

고장점 탐색 장치를 위한 신호처리 연구

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

Signal Processing Technology for Fault location System in Underground Power Cable

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

Abstract - With rapid growth of industry, underground power delivery systems are growing so rapidly and its capacity also growing. So if there are any accident in underground power cable, its inference is too great to count. So power system operators should find its fault location as soon as possible and replace it. But it is difficult to find its fault location for underground power cable. We are developing fault location system for underground power cable which can detect its fault location exactly. This system usually monitor underground power cable on-line. But if there are an accident, it record its transient signal and we can calculate fault location by analyzing it. To develop fault location system for power cable, we needed fault simulation system and we installed it physically and tested at various point. In this thesis, we describe on signal processing technology to detect fault location on power cable and on the result of tested fault location performance

1. 서 론

전력 케이블의 고장점 탐색은 전력 케이블에 단선, 단락, 절연파괴 등 과 같은 원하지 않은 사고의 발생시 케이블의 고장점을 찾는 기술을 말한다. 전력 케이블 사고는 경제적인 손실 및 사회적 파급효과가 크기 때문에 전력회사에서는 고장시 가능한 한 빠르고 정확하게 그 고장점의 위치를 파악하고 복구할 수 있어야 한다. 사고로부터의 손실과 그 영향을 줄이기 위하여 지금까지 다양한 방법들이 개발되어 적용되고 있다. 그러나 이미 개발되어 적용되고 있는 고장점 탐지 방법들은 모두 단점을 가지고 있다. 정확도가 모자라거나 적용하기가 힘든 경우가 많으며 일부 방식은 적용을 위해 일부 건전 구간 케이블과 전력 설비에 영향을 준다. 기존에 개발되어 적용되고 있는 고장점 탐색 방법들 중에서는 펄스 반사 방법이 가장 유용하고 정확한 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 임펄스 신호를 고장 케이블에 입사하고 반사된 파와 입사된 파와의 도달 시간 차이를 이용하여 고장점의 위치를 계산하는 방법이다. 짧은 주기를 가지는 펄스를 전력선에 주입하고 반사파를 측정하면 전력선의 상태를 파악할 수 있다. 예를 들면 전력선이 단선인지 혹은 단락 상태인지를 알 수 있으며 분기점의 위치 정보도 파악할 수 있게 된다. 또한 단선 혹은 단락 지점의 위치도 파악할 수 있는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 반사파의 도달 시간차이를 이용하여 계산한다. 펄스 반사방법의 정확도는 주입하는 펄스의 폭에 따라서 달라지는데 지금까지 개발된 방법들 중에서는 가장 정확한 고장점 위치 탐지 방법으로 알려져 있으며 보통 수 % 정도의 정확도를 가지고 있다. 비록 펄스 반사 방법이 높은 정확도를 가지는 고장점 탐지 방법이지만 이 방법 또한 단점을 가지고 있다. 이

방법으로 낮은 임피던스를 가지는 사고에서 고장점을 찾는 경우에는 반사되는 신호의 감쇄 폭이 커져 오차 범위가 커지게 되고 고장점의 측정이 어려운 문제도 발생하게 된다. 또 케이블이 단선되지 않은 경우에도 반사파가 존재하지 않기 때문에 고장점의 위치 추정이 실제로 불가능해지는 문제점을 가지고 있다. 고전력 펄스 발생장치가 필요하다는 것도 또 다른 하나의 단점인데 이로 인하여 가격이 비싸진다는 것과 고전력의 펄스를 선로에 주입함으로써 선로와 다른 설비들에 영향을 줄 수 있다는 문제점을 야기하게 된다. 이 방법은 사고가 발생한 후에 고장점을 찾기 위해 적용되기 때문에 고장점을 찾고 또 수리하기 위한 보다 많은 시간을 요하게 된다. 펄스 echoing 방법이 지금까지 개발된 방법으로서 가장 우수한 고장점 추정 방식이지만 앞서 언급한 바와 같은 문제점을 가지고 있으며 더욱이 가격이 비싸고 On-Line 추정 방식으로는 적용에 어려움이 있기 때문에 전력회사들은 고장점의 위치를 보다 정확하게 탐색할 수 있는 새로운 장치 혹은 시스템을 원하고 있다. 특히 On-Line으로 고장점의 위치를 알 수 있는 장치의 개발을 원하게 되었고 이는 지중선의 상태 모니터링 및 고장점 추정을 위해서는 필수적이라 하겠다.

