

광응용 자체센서를 이용한 지중송전선 사고구간 검출에 관한 연구

이 광중* 김석구* 박해수** 김요희**
 * 한전기술연구원, ** 한국전기연구소

A Study on Fault Detecting for Underground Power Transmission Lines
 using Optical Field Sensors

Lee, Kwang-jung* Kim, Seok-koo* Park, Hac-soo** Kim, Yo-hee**
 * KEPCO, ** KERI

Abstract

Recently, for improving the power supply reliability and for rationalizing maintenance, new maintenance and monitoring systems are strongly desired for use in the field of electric power transmission.

In this paper, we describes the optical fault detecting method of underground power transmission lines using bareearth doped YIG Faraday sensors which are very light, small size and fast response.

As regarding, we use the zero phase current detecting algorithm at insulated joints.

1. 서론

최근 대도시 주변에서 증가하는 전력수요에 대응하기 위하여 송변전 설비 면적의 효율화, 간단화에 대한 문제가 중요하게 대두되고 있다. 이러한 방안으로 근래에는 송배전선을 지하전력구나 관로에 포설하는 방법이 채택되고 있으며 일부 응용중이거나 공사중에 있다.

따라서 전력선이 지하에 매설되어 있는 관계로 케이블 및 각종 감시광을 무인으로 중앙감시실에서 감시하게 되면, 작업 환경 개선 뿐만아니라 빠른 시간에 이상 유무를 판단하여 신속하게 복구할 수 있다.

이러한 각종 데이터를 수집하는 센서들은 기존에 사용되어 온 센시와 근래에 많은 연구가 진행중인 광센서를 같이 사용되고 있으나 향후 감시시스템의 광화화에 대비하여, 우선 광전류센서를 이용한 지중송전선의 사고구간을 판정하는 기본 원리에 대하여 설명하고자 한다.

전력선 특히 지하전력구의 송전선 사고시 가장 중요한 것은 가능한 빨리 사고 지역을 찾아 복구하는 것으로, 현재 사용되고 있는 방법인 Murray loop 또는 Pulse radar 방식은 케이블 고장구간을 판정하는데 여러 시간이 걸린다. 따라서 절연 파괴가 일어나는 사고 지역을 빠른 시간에 판정하는 새로운 방식으로 광전류센서를 이용하면 사고 판정을 실시간으로 처리 가능하다.

2. 원리

전력케이블에 지락사고가 일어 났을 때 사고전류는 접지점으로 흐르게 된다. 이 전류는 케이블이 절연접속(Insulating joint)점에서 Cross-bonding 됨으로써 다른 위상을 가지는 근접하는 상의 케이블에 전달되는데 그림 1에서 보인 것처럼 Normal joint에서 분리된다.

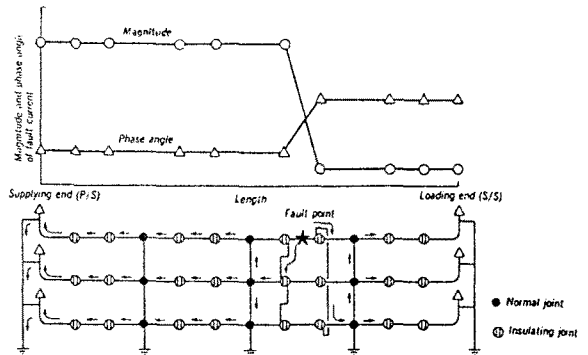


그림 1. 사고전류의 흐름

EHV 케이블의 Sheath 임피던스는 Normal joint에서의 접지저항 보다 매우 낮다. 따라서 사고전류의 대부분은 전력소 쪽의 접지점으로 접지선을 통해 흐르게 된다. 즉, 각 Cross-bonding된 케이블 접속점에서의 사고전류 측정과 그 전류의 분포 형태를 해석함으로써 사고구간을 판정할 수 있다.

