 파형은 일반적으로 오래 동안 지속되지 않고 순간적으로 사라지는 과도 현상을 나타내며 측정되는 파형이 복잡하고 또 높은 주파수 성분을 포함하고 있어 취득을 위해서 빠른 양자화 시간을 요구하고 또 사고의 판단을 위한 빠른 연산 시간을 요구하게 된다. 데이터의 취득량이 많아지면 취득 데이터를 저장하기 위한 메모리 공간도 커지고 또 신호 처리를 위한 연산량도 많아지게 되는데 연산량을 줄이기 위해서는 적절한 trade-off이 필요하게 된다.

과도 현상을 측정하고 신호를 분석하기 위해서는 수 MHz 이상의 높은 sampling이 필요하게 되는데 이 신호를 이용하여 간단하게 고장의 유무를 판단할 수 있는 방법과 고장으로 판명될 경우 고장점의 위치를 분석할 수 있는 알고리즘의 개발은 손쉽게 구현되지 않는다. 하드웨어 및 소프트웨어적인 개발 방법을 동시에 적용해야 한다.

여기에서는 소프트웨어적인 접근 방법의 하나로서 고장 판별 이후 사고 지점의 계산에 필요한 신호 분석 방법에 대하여 언급하고자 한다.

다음의 그림 1은 On-Line 고장점 탐지를 위한 장치의 구성도를 나타낸다. 고장점 탐지를 위해서는 선로의 양단에 On-Line 고장점 탐지 시스템이 설치되고 정확한 위치 계산을 위해서 양 시스템은 GPS 수신기를 통하여 수신되는 시간에 동기된다. 또 두 양단 시스템은 과도현상 분석에 사용될 데이터를 측정하기 위해 전압 혹은 전류 센서를 인터페이스하게 되는데 이 센서들은

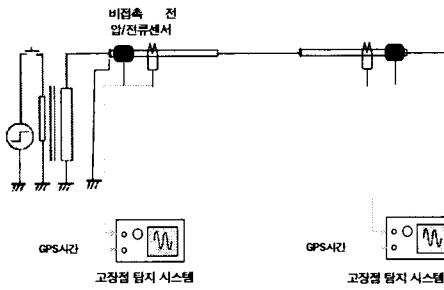


그림 1 고장점 탐지 장치 구성도

가능한 한 설치가 용이하고 또 저렴하게 구성될 수 있는 형태로 하는 것이 좋으며 따라서 비접촉형의 센서를 사용하는 것이 좋다.

고장점의 탐지를 위해서는 사고시에 발생하는 파형을 분석해야 한다. 이를 위해서는 사고를 모의할 필요성이 있는데 본 연구에서는 GPS 시간 동기를 제외하면 그림 1과 비슷한 형태의 모의 고장 장치를 구성하여 실험하였다. 시간 동기는 한 대의 오실로스코프를 이용함으로써 해결하였으며 측정 신호는 전류 및 전압 신호였다. 전압 및 전류의 측정은 여러 가지 방법이 있으나 가능한 한 설치 혹은 취부가 용이한 방법을 사용하였다.

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 측정에는 전압 측정 및 전류 측정용으로 얇은 알루미늄 판과 100A 정격의 CT를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 측정된 전압 파형을 나타낸다.

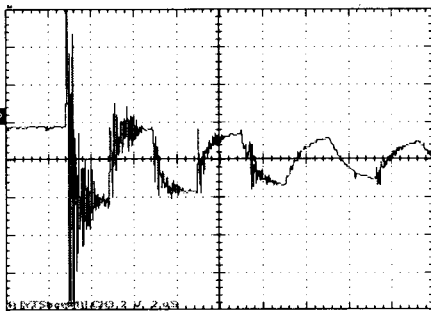


그림 2. 측정된 고장시 전압파형

2.2 고장점 탐지를 위한 필터 설계.

모의 고장 발생 장치를 이용하여 측정된 그림 2의 전압 파형을 살펴보면 파형이 다소 복잡하다는 것을 알 수 있다. 파형이 복잡한 이유는 고장시 도체에 과도 현상에 의한 전류가 흐르게 되고 이 전류가 전압 측정을 위해 사용한 알루미늄 판과 도체 사이의 존재하는 캐패시턴스에 측정되기 때문이다.

정확한 고장점을 찾기 위해서는 사고 발생시 나타나는 과도현상 파형에 존재하는 급격하게 변하는 신호 성분을 분리하고 제거해야 하는데 이를 위한 필터가 필요하다. 실험에서는 ANC(Adaptive Noise Canceller) 필터를 사용하여 신호 분리를 하고자 하였으며 이는 ANC 필터가 신호 특성이 다르거나 주파수가 서로 다른

파형의 분리에 유용하게 사용될 수 있다는 특성을 이용하기 위함이다.

모의 고장 발생 장치를 이용하여 몇 가지의 전압 및 전류 파형을 측정하여 본 결과 그림 2의 파형은 과도 현상시 발생하는 전압과 전류의 파형이 중첩되어 나타난다는 것을 알 수 있었는데 이 경우 ANC 필터를 적용하면 효과적으로 파형의 분리가 가능하다고 판단하였다. 다음의 그림 3은 ANC의 개념도를 나타낸다.

