2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

가공지선 전류 검출 방식의 송전선 사고 및 낙뢰 구간 검출 시스템 개발

이창영*, 김정년, 오덕진, 하체웅, 김동욱
LG 전선(주) 전력연구소

The Development of Fault and Lightning Stroke Section Location System for Overhead Transmission Line

C. Y. Lee*, J. N. Kim, D. J. Oh, C. W. Ha, D. W. Kim
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable Ltd

Abstract - **This paper deals with the development of on-line fault and lightning stroke section locating system for branched overhead transmission line. The section locating algorithm of this system is by analyzing the distribution pattern of current flowing through the overhead ground wire. It composes of three parts; current sensors, local remote terminal unit(RTU) and analysis program at surveillance center. Double Rogowski coil sensor having integrating amplifier was designed as current sensor. In order for current pattern analysis, the transmitted waves from each sensor were synchronized by GPS time clock in RTU.**
While, lightning stroke location are judged only by polarity information of lightning currents. This design has a benefit in simplicity of signal processing unit of RTU.

1. 서 론

전력 설비의 사고로 인한 파급 효과를 최소화하기 위해서는 사고 선로의 차단과 신속한 복구가 요구되며, 이 때문에 사고 지점에 대한 정확한 검출이 중요하다.

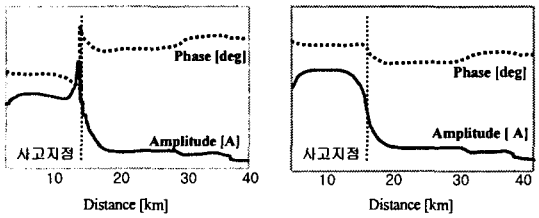
가공송전선로의 사고지점은 변전소에 설치된 거리계전기로써 사고시의 선로 임피던스를 계산하여 위치를 판정한다. 이러한 임피던스 계산 방식은 최근 디지털 거리계전기가 개발됨에 따라 선로 길이 당 수 % 오차 범위까지도 위치 판정이 가능하게 되었다. 그러나 선로 중간에서 타 선로로 분기된 가공선로의 경우, 거리계전기에 의한 임피던스 계산 방식으로는 위치 판정의 오차가 크며, 경우에 따라서는 사고 위치의 판정이 불가능한 경우도 발생한다. 최근 송전 계통이 복잡해짐에 따라 이러한 분기 선로가 점차 증가하고 있는 추세에 있다.

본 논문에서는 임피던스 측정 방식으로 사고 위치 판정이 곤란한 가공 선로에 적용할 수 있는 사고 구간 검출 시스템의 개발에 대해 논하였다. 본 시스템은 사고시 가공지선에 유기되는 전류를 일정 구간마다 설치된 전류 센서로 검출하여 이들 분포 전류의 패턴을 분석하는 알고리즘으로서 사고 구간을 판정한다. 또한 본 시스템은 가공지선에 흐르는 뇌격 전류의 검출도 가능하기 때문에 뇌격 발생 구간에 대한 판정도 가능하도록 되어 있다.

2. 본 론

2. 1 가공지선 전류 패턴 분석에 의한 사고 및 뇌격 지점 판정 원리

가공 송전선에서 발생할 수 있는 대표적인 선로 사고는 지락 사고와 단락사고이다. 지락 및 단락 사고가 발생하게 되면 가공지선을 따라 수백에서 수kA의 전류가 사고 발생 지점으로부터 수전 및 송전단 측으로 흐르게 된다. 이러한 선로 사고에 따른 가공지선상의 전류 분포는 EMTP 해석을 통해 그림 1과 같은 특징을 얻을 수 있다.



(a) 지락 사고 (b) 단락 사고

그림 1. 사고 구간 판정 원리

1) 지락 사고

① 사고 지점을 중심으로 전류 크기의 변화가 크다.
② 사고 지점을 중심으로 90° 이상의 전류 위상 변화가 나타난다.
③ 사고 지점에서 전류의 크기가 가장 크다.