따라서 사고구간 판정은 광전류센서에서 검지된 사고전류를 영상화하여 얻어진 영상전류 신호를 단말에서 전류의 크기와 위상을 비교, 분석하여 사고구간을 판정한다. 그림 2는 사고구간을 판정하는 개략적인 흐름도이다.

가. 광전류센서의 설치

전력선의 사고전류를 검지하기 위해서는 사고전류에 영향을 미치지 않는 부분에 센서를 설치하여야 한다. 일반적으로 고려되는 설치부위와 그에 따르는 주의 사항은 다음과 같다.

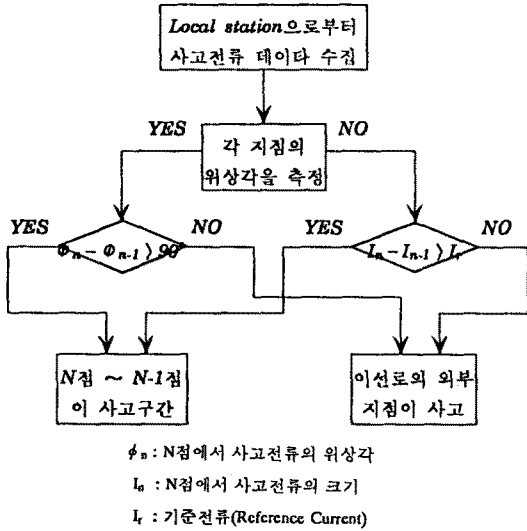


그림 2. 사고구간 판정 처리의 흐름도

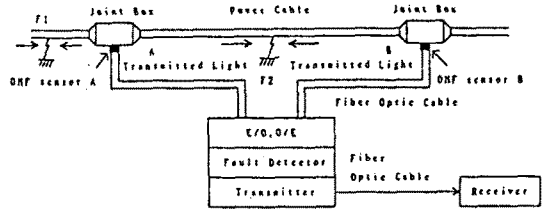


그림 3. 도체가 단상일 경우 사고검출 시스템

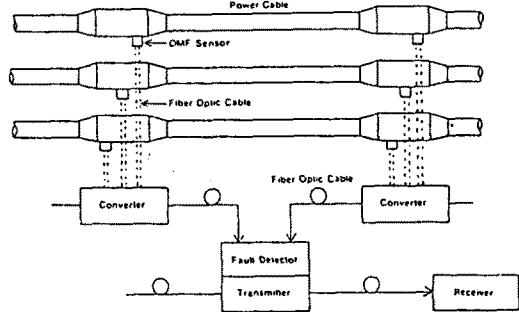


그림 4. 영상 전류법에 의한 사고검출 시스템

① Cable Head(CH) :

CH가 접지선을 가질 때 광전류센서는 접지 터미널의 바깥 부분에 설치해야 되며, 센서는 박스에 넣어 FRP밴드로 고정한다.

② 절연접속부(IJ) :

IJ는 두 개의 Bonding Terminal이 있으며 각 터미널은 접속선으로 다른 접속부와 연결되어 있다. 센서는 두 터미널 사이에 설치되어야 하며, 만약 코어를 사용하지 않을 경우 접속선의 Field Effect를 최소화하는 것이 매우 중요하다.

③ Gas Insulated Transmission Line(GIL), POF Cable 또는 Normal Strair joint(NJ) :

GIL, POF Cable, NJ는 Sheath에서 되돌아오는 전류를 감지하는 것과 같은 특수한 목적 이외에는 사용되지 않는다.

나. 적용방법

그림 3에서와 같이 도체가 단상이고 케이블 길이가 짧다면 양쪽의 센서에 E/O, O/E 변환기를 직접 연결할 수 있다. 그러나 만약 두 센서간의 거리가 길다면 광케이블과 콘넥터와의 접속 손실에 대하여 고려해야만 한다. 이러한 이유에서 두 센서 사이의 거리는 광원을 LED를 사용할 경우 약 600m 정도로 제한된다.