우리는 지중선에서 On-Line으로 선로를 감시하고 또 고장 발생시 고장점의 위치를 정확하게 알 수 있는 장치를 개발하고자 하였다. 장치의 가격을 낮추기 위해서 또 보다 정확하게 고장점의 위치를 계산할 수 있도록 노력하고 있다. 우리가 개발하고자 하는 장치는 정상시에는 On-Line으로 선로를 모니터링하고 있으며 만약 고장이 발생하면 이를 감지하여 고장시 발생하는 과도현상 신호들을 저장하고 이 저장된 신호들을 분석하여 고장점의 위치를 계산하는 방식을 이요하고 있다.

이 논문에서는 우리가 개발하고 있는 새로운 방식의 On-Line 고장점 탐색 장치와 이에 관련된 신호 처리 기술에 대하여 언급하고자 한다. 다음 2장에서는 지중 전력선을 위한 On-Line 고장 탐색 장치의 개요와 구조에 대하여 언급하고 3장에서는 장치 개발과 관련된 신호처리 기술 개발에 대하여 언급하고자 한다.

2. 새로운 전력선 고장점 탐색 장치 개요

2.1 On-Line 고장점 탐색 장치 구조.

앞서 언급한 바와 같이 우리는 새로운 구조를 가지는 On-Line 지중 전력선 고장점 탐색 장치를 개발하고 있다. 우리는 이 고장점 탐색 장치가 보다 저렴하고, 설치가 용이하며, 또 On-Line으로 고장점의 위치를 알 수 있게 할 수 있도록 개발하고 있다. 이를 위하여 시스템의 구현에 필요한 센서들의 특성 시험과 설치 방법, 시스템 인테그레이션 방법 등을 검토하여 시스템의 구조를 정하였다. 센서들은 검지할 수 있는 신호 세기, 센서 취

부 방법, 센싱하는 신호의 종류, 신호 측정 방법, 샘플링 속도, 데이터 취득 및 저장 등 여러 가지를 고려하여 선정하였으며 장치를 보다 손쉽게 설치할 수 있도록 하기 위해 구조를 설계하였다.

새로운 고장점 탐색 장치 개발에 필요한 센서들은 전력선의 인입선에 설치되는데 측정하는 신호의 종류는 전압과 전류이다. 그러나 일반적으로 고전압 설비 혹은 장치들은 주파수 대역 측면에서는 주로 60Hz 기본파를 중심으로 하는 저주파 신호를 측정하는데 반하여 고장점의 위치를 추정하기 위해 필요한 신호들은 아주 높은 MHz 대역의 신호들을 측정한다는 점이 다르다. 따라서 전압 및 전류 센서들의 고주파 주파수 특성은 아주 좋아야 하는데 이 때문에 일반적으로 사용하는 전압 및 전류 센서는 사용할 수 없다. 우리는 전압, 전류 측정을 위해 여러 가지 시험을 수행하여 보았으며 그 중에서도 고주파 특성이 아주 좋으면서 손쉽게 제작할 수 있고 또 외부의 환경에도 잘 견딜 수 있는 센서를 직접 제작하여 장치 개발에 사용하였다.

새로운 고장점 탐색 장치는 앞서 언급한 바와 같이 인입선에 설치되며 그 기본 원리는 고장시에 발생하는 과도현상을 측정하고 해석하는 것이다. 고장이 나면 고장 발생 시점을 전후하여 순간적으로 많은 양의 전류가 흐르게 되고 이를 측정하여 고장점의 위치를 파악할 수 있다. 보다 정확한 고장점의 위치를 추정하기 위해서는 고장시에 발생하는 순시 전류를 높은 샘플링 속도로서 기록하고 이를 분석해야 하는데 우리는 시험을 통하여 고장점을 추정하는 해상도와 샘플링 속도와의 상관관계도 확인할 수 있었다.

