

지중송전선 고장점 탐색을 위한 측정 회로 설계

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

Design of Circuit for Underground Power Cable Fault Location

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

Abstract - 전력케이블, 특히 지중 송전케이블은 사고 발생시 그 파급효과가 크기 때문에 빠르고 정확한 고장점의 탐지가 필요하다. 본 논문에서는 지중 케이블의 고장 위치를 파악하기 위해 필요한 신호를 계속하고 이를 빠른 시간 내에 저장하여 사고 발생 후 이를 분석하여 고장점을 찾을 수 있도록 하는 고장점 탐지 장치를 위한 회로 설계에 대하여 언급한다. 케이블의 고장점 탐색 기술 개발을 위해서는 고장시에 발생하는 과도현상을 기록할 수 있도록 회로를 설계해야 하는 바 센서 구성과 입력 회로단의 설계, 데이터 저장 및 분석을 위한 회로의 설계는 고장점 탐색 장치 개발에 있어 필수적인 기술이다. 개발된 지중 송전선 고장점 탐색을 위한 측정회로는 사고지점 계산을 위해 필요한 신호추정에 효과적이며 실제 전력 공급 계통에 손쉽게 설치할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이하에 지중송전선 고장점 탐색을 위한 측정 회로 설계에 관하여 언급한다.

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.

1. 서 론

전력 수요의 증가와 도시의 거대화 등 경제, 사회적인 발달에 따라 지중선은 계속 증가하고 있으며 또 대전력을 공급하는 지중선 사고로부터의 손실과 그 영향을 줄이기 위하여 지중 송전선의 고장 위치를 알아내기 위한 다양한 방법들이 개발되어 적용되고 있다.

고장점 탐색은 전력 케이블에 단선, 단락, 절연과괴 등과 같은 원하지 않은 사고의 발생시 케이블의 고장점을 찾는 기술을 말하며 지중 전력 공급이 전력 용량의 증가와 함께 설치가 개소가 늘어남에 따라 보다 정확하고 빠른 방법을 개발해야 하는 필요성이 제기되고 있는 실정이다.

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.

지금까지 개발된 방법들 중 가장 유용한 방법으로 알려진 펄스 반사방법은 가장 앞선 기술을 이용하여 정확도를 높인 것인데 임펄스 신호를 고장 케이블에 입사하고 반사된 파와 입사된 파와의 도달 시간 차이를 이용하여 고장점의 위치를 계산하는 방법이다.

짧은 주기를 사용할수록 정확도를 높일 수 있고 반사파를 측정하여 전력선 고장의 형태를 파악할 수도 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 개발된 방법들 중에서는 가장 높으며 보통 수 % 정도의 정확도를 가지고 있다.

비록 펄스 반사 방법이 높은 정확도를 가지는 고장점 탐지 방법이지만 이 방법 또한 단점을 가지고 있다. 이

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 노력하였다. 우리가 개발하고자 하는 장치는 평상시에는 On-Line으로 선로를 모니터링하고 있으며 만약 고장이 발생하면 이를 감지하여 고장시 발생하는 과도현상 신호들을 저장하고 이 저장된 신호들을 분석하여 고장점의 위치를 계산하는 방식을 이용하고 있다.

이 논문에서는 우리가 개발하고 있는 새로운 방식의 On-Line 고장점 탐색 장치 개발에 있어서 필수적으로 요구되는 고장신호의 측정과 관련하여 고장 신호 파형의 분석, 고장시 발생하는 전압 및 전류 신호 입력 회로의 검토, 센서 특성 검토, 신호 취득 시스템의 설계에 관한 검토 등에 관하여 언급한다.

2. 지중선 고장점 탐색을 위한 신호의 측정과 분석

2.1 지중선 고장점 탐색을 위한 신호 측정

지중선 고장점 탐색을 위해서 고장 발생과 고장시 발생하는 전압 전류 신호를 측정할 수 있도록 모델 선로를 구축하고 측정 시스템을 구축하였다. 구축한 모델 선로와 고장을 발생하는 기구를 이하에서는 모의 고장 발생 시뮬레이터라 부른다. 다음의 그림 1은 구축된 모의 고장 발생 시뮬레이터와 측정 시스템 구성도를 나타낸다.