사고감지와 광케이블의 길이를 최소화하기 위하여 영상 전류에 의한 사고판정 시스템을 사용하는데 구성도는 그림 4와 같다. 광전류센서에 의해 측정된 각 상의 전류를 더하여 영상전류(Zero phase sequence current)를 만든다. 그리고 이것을 이웃하는 수신기의 영상전류와 크기 및 위상을 비교한다. 여기서 비록 사고 위상은 정확히 일치하지 않지만 계통의 Circuit Breaker에 의해 미리 정제(Clarified)되었기 때문에 별 문제가 되지 않는다.

3. 사고구간 검출시스템 설계 및 제작

가. 광전류센서

송전선로의 전류 및 위상을 측정하여 사고를 판정하기 위한 전류 검출 센서는 전자유도의 영향을 받지않고 크기가 매우 작아 선로의 특별한 변경이 없이 설치 가능한 광결정 전류센서를 사용한다. 또, 광전류센서는 빛의 변화량으로 전류를 측정하므로 순간 변화에 매우 민감하여 사고전류 측정에 유리하며 사고시에 사고전류의 영향을 직접 받지않는 자체 측정 방식을 채택하므로 사고가 센서를 손상시킬 염려가 없다.

광전류센서의 기본원리는 자기광학효과(파라데이효과)를 이용하는 것으로 매질에서 광의 편광면 회전(Polarization Rotation)은 광파의 통과 방향에 평행한 자계 성분에 비례한다. 자계에 따른 회전각 θ 는 다음과 같이 된다.

$$\theta = V H L \cos \phi \text{ (min)} \dots \dots \dots (1)$$

V: Verdet 상수 (min/Oe · cm)

L: 광로장 (cm)

H: 자계 (Oe)

ϕ : 광파와 자계가 이루는 각 (deg)

여기서 회전각 θ 를 크게하여 감도를 증가시키려면 결정의 Verdet 상수가 크거나 결정의 길이가 길게(혹은 광로장)하는 방법이 있는데 후자의 방법에는 한계가 있으므로 전자를 택하는 것이 바람직하다.

또 광전류센서는 온도의 변화가 심한 옥외 혹은 전력구내에 설치되므로 센서 및 주변 광학부품의 온도 특성이 우수해야 할 필요가 있다. 특히 본 시스템은 센서에 미치는 자계를 크게하는 집코어를 사용할 수 없기 때문에 자기광학 상수가 큰 결정을 사용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 온도보상용

피토류가 첨가된 YIG결정을 사용하였다. 피토류가 첨가되어 온도 안정화된 YIG의 특성은 표 1.과 같다.

표 1. 온도 안정화된 YIG의 특성

결정조성	$(Eu_{1.0}Ho_{0.55}Y_{0.45}Bi_{1.0})_3Fe_5O_{12}$
광투과대역 (nm)	750~860
Verdet 정수* (deg/Oe)	2×10^{-2}
Verdet 정수의 온도변화 (%이하 (-20~+80℃))	1
광투과손실* (dB이하)	2~3
포화자계강도 (Oe)	~1500

*AR코팅, 결정두께 30 μ m, 파장 0.85 μ m의 경우

이러한 광결정센서를 이용하여 광전류센서를 구성하는 기본 구성은 그림 5와 같이 편광자를 거쳐 선형편광된 빛을 45° 회전시키는 편광 필터를 통하여 결정센서에 투과되고 이 빛은 결정에 평행하게 가해진 자계의 크기에 따라 편광면이 회전한다. 이렇게 회전된 빛은 검광자를 통해 광량의 변화를 감지하므로써 자계, 즉 전류의 크기를 측정할 수 있다.

