

지중송전선 고장점 탐색 장치 설계

Design of Fault Location System for High Voltage Underground Power Cable

이재덕*, 류희석*, 최상봉*, 남기영*, 정성환*, 김대경*

Lee JaeDuck, Ryoo HeeSuk, Choi SangBong, Nam KeeYoung, Jeong SeongHwan, Kim DaeKyeong

Abstract -To reduce inference of any power delivery failures in underground power cable, power system operators are trying to find effective way of finding fault location as soon as possible. But it is very difficult to find fault location exactly for underground power cable.

We are developing fault location system for underground power cable which can detect its fault location exactly. This new system monitors current and voltage of underground power cable by using low voltage and current sensors and if there are any accidents, it records its transient signal. Fault location is calculated by analyzing recorded signal.

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 papers, we describe on design of fault location system for underground power cable

Key Words : Underground Power Cable Fault Location System

1. 서론

전력 수요의 증가와 도시의 거대화 등 경제, 사회적인 발달에 따라 전력 케이블의 지중화가 늘어나고 있다. 지중 송전선은 사고시 그 고장 위치를 찾기 힘들고 또 고장 수리 및 복구가 어렵다. 대용량의 전력을 공급하는 만큼 고장시 파급 효과는 클 수밖에 없다. 따라서 빠른 복구를 위한 고장점 위치 탐색 기술의 개발은 필수적이라 하겠다.

고장점 탐색은 전력 케이블에 단선, 단락, 절연과괴 등과 같은 원하지 않은 사고의 발생시 케이블의 고장점을 찾는 기술을 말한다.

기존에 개발되어 적용되고 있는 여러 가지 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 따라 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 방법으로는 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.

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 있으면서 고장이 발생하면 이를 감지하여 고장시 발생하는 파형 신호들을 저장하여 이 저장된 신호들을 분석함으로써 고장점의 위치를 추정하는

저자 소개

* 한국전기연구원 지중시스템연구그룹

방식을 사용한다.

이 논문에서는 우리가 개발한 새로운 방식의 On-Line 고장점 탐색 장치 설계기술에 관하여 언급한다. 다음 2장에서는 지중 전력선 고장점 탐색을 위한 새로운 방식의 On-Line 고장 탐색 장치의 개요와 구조, 새로운 탐색 기술 전반, 신호처리 기술, 시스템 설계 기술 개발에 대하여 간략히 언급하고자 한다.

2. 새로운 방식의 지중선 고장점 탐색 기술

2.1 On-Line 지중선 고장점 탐색 기술 개요

앞서 언급한 바와 같이 지금까지 개발된 지중선의 고장점 탐색 기술의 한계를 극복하여 보다 빠르고 정확하게 고장점의 위치를 알 수 있는 새로운 구조를 가지는 On-Line 지중 전력선 고장점 탐색 장치를 개발하고자 하였다. 우리는 이 새로운 고장점 탐색 장치가 보다 저렴하고, 설치가 용이하며, 또 On-Line으로 고장점의 위치를 알 수 있게 할 수 있도록 개발하고자 하였으며 이를 위하여 시스템의 구현에 필요한 센서들의 특성 시험과 설치 방법, 시스템 인테그레이션 방법 등을 검토하여 시스템의 구조를 정하였다. 센서들은 감지할 수 있는 신호 세기, 센서 취부 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 기본과를 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 파도현상을 측정하고 해석하는 것이다. 고장이 나면 고장발생 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 기술의 전체 개요도를 나타낸다.

그림에 나타난 바와 같이 고장점 탐색 장치는 지중

송전선의 인입단과 말단에 설치되며 센서는 지중 송전 케이블의 둘레에 손쉽게 부착할 수 있도록 하였다.