그림 1은 우리가 개발하고자 하는 고장점 탐색 장치의 전체 개요를 나타낸다.

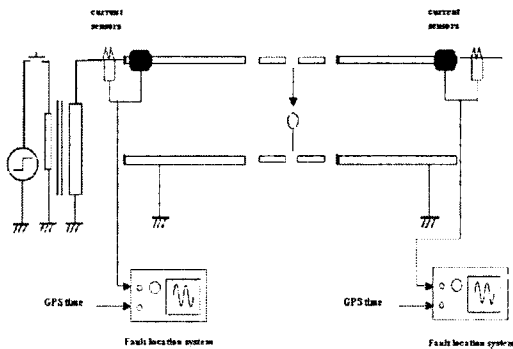


그림 1. 고장점 탐색 장치 개요도

앞서 언급한 바와 같이 우리는 On-Line 모니터링이 가능하며 또 보다 저렴한 가격으로 고장점을 알 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 신호의 센싱을 위해 필요한 여러가지의 센서를 제작하여 특성 시험을 행하고 또 이들 센서들로부터 취득되는 신호를 어떻게 처리하는 것이 효율적인 것인가를 파악하기 위해 노력하였다.

이러한 노력의 결과로서 로고스키 코일을 이용한 전류의 검지 방법이 유용한 것이라는 것을 알게되었으며 로고스키 코일 센서로부터 얻어지는 신호를 효율적으로 처리할 수 있는 신호 처리 기술을 개발하게 되었다. 로고스키 코일은 비교적 제작하기가 쉽고 또 저렴하게 제작할 수 있으며 무엇보다도 설치하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

2.2 On-Line 고장점 탐색 장치 특성 시험

전력선, 특히 지중 전력선에 고장이 발생할 경우 이 고

장 지점을 정확하게 알아낼 수 있는 시스템을 개발하기 위해서 여러 가지 시험을 행하였다. 이를 위하여 여러 가지 종류의 센서들과 다양한 형태의 센서들을 제작하여 시험을 행하였으며 또한 측정하는 방법을 변경해 보면서 시험을 행하였다.

새로운 방법의 고장점 탐색장치 개발을 위해서는 먼저 그 가능성을 시험할 수 있어야 했는데 이를 위하여 전력선의 고장 발생을 모의할 수 있는 시스템이 필요하였다. 우리는 고장 발생 모의 시스템을 구성하여 시험을 행하였으며 이하에 이를 고장 발생 시뮬레이터로 부른다. 이 고장 발생 시뮬레이터는 일정 거리 마다 고장을 발생시킬 수 있도록 구성하였으며 또 가능한 한 실제 선로 구성과 유사하게 구조를 가지도록 구축하였다. 구축한 고장발생 시뮬레이터의 전원은 과전류 보호 장치가 장착되어 있고 최대 인가 전압은 50kV이며 전압 level은 수동으로 조절할 수 있도록 하였다. 고장 발생 시뮬레이터 선로의 최대 길이는 600m이며 100m 단위 마다 고장을 발생시킬 수 있도록 구성하였다. 다음 그림 2는 고장 발생 시뮬레이터의 구조를 나타낸다.

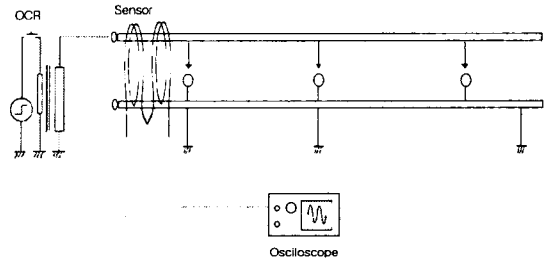


그림 2. 고장 발생 시뮬레이터 구성도

위의 그림 2에 나타낸 고장 발생 시뮬레이터를 이용하여 다양한 특성 시험을 하였다. 고장 발생시에 나타나는 과도현상 신호의 취득은 오실로스코프를 이용하여 저장하였으며 이 신호의 특성 분석은 컴퓨터와 신호처리 알고리즘들을 사용하여 수행하였다. 취득 신호는 앞서 언급한 바와 같이 전압 및 전류 파형이었으며 측정에 사용한 센서는 고주파 특성이 아주 좋은 전압 및 전류 측정용 센서를 사용하였다.