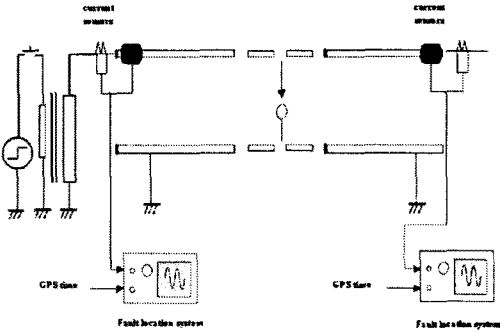


그림 1. 모의 고장 시뮬레이터 및 측정 시스템 구성

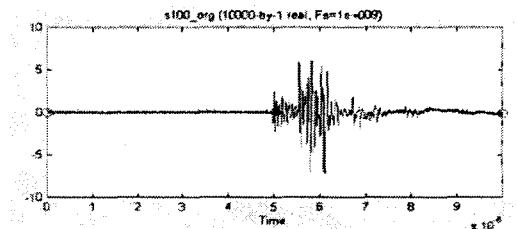
모의 고장 발생 시뮬레이터는 총 연장 600m의 선로길이를 가지며 100m 간격으로 고장을 발생시킬 수 있도록 하였다. 선로 구성은 일반적으로 전력을 공급하는 송전선과 비슷하게 구성하였으며 접지는 다중 접지 방식을 이용하여 구성하였다.

선로의 사고시에 나타나는 고장 전류 및 전압 신호를 측정하기 위해서 모의 고장 시뮬레이터의 인입단에 전압과 전류를 측정할 수 있는 센서를 설치하고 이들 센서로부터 측정되는 신호를 측정 하였다.

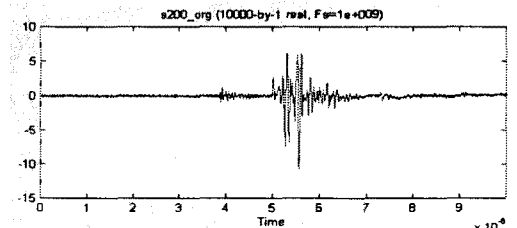
고장 전압 및 전류 신호는 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며 고장점 탐색 시스템 설계에 필요한 여러 가지 파라미터를 도출하기 위해 다양한 조건에서 고장 발생 신호를 측정하였다.

2.2 측정된 고장시 발생 신호 분석

앞에서 언급된 모의 고장 발생 시뮬레이터와 측정 시스템을 통하여 다양한 시험을 수행하였다. 시험의 가장 큰 목적은 물론 고장시에 발생하는 고장 전압 및 전류 파형을 선로의 고장 위치 정보를 추출할 수 있을까를 확인하는 것이다. 그림 2(a)는 고장 발생 지점이 100m 경우에 측정된 전류 신호이며 2(b)는 200m에서 측정된 전류 신호를 나타낸다.



(a) 100m 지점 사고시 측정된 고장 전류 신호



(b) 200m 지점 사고시 측정된 고장 전류 신호

그림 2. 지중 송전선 고장시 발생하는 전류 파형

그림 2에 나타난 두 파형을 살펴보면 두 파형 모두 거의 정보를 가지고 있음을 알 수 있다. 두 파형은 앞부분과 뒷부분으로 나누어진 두 파 사이에 일정한 간격을 가지고 있고 고장 발생 지점의 위치에 따라 이 간격이 일정한 비율로 넓어짐을 알 수 있다. 100m 지점에서 두 파 사이의 거리는 0.56 μ s 정도이고 200m 일 경우는 약 1.11 μ s의 차이가 나는데 이는 파의 normal 전파 속도인 100m당 0.55 μ s당 거의 일치한다. 따라서 측정된 고장시 발생된 전류 신호는 고장점의 위치 정보를 가지고 있음을 알 수 있고 이를 추출하는 기술을 개발하여 고장점의 위치 계산이 가능함을 확인하였다.