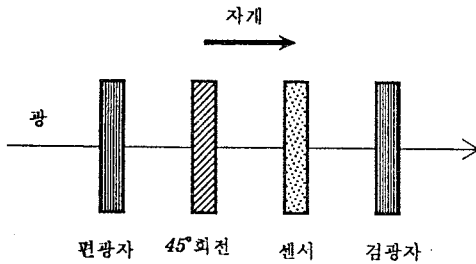


그림 5. 광전류센서의 기본 구성도

위 그림의 광학적 해석을 Jones행렬을 이용하여 수식으로 나타내면 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} E_{11} \\ E_{\perp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} E_0(\cos\theta + \sin\theta) \\ 0 \end{bmatrix} \dots (2)$$

나. 신호처리부

전체 감시시스템 구성은 그림 6과 같으며 영상전류법에 의한 사고구간 판정시스템과 전력구 각종 감시센서에서의 신호를 수집하여 이상유무를 중앙에서 감시하는 시스템의 블록다이어그램이다. 표 2는 그림 6의 각 모듈별 기능을 요약한 것이다.

단말 장치의 기본 기능은 각종 센서에서 받은 데이터를 일시 저장하고 이 데이터로 이상 혹은 사고 유무를 검지하여 중앙으로 전송하는 것으로 전송은 광으로 변환하여 보낸다. 이렇게 보내진 데이터는 중앙에서 사고 구간을 판정하고 다른 센서에서 보내진 데이터를 직접 감시하여 컴퓨터에 보여주거나 기억하고 필요한 데이터는 출력시킨다. 또, 중앙감시장치(PC)에서는 사고감시 뿐만 아니라 원하는 데이터에 따라 화면을 바꿔주면서 감시량을 볼 수 있다.

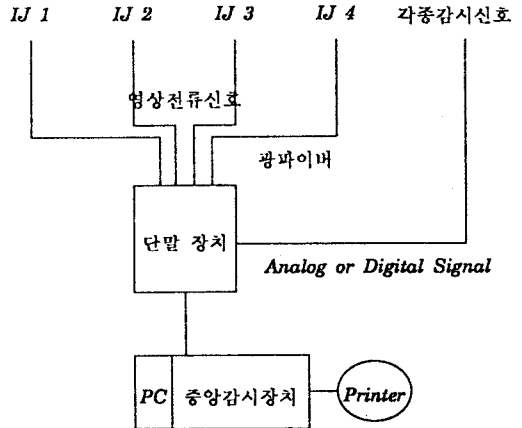


그림 6. 지하전력구 감시시스템 블록다이어그램

표 2. 지하전력구 감시시스템의 모듈별 주요 기능

모듈	기능
단말 장치	<ul style="list-style-type: none"> 4개의 감시 지점의 사고 판단 8 채널까지 아날로그 개측 가능 사고정보 및 아날로그 정보를 광으로 변환하여 기억장치로 전송
중앙감시장치	<ul style="list-style-type: none"> 광파이버를 통해 수신된 단말측 정보(케이블 사고 및 각 센서들의 정보)를 전기적신호로 변환하여 저장 및 중앙감시장치로 전달 단말 장치를 주기적으로 감시하고 사고시 사고구간 판정 및 표시 각종 센서로부터 수집된 데이터 수집 및 감시 각 감시 데이터별 표시 화면 구성

4. 결론

본 연구는 지하전력구의 종합감시를 목적으로한 기초연구로써 광전류센서를 이용하여 사고구간을 검출하는 알고리즘과 신호처리 및 광센서에 대하여 간략히 설명하였다. 광센서의 응답특성은 매우 양호한 것으로 나타났으며, 사고구간을 판정하는 기본 알고리즘에 대하여는 이론적인 근거로 간단한 실험을 통하여 그 가능성을 보였다. 향후 전력계통의 사고판정 뿐만 아니라 광네트워크를 통한 광감시시스템의 기초연구로서 활용 가능할 것이다.

참고문헌

1. Kiyoshi Kurosawa "Reduction of Crosstalk Errors in a Polarization Interferometric Optical Fiber Sensor" 電子情報通信學會 論文紙 C-1 vol. J74-C-1, No.12, pp. 560-566 1991.12
2. Kiyoshi Kurosawa "Faraday Effect Current Sensor Using Flint Glass Fiber for The Sensing Element"
3. K.Kurosawa, S.Yoshida, E.Mor, G.Takahashi, S.Saito, "Development of an Optical instrument transformer for DC voltage measurement" IEEE 93 WM 005-9 PWRD