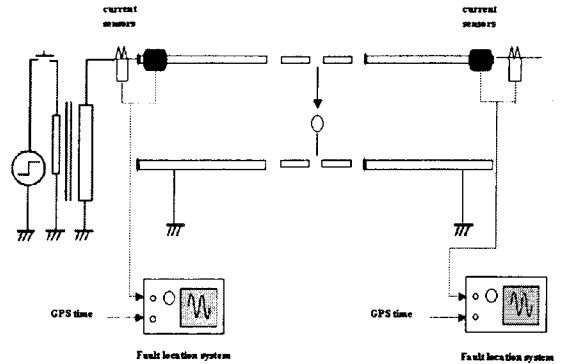


그림 1. 고장점 탐색 기술 개요도

센서는 전압 및 전류 센서를 사용하는데 로고스키 코일을 이용한 전류 검지 센서와 capacitor 원리를 이용하는 케이블 외부 피복 부착형 전압 센서를 이용하였다. 로고스키 코일과 부착형 capacitor type 전압 센서는 비교적 제작하기가 쉽고 또 저렴하게 제작할 수 있으며 무엇보다도 설치하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

2.2 지중선 고장 발생 모의 및 고장 신호의 측정

새로운 방식의 지중 송전선 고장점 탐색 시스템을 개발하기 위해서 여러 가지 시험을 행하였다. 시험을 위해 지중선을 모델링하고 또 고장을 발생할 수 있도록 모의 고장선로를 구축하였으며 이를 이용하여 여러 가지 종류의 센서들과 다양한 형태의 센서들을 제작하여 시험을 행하였으며 또한 측정하는 방법을 변경해 보면서 새로운 탐색 기술을 개발하고자 하였다.

고장은 일정 거리 마다 발생할 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 발생할 수 있도록 구성하였다.

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 고장지점의 위치 탐색에 적용하고자 하였다.

2.3 새로운 방식의 지중선 고장점 탐색 장치 설계

지금까지 지중 송전선의 고장점 탐색을 위한 여러 가지 기술과 장치들이 개발되어 적용되고 있지만 정확도가 떨어지고, 가격이 비싸며, 적용하기가 어렵거나 인접 설비에

영향을 주는 등 효과적인 방법은 아직 존재하지 않는다고 해도 과언은 아니다. 본 연구에서 개발한 새로운 방식의 고장점 탐색 기술은 이러한 제반 문제점을 해결할 수 있는 효과적인 고장점 탐색 방법으로서 새로운 길을 제시할 수 있을 것으로 여겨지며 더욱이 사고가 발생한 후에 고장점을 탐색하는 기존 기술들과는 달리 선로에 설치되어 On-Line으로 상태를 감시하면서 사고 발생시에 고장으로 인하여 발생하는 전압과 전류 신호를 측정하여 사고 지점을 알아낼 수 있어 보다 빨리 고장점을 탐색할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 그 정확도에 있어서도 수 미터 이내의 오차 범위 내에서 고장점을 찾을 수 있는 장점을 가지고 있다.

새로운 On-Line 고장점 탐색 기술은 고장시 발생하는 고장 신호, 즉 고장시의 전압 및 전류 신호의 측정으로부터 시작한다. 고장 모의 발생 시뮬레이터를 이용하여 고장시 발생하는 전압 및 전류 신호를 분석하여 본 결과 보통 수십 MHz 까지 이르는 고주파 신호를 가지고 있는데 이 고주파 신호를 센싱할 수 있는 전압, 전류 센서를 제작하여 신호를 측정하였다.

다음으로는 이 신호가 가지고 있는 고장점 위치 정보를 추출하는 것인데 측정된 고장 전류 및 전압 신호를 분석하여 본 결과 각 신호가 가지는 두 개의 파두간 거리를 측정하여 이를 계산할 수 있음을 알게 되었다.

그림 2는 고장시에 발생하는 전류 신호를 나타낸 것이다. 그림 2에는 두 개의 파가 중첩되어 있음을 알 수 있는데 이 두 파의 파두간 거리를 알면 고장점의 위치를 계산할 수 있다. 그림 2는 전원으로부터 100m 지점에서 고장이 발생되었을 때 sampling 속도 1GHz로 얻은 파형이다.