이를 통하여 정확하게 데이터를 와 거의 일치당 당 명확하게 를 에서 발생한 고장이 연구에서는 추출된 파라미터를 이용하여 시스템을 설계, 개발하였으며 개발된 시스템을 통한 고장 발생 신호 측정 및 분석도 수행하였다. 그 결과 개발된 시스템은 지중선의 고장점 위치 탐색을 아주 정확하게 할 수 있으며 경제적이고 효율적으로 적용할 수 있음도 확인하였다.

2.3 고장 신호 입력회로 검토

구축된 시뮬레이터를 통하여 다양한 시험과 신호 측정을 하고 측정된 신호의 정밀 분석을 통하여 지금까지 개발된 지중선의 고장점 탐색 기술의 한계를 극복하고 보다 빠르고 정확하게 고장점의 위치를 알 수 있는 새로운 구조를 가지는 On-Line 지중 전력선 고장점 탐색 장치를 개발하고자 하였다. 보다 정확한 고장점의 위치를 산정하기 위해서는 고장시에 발생하는 원래의 전압 전류 파형을 손실 없이 측정하고 측정된 파형이 가지고 있는 정보를 효과적으로 추출할 수 있는 처리 방법을 개발해야 한다.

그림 1의 모의 고장 시뮬레이터 및 측정 시스템을 이용하여 신호를 측정할 때 사용한 센서는 신호 대역폭이 넓은 센서를 사용하였는데 전류 측정을 위해서 로고스키코일을 사용하고 전압 측정용으로는 케이블에 손쉽게 부착할 수 있는 전도성 테이프를 사용하였다. 두 센서 모두 주파수 특성이 아주 좋아 PD 현상 측정에 사용되는 것으로서 제작이 용이하고 설치하기도 용이한 특성을 가지고 있다. 센서로부터 얻어지는 신호는 1GHz의 높은 sampling rate를 가지는 오실로스코프를 이용하여 측정하고 주파수 분석을 하여본 결과 수십 MHz에 이르는 고주파 성분을 가지고 있음을 알게 되었다.

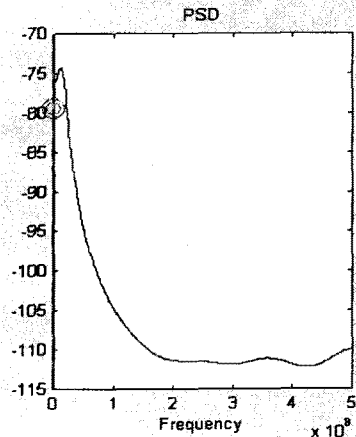


그림 3. 지중 송전선 고장시 발생하는 신호의 전력 주파수 밀도

그림 3은 고장시 발생하는 전류 신호의 전력 주파수 밀도를 나타낸 것이다. 전력 주파수 밀도를 분석해 보면 15MHz 대역 전후에서 가장 높은 분포를 보이며 따라서 원래의 고장 신호 측정시 손실을 줄이기 위해서는 30MHz 이상의 sampling rate로 신호를 측정해야 함을 의미한다.

센서로부터 입력되는 신호의 측정시에는 sampling rate도 충분히 높게 정하여 신호의 측정을 하여야 하며 또 입력 회로의 설계시에도 충분한 검토가 있어야 한다. 사용하는 센서들은 각각 고유한 지향 및 인덕턴스, 커패시턴스 성분을 가지고 있으며 따라서 이들 센서 특성을 고려하여 입력 회로단을 설계해야 한다. 고장 신호는 앞서 언급한 바와 같이 아주 높은 주파수 성분을 포함하고 있어 입력 회로의 설계 시에는 이를 충분히 고려해야 함을 확인할 수 있었다.