2) 단락 사고

① 사고 지점을 중심으로 전류 크기의 변화가 크다.
② 사고 지점을 중심으로 30~40° 정도의 전류 위상 변화가 나타난다.
③ 사고 지점에서의 전류의 크기는 최대 포화 전류의 약 1/2 수준이다.

따라서 이러한 전류 분포 특징이 있기 때문에 가공 지선을 따라 전류 검출 센서를 설치해 두고 사고 발생시 각 지점에서의 전류를 검출하여 패턴을 분석하게 되면 사고 지점을 판정할 수 있게 된다.

뇌격 전류는 가공지선을 따라 진행하면서 점차 크기가 감소하는 패턴을 나타낸다. 뇌격 위치의 판정은 센서에 유도 되는 뇌격 전류의 진행 방향에 따라 검출되는 전류의 극성이 달라지는 원리를 이용한다.

2. 2 시스템 구성

그림 2는 사고 및 낙뢰 구간 판정시스템의 개략도이다. 시스템의 구성은 사고 및 뇌격 전류를 검출하는 전류 검출부, 검출된 전류의 저장 및 감시국으로 데이터를 전송하는 Local Unit, 그리고 감시국에서 각 Local로부터 전송된 데이터로서 사고 구간을 판정하는 판정부로 되어 있다.

전류 검출부는 가공지선을 따라 약 1km간격으로 설치되며 전류 검출 개소가 많을수록 위치 판정 정밀도가 높아진다. Local unit은 RTU(Remote Terminal Unit)와 통신모뎀으로 구성되어 있으며 태양광전지를 전원으로 하고 있다.

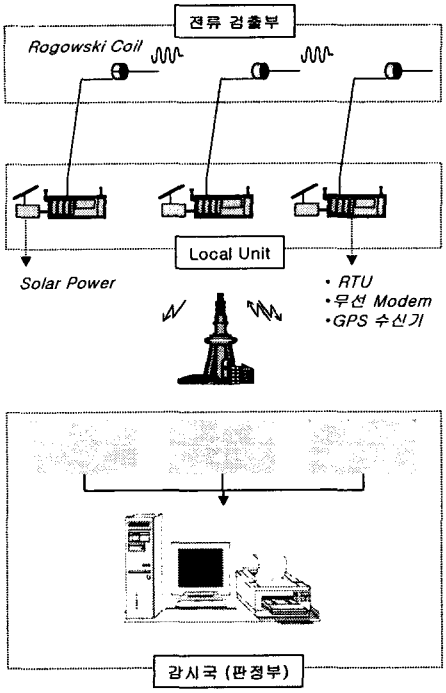
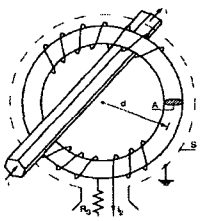


그림 2. 시스템 구성

2. 2. 1 전류 검출부

본 시스템에서는 사고 및 낙뢰전류의 검출을 위하여 로고우스키 코일 방식의 전류 센서를 이용하였다. 로고우스키 코일 방식의 전류 센서는 철심이 없는 구조이기 때문에 종래의 철심형 전류 센서에 비해 가벼울 뿐 아니라 고주파 응답 특성 및 검출 정밀도 또한 우수하여 최근 전력기기의 경량화를 목적으로 사용이 점차 확대되고 있다.

코일로부터의 출력은 그림 3에서와 같이 전압으로 나타나며 전류 파형으로 변환시키기 위하여 적분회로를 거치게 된다. 사고에 의한 전류는 60[Hz]의 상용 주파수인 반면, 낙뢰 전류는 수백 kHz이상의 주파수를 가지기 때문에 사고 전류 및 낙뢰전류에 따라서 코일의 출력전압의 차가 크게 나타난다.