측정된 파형의 분석을 통하여 우리는 전압 및 전류 파형 모두가 고장 지점에 관한 정보를 포함하고 있음을 확인할 수 있었으며 이 정보를 추출할 수 있는 신호처리 알고리즘을 개발하여 고장점의 위치 탐색에 적용하고자 한다.

센서 측면에서 살펴보면 전압 및 전류 센서 모두가 고장점의 위치 정보를 포함하고 있음을 확인하였다. 문제는 가격적인 측면과 시스템 개발 시에 얼마만큼 손쉽게 센서를 설치할 수 있고 또 고장점 탐색 장치와의 인터페이스를 효율적으로 할 수 있는지가 되는 것이다. 전류 측정용 로고스키 코일을 이용하고 전압은 캐패시턴스를 이용하여 측정하는데 각각 비접촉형 및 접촉형 센서를 이용하여 측정하게 된다. 접촉형과 비접촉형 모두 아주 저렴한 가격으로 고주파 특성이 좋은 센서 제작이 가능하고 또 손쉽게 설치할 수 있다는 것을 확인하였다.

이하에 전력선 사고 발생 지점을 추정하는 고장점 탐색장치를 위한 신호처리 알고리즘에 관하여 간략히 언급하고자 한다.

3. 고장점 탐색 장치를 위한 신호 처리 기술

그림 3은 여러 가지 센서를 이용하여 얻은 고장 파형들이다. 고장은 그림 2에 나타낸 고장 발생 시뮬레이터를 이용하여 전압원으로부터 300m 지점에서 발생시켰으며 이때 샘플링 속도 2kHz로 얻은 파형이다.

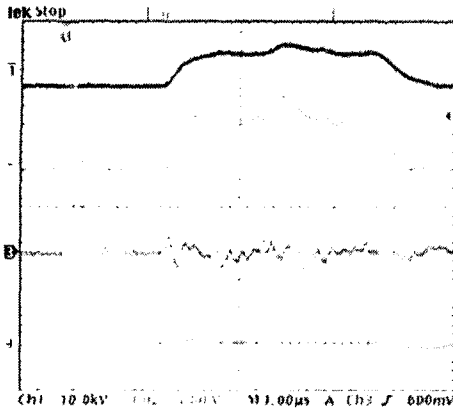


그림 3. 측정된 고장 신호

그림 3에서 보는 바와 같이 선로의 고장은 일종의 과도현상을 수반한다는 것을 알 수 있다. 선로 고장은 전송선의 임피던스를 변화시키고 또한 임피던스 불일치에 의해 반사파가 생성되게 되는데 선로의 양단에서는 이로 인한 과도현상 파형이 존재하는 것이다. 그림 3의 앞부분에 나타나는 피크와 뒤따르는 파두는 반사에 의해 나타나는 파형으로 해석할 수 있다.

제안된 새로운 고장점 탐지 방법을 위해서 고장점의 위치를 보다 정확하게 검출할 수 있는 신호처리 방법이 요구된다. 종래의 펄스 echoing 방법에서는 짧은 주기를 가지는 정형화된 임펄스 신호를 주입시키고 반사되어 오는 파형의 도달시간과 주입신호와의 시간차만을 검지하면 고장점의 위치를 계산할 수 있지만 그림 3에서 보듯이 제안된 방식에서 측정되는 신호의 파형은 복잡하고 또 정형화된 형태를 가지고 있지 않다. 여러 번의 시험에서 얻어진 파형들은 대부분 이와 비슷한 형태를 보여 주었으며 따라서 종래와는 다른 신호 처리 방법을 요구하였다.

그림 4는 시험에서 얻어진 하나의 파형이다. 그림에서 살펴보면 고장점 계산에 필요한 두개의 피크 파형을 가지지 않고 오직 하나의 파형처럼 보이고 있다. 이 경우에는 신호처리를 하지 않고 원래의 파형을 그대로 사용할 경우 고장점의 위치 계산이 불가능하게 된다.