2.4 고장점 탐색 시스템 설계 검토

구축된 시뮬레이터를 통하여 다양한 시험과 신호 측정을 하고 측정된 신호의 정밀 분석을 통하여 개발하고자 하는 새로운 On-Line 지중 송전선 탐색 시스템 개발에 필요한 여러 가지 설계 파라미터를 도출할 수 있었다. 센서의 설계를 위한 신호 특성을 분석하였으며 또 입력 회로 설계와 sampling rate의 선정, 측정된 신호의 처리 방법, 고장점 위치 계산을 위한 파라미터를 도출하여 정확하게 고장점의 위치를 계산할 수 있는 알고리즘을 개발할 수 있었다. 이러한 여러 가지 요소들을 이용하여 본 연구에서는 실제로 선로에 부착되어 On-Line으로 선로 상태를 모니터링 하고 있으면서 사고 발생시 고장 신호를 취득하고 이를 바탕으로 고장 위치를 정확하게 산정할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

앞서 언급한 바와 같이 손쉽게 부착이 가능하며 제작 비용이 많이 들지 않도록 센서와 회로를 개발하고 시험 및 측정, 그리고 분석을 통하여 얻어진 결과들을 반영하여 시스템을 설계하고 개발하였으며 개발된 시스템을 이용하여 실제 고장점의 탐색 기능을 시험하였다. 그 결과 아주 정확하게 고장점의 위치를 산정할 수 있다는 것을 확인하였다.

On-Line으로 상태를 모니터링 하면서 고장시 발생하는 신호를 놓치지 않고 취득 및 처리할 수 있기 위해서는 고장 신호 발생 유무를 판별할 수 있는 로직이 필요한데 본 연구에서는 센서의 특성을 이용하는 간단한 로직을 이용하여 구현하고 신호를 취득할 수 있도록 하였으며 이 로직과 입력 회로단, 데이터 고속 입력용 FIFO 처리 기능과 고장 거리 산정 기능을 처리하는 콘트롤 unit, 디스플레이 unit 을 설계, 개발하고 인테그레이션하여 고장점 탐색 장치를 개발하였다.

그림 4는 개발된 고장점 탐색 장치의 콘트롤 unit이며 그림 5는 콘트롤 unit과 디스플레이 unit이 합쳐진 고장점 탐색 장치이다.

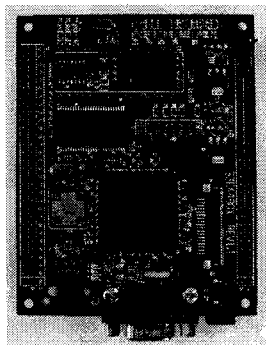


그림 4. 개발된 고장점 탐색 장치 콘트롤 unit

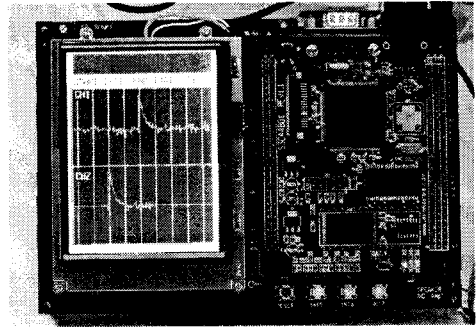


그림 5. 개발된 고장점 탐색 장치의 콘트롤 및 디스플레이 unit

3. 결 론

본 연구에서는 실제로 선로에 부착되어 On-Line으로 선로 상태를 모니터링 하고 있으면서 사고 발생시 고장 신호를 취득하고 이를 바탕으로 고장 위치를 정확하게 산정할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 지중송전선 고장점 탐색 장치 개발에 필요한 측정회로 및 신호 분석, 그리고 입력 회로 및 시스템 설계 기술에 관하여 검토하였다.

앞서 언급한 바와 같이 손쉽게 부착이 가능하며 제작 비용이 많이 들지 않도록 센서와 회로를 개발하고 시험 및 측정, 그리고 분석을 통하여 얻어진 결과들을 반영하여 시스템을 설계하고 개발하였으며 개발된 시스템을 이용하여 실제 고장점의 탐색 기능을 시험하였다. 그 결과 아주 정확하게 고장점의 위치를 산정할 수 있다는 것을 확인하였으며 곧 실용화를 위한 시스템을 개발할 계획에 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] 김 현, 김철환, "wavelet 변환을 이용한 고저항 지락사고 고장점 추정", 전기학회논문지 49A권 8호 369-373, 2000년. 8월
- [3] 김병진, 박남옥, 김철환, "MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 전기학회논문지 51A권 4호 163-168, 2002년 4.