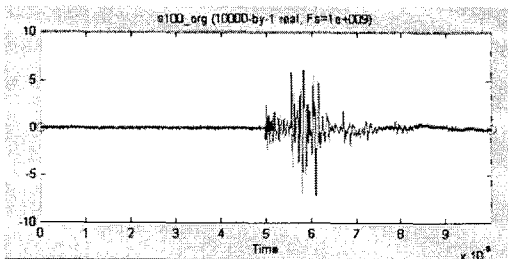


그림 2. 100m 지점에서 측정된 고장 전류 신호

그림 2과 같이 나타나는 파형을 측정할 수 있기 위해서는 아주 빠른 속도의 sampling rate로 센서로부터 입력되는 파형을 측정할 수 있어야 한다. 시험에 사용한 케이블의 nominal 전파속도는 1.8×10^8 m/s 정도가 되는데 이는 고장 신호가 μ s당 180m 정도를 전파함을 의미한다. 따라서 100MHz의 sampling rate를 가질 경우 하나의 sample 당 진행거리가 1.8m가 됨을 의미하여 오차 범위를 대략 수 미터 이내로 줄이기 위해서는 적어도 100MHz 전후의 아주 높은 sampling rate를 가지는 시스템을 설계해야 함을 의미한다.

높은 주파수를 가지는 고장신호를 On Line으로 연속 측정할 수 있기 위해서는 고속으로 데이터를 입력 및

저장하고 또 분석할 수 있도록 시스템을 설계해야 한다. 실시간으로 데이터를 처리할 수 있도록 아주 빠른 A/D 변환기와 고속 메모리, 고속 제어로직을 H/W적으로 구현하고 또 저장된 데이터를 분석 및 디스플레이할 수 있도록 시스템을 설계해야 한다. 그림 3는 지중 송전선로에서의 고장발생 시 정확한 고장점의 위치를 계산하기 위해 개발한 시스템의 H/W 블록도이다. 100MHz의 sampling rate를 가지는 A/D 변환기와 고속 FIFO, 그리고 FPGA를 이용한 제어로직을 설계하여 시스템을 설계, 개발하였다.

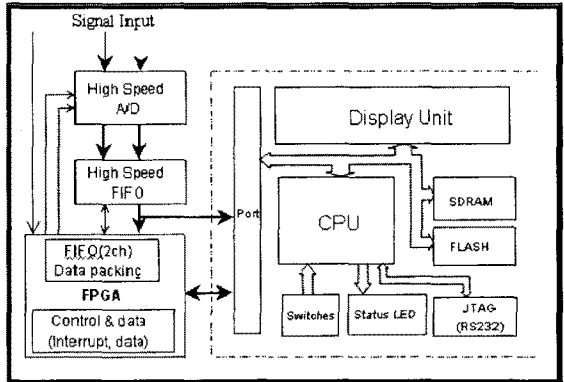


그림 3. 설계된 고장점 탐색 장치 블록도

고장지점의 계산은 그림 3에 나타낸 CPU와 디스플레이 unit 및 외부 인터페이스를 통하여 계산된다. 측정된 고장 신호는 필터링 등 전처리 과정을 거쳐 디스플레이 unit에 나타내어지고 고장 지점이 마킹되면 미리 입력되어 있는 케이블의 전파속도에 관한 데이터를 이용하여 고장지점이 계산되도록 되어 있다.

3. 결 론

지중 전력선의 고장점을 정확하게 알 수 있는 새로운 방식의 고장점 탐색 장치 설계기술을 개발하였다. 이 새로운 고장점 탐색 장치는 On-Line으로 지중선을 모니터링하면서 사고 발생시에는 고장 신호를 기록하고 기록된 고장 신호를 분석하여 정확하게 고장 위치를 계산하는 방법을 사용한다.

새로운 고장점 탐색 장치를 이용하는 방법은 아주 경제적이며 적용하기가 쉽고 정확하게 고장점의 위치를 찾아낼 수 있는 아주 효과적인 방법임을 알 수 있었으며 그 기능 시험을 완료한 단계에 있다. 이제 머지않아 실 계통에 적용이 가능하기를 기대하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Xinheng Wang, "Characterization, Detection and Location of Sheath Fault on Underground Power Transmission Cables" Brunel대 박사학위논문, 2001년 10.
- [2] 김병천, 박남옥, 김길환, "MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 김출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한연구", 전기학회논문지 51A권 4호 163-168, 2002년