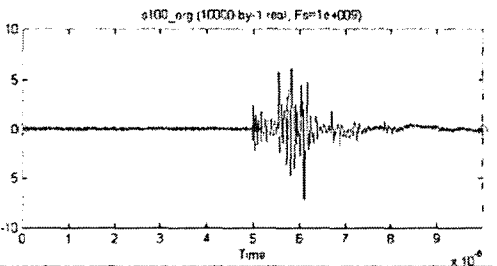


그림 4. 측정된 고장 신호(특이한 경우)

따라서 위치 계산이 가능하게 하기 위한 다른 방법이 필요하였는데 우리는 어떤 신호처리 방법이 적합한가를 조사하고 알고리즘 개발에 적용하기로 하였다. 이를 위하여 여러 가지의 신호처리 방법들을 검토하였는데 특히 측정된 고장 신호가 과도현상 신호 특성을 가지고 있다는 점을 고려하여 과도현상에 주로 적용되는 신호처리 방법을 검토하였다.

여러 가지 과도현상 해석 방법 중에도 특히 웨이블릿

변환 방법을 적용하여 신호 해석을 시도하였는데 이는 웨이블릿 변환 방법이 직교의 basis 함수를 사용하여 신호를 잘 분리할 수 있다는 특성을 활용하기 위함이었다. 웨이블릿 변환이 과도현상 해석에 자주 적용되는 이유도 바로 이 신호 분리 특성이 우수하기 때문이다.

우리는 여러 가지 측정된 파형을 대상으로 웨이블릿 변환의 분해 레벨을 변화시켜보면서 파형 분석을 시도해 보았다. 그 결과 대부분의 측정된 파형에 대하여 5 level의 웨이블릿 분해가 가장 좋은 특성을 나타내었다. 그림 5는 그림 4의 파형을 5 level 웨이블릿 분해 후 재생한 파형을 보여주는 것으로서 하나의 파형만이 존재하는 것처럼 보여지는 그림 4와는 달리 고장 지점을 나타내는 두개의 파형이 잘 분리되어 나타남을 알 수 있다.

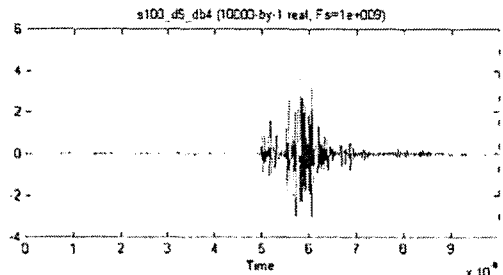


그림 5. 신호처리 후 재생된 신호

그림 2에서부터 그림 5에 나타난 신호들은 아주 높은 고주파 성분들을 가지고 있다. 측정된 고장 발생 신호들의 주파수 성분을 분석해 본 결과 고장 신호의 주파수 대역은 수 MHz에서 수십 MHz에 달했다. 따라서 이러한 고주파 성분을 주로 포함하는 고장 발생 신호를 검지하여 고장 지점을 탐색하기 위해서는 고속으로 데이터를 취득하고 또 적합한 신호 처리 해석 방법을 적용해야 한다. 이를 위하여 우리는 다양한 노력들을 경주하고 있으며 곧 실 계통에 적용이 가능한 시스템이 개발될 것으로 보인다.

4. 결 론

지중 전력선의 고장점을 정확하게 알 수 있는 고장점 탐색 장치를 개발하고 있다. 이 시스템은 On-Line으로 지중선을 모니터링하고 하면서 사고 발생시에는 고장 신호를 기록하고 기록된 고장 신호를 분석하여 정확하게 고장 위치를 계산하는 방법을 사용한다.

이 시스템을 개발하기 위하여 우리는 고장 발생 시스템을 구축하고 여러 가지 유형의 사고 발생과 사고시 발생하는 신호를 취득하여 분석하였으며 고장점의 위치 계산을 위해 필요한 신호처리 기술들을 개발하였다. 개발된 신호처리 기술은 고장점 위치 계산에 유용함을 확인하였으며 곧 실용화를 위한 시스템을 개발할 계획에 있다.

[참 고 문 헌]

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