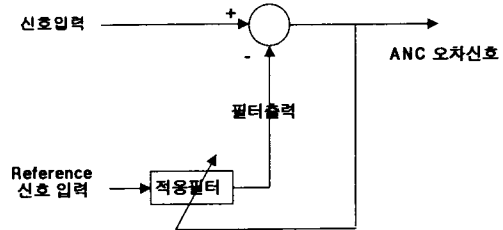


그림 3 ANC 필터 개념도

ANC 필터는 그림 3에서 나타낸 바와 같이 어떤 입력 신호가 원하는 신호와 특성이 다른 잡음 혹은 원하지 않는 신호를 포함하고 있을 경우 이 신호를 reference 입력 신호로서 필터로 입력하게 되면 입력 신호와 필터 출력 신호의 차이로서 나타나는 ANC 오차신호의 크기와 필터의 계수에 의하여 잡음 혹은 원하지 않는 신호를 분리하게 할 수 있게 한다.

본 논문에서는 그림 2에 나타낸 전압 파형에는 과도 현상 발생 시에 전류에 의해 발생하는 주파수가 높고 짧은 주기를 가지는 파형과 보다 낮은 주파수를 가지는 전압 파형이 중첩되어 있다는 것을 이용하여 이 두 신호를 분리하고자 하였다.

이를 위하여 그림 3의 입력 신호로서는 측정된 그림 2와 같은 전압 측정 파형과 전류 파형의 중첩 신호를 입력하고 reference 입력 신호로서는 전압 측정 파형을 입력하여 두 신호를 분리할 수 있도록 필터를 설계하였다. 다음의 그림 4는 입력 신호로서 사용한 파형이다. 이 파형은 케이블의 외피에 얇은 알루미늄 도체판을 감아서 전압을 측정된 것이다.

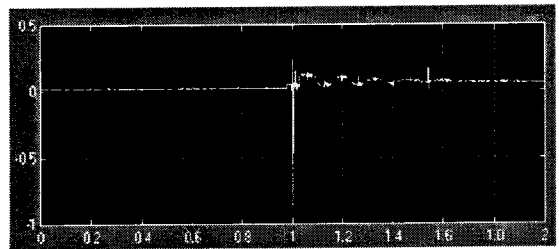


그림 4. 필터 입력 신호 파형

그림에서 보는 바와 같이 임펄스와 같이 급격한 변화를 나타내는 부분과 일정 주기를 가지는 펄스 파형이 존재하며 급격한 변화를 나타내는 부분은 전류 측정용 프로브로서 측정된 전류 신호와 발생지점이 동일함을 알게 되었다. 이 실험에서는 급격한 변화를 나타내는 신호를 분리하여 원래의 신호에서 제거할 수 있도록 하고자 하였으며 이 경우 전압 파형 성분을 이용하여 사고의 고장점 위치 추정이 보다 용이하고 정확하게 된다.

그림 5는 ANC 필터를 이용하여 그림 4의 파형을 처리하여 얻은 파형을 나타낸다. 그림 5의 파형을 살펴보면 그림 4의 원래 파형이 가지고 있던 급격한 변화를 나타내는 임펄스 형태의 신호만을 분리할 수 있음을 알 수 있다.

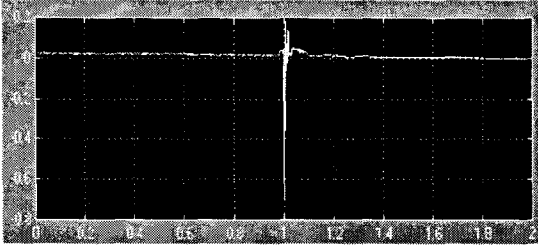


그림 5. 필터 출력 신호

그림 5의 파형을 살펴보면 급격한 변화를 나타내는 신호 외에도 원래 전압 파형이 가지고 있는 펄스 형태의 미소한 신호가 포함되어 있음을 알 수 있다. 물론 이 신호 성분은 완벽하게 제거되는 것이 최선이지만 측정되는 신호의 크기에 비해 무시될 수 있을 정도이면 전체 성능에는 큰 영향을 주지 않는다.

원하지 않는 신호를 완전하게 잘 제거할 수 있게 하려면 reference 신호의 특성을 고려해야 되는데 이 신호가 복잡할 경우에는 신호 분리가 어려워지는 문제가 있다. 본 연구에서는 이 문제를 해결할 수 있도록 계속 노력하여 고장점 탐지가 보다 정확하게 이루어 질 수 있도록 하고자 한다.

3. 결 론

전력 케이블의 사고는 그 파급효과가 크기 때문에 보다 빠르고 정확한 검지 방법이 요구된다. 따라서 기존의 고장점 탐지 방법과는 달리 On-Line으로 고장 위치를 알 수 있는 고장점 탐지 방법이 요구되고 있으며 본 논문에서는 보다 정확한 On-Line 고장점 탐지를 위해 필요한 필터 설계 기술에 관하여 논하였다.

지중 송전 케이블의 사고를 모의할 수 있도록 케이블 고장 모의 측정 시스템을 구성하여 고장을 모의하고 모의 고장시에 발생하는 전압 및 전류 파형을 측정하였으며 측정된 과도 전압 및 전류 파형으로부터 보다 정확하게 고장점의 위치를 알아 낼 수 있도록 하기 위한 전처리 기술로서 ANC 필터를 설계하고 그 특성을 시뮬레이션하였으며 그 결과에 관하여 언급하였다.

ANC 필터는 측정된 신호가 포함하는 서로 다른 두가지 성분의 신호를 분리하기 위해 설계되었으며 시험 결과 신호 분리에 유용하게 사용할 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김병천, 박남욱, 김철환, "MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 전기학회논문지 51A권 4호 163-168, 2002년 4.
- [2] 김 현, 김철환, "wavelet 변환을 이용한고저항 지락사고 고장점 추정", 전기학회논문지 49A권 8호 369-373, 2000년. 8월
- [2] Xinheng Wang, "Characterization, Detection and Location of Sheath Fault on Underground Power Transmission Cables" Brunel대 박사학위논문, 2001년 10.