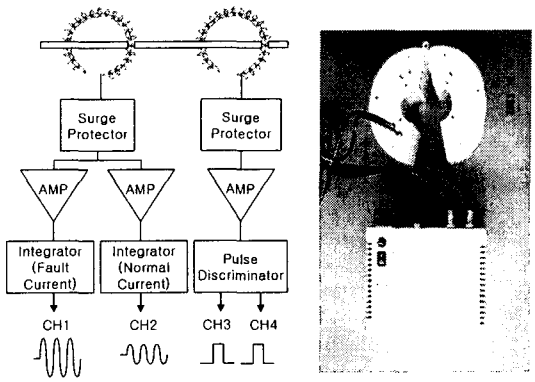
$$v_{out} = \frac{n\mu_0\mu_r A}{\pi d}\frac{di}{dt}$$

v_{out} : Coil 출력 전압
n : 권선 수
A : Toroid 내경
d : Coil 반경

그림 3. 로고우스키 코일 원리

이러한 주파수 차이에 의한 출력전압을 제한하기 위하여 권선수를 달리한 2개의 코일로서 각 전류의 검출이 가능하도록 하였다.

전류 검출부는 사고 전류 파형, 상시 전류 파형, 그리고 낙뢰 전류의 극성에 따른 신호가 출력되도록 하였다. 그림 4는 전류 검출부에 대한 구성도와 시제품을 보여 주고 있다.



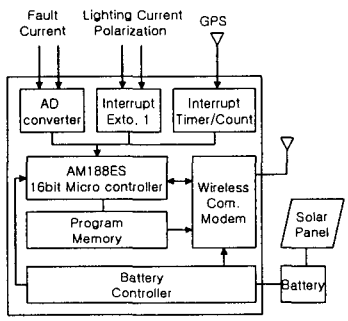
(a) 전류검출부 구성 (b) 시제품

그림 4. 전류 검출부

2. 2. 2 Local Unit

Local Unit는 센서로부터 검출된 사고 전류 파형 및 낙뢰 극성 신호를 저장하고 감시국으로 전송하는 역할을 한다. Local Unit은 RTU와 신호전송부, 그리고 태양광 전원부로 구성된다. 신호의 전송은 CDMA 방식의 무선 전송이 가능하도록 되어 있다. 또한 무선 전송이 불가능한 지역에서의 적용성도 고려하여 광 전송 방식으로도 가능하게 설계 되었다. RTU에서는 Event 설정 기능을 이용하여, 기준치 이상의 신호가 감지되면 사고 전류로 인식하고 최대 100ms 동안의 파형 데이터를 저장한다.

감시국에서의 전류 패턴 분석을 위해서는 각 RTU로부터 전송된 전류파형의 시간동기화가 필요하다. 이를 위하여 각 RTU마다 GPS 수신 장치를 내장시켜 RTU 내부 clock이 GPS clock에 의해 동기화 되도록 하였다. 그림 5는 Local Unit의 구성도 및 시제품을 보여주고 있다.



(a) Local Unit구성도

(b) 시제품

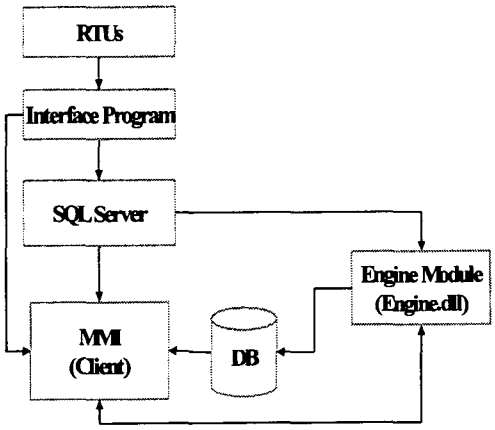
그림 5. Local Unit

2. 2. 3 판정부

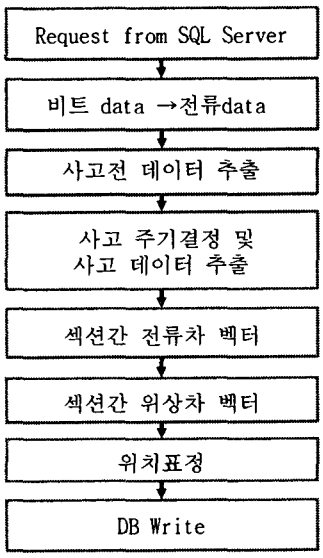
그림 6(a)는 사고 판정 모듈의 알고리즘을 나타낸 것이다. RTU로부터 전송되는 데이터는 사고 전후의 가공지선에 흐르는 사고 전류 파형으로써, 데이터 전송량을 줄이기 위하여 RTU에서 데이터를 압축시킨다.

모든 RTU로부터 사고 전류 파형의 전송이 완료되면, 인터페이스 프로그램에 의해 데이터베이스로 파형 데이터를 저장한다. 이후 사고 판정 모듈을 호출하여 사고의 유무 및 위치를 판정하게 된다.

사고 판정 모듈에 대한 흐름은 그림 6(b)에 나타난 바와 같다. 사고 판정 모듈이 호출되면, 데이터 베이스로부터 사고 전류 파형을 읽고 사고 전 데이터를 추출하는 과정, 사고 주기를 결정하여 사고시 데이터를 추출하는 과정을 거친 후 사고 전후의 데이터의 비교를 실시한다. 이 때 판정에 기준이 되는 각 섹션간의 전류와 위상 정보를 비교하는 사고 위치를 판정한다.



(a) 사고 판정부의 구성



(b) 판정부 알고리즘

그림 6. 사고 위치 판정부

이상과 같이 제작된 본 시스템의 사양을 정리하면 아래와 같다.

표 1. 시스템 주요 사양

측정전류범위	사고 전류	0~20 kA (Peak to Peak)
	낙뢰 전류	0~150 kA (Peak to Peak)
전류 검출 센서 설치 수		Local 당 2 대
신호 전송 방식		무선 또는 광 전송
시각 동기 방식		GPS 위성에 의한 시각 동기
시각 동기 오차		100 μs 이내
위치 판정 방식		집중 판정 방식에 의한 전류 패턴 분석
감시국 주요 정보		- 사고 및 낙뢰 위치의 판정 - 전류 검출부 및 신호 전송 이상 여부 감시 - Local Unit 전원 상태 감시

3. 결 론

본 논문은 분포 전류 패턴 분석 알고리즘으로써 가공송전선의 단락 및 지락 사고와 뇌격 구간을 실시간으로 검출할 수 있는 시스템의 개발에 대해 논하였다.

본 시스템의 개발을 위해 적용된 주요 기술로는 Rogowski Coil을 이용한 사고 및 낙뢰 전류 검출 기술, GPS를 통한 시간 동기화 기술, 그리고 전류 패턴 분석 기술을 들 수 있다.

본 시스템은 분기된 선로와 같이 거리계전기에 의한 임피던스 계산 방식으로 위치 검출 오차가 큰 선로에 대해 사고 위치 감시시스템으로 적용할 수 있다. 또한 가공지선상의 낙뢰 위치의 판정도 가능하기 때문에 낙뢰에 대한 선로 점검 및 사고 예방에 큰 효과를 얻을 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] K. Urasawa, K. Kanemaru, S. Toyota, K. Sugiyama "New Fault Location System for Power Transmission Lines Using Composite Fiber-optic Overhead Ground Wire (OPGW)" *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 4, No. 4, pp. 2005-2011, Oct. 1989.

[2] K. Urasawa, H. Kanoh, "Fault Location System for Electric Power Transmission Lines Based on Fuzzy Knowledge Base" *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 111, No. 4, pp. 108-119, 1991

[3] P.F. Gale, "Use of GPS for Precise Time Tagging of Power System Disturbances and in Overhead Line Fault Location" *Proceedings of IEE Colloquium on Developments in the Use of GPS in Power Systems*, London, Britain, 1994.

[4] M.A. Uman, E.P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. EMC-24, No.2, pp. 79-105, 1982.

[5] Andrew S. Podgorski, "Three-Dimensional Time Domain Model of Lightning Including Corona Effects" *IEEE Tran. Power Delivery*, Vol. PWRD-2, No. 3, pp 931-938, July, 1987.

[6] Arthur Radun, "An Alternative Low-Cost Current-Sensing Scheme for High-Current Power Electrics Circuits" *IEEE Tran. Industrial Electronics*, Vol. 42, No. 1, pp 78-84, Feb., 1995