

전력 시스템 감시 제어용 광센서 기술

김영수\*  
\*초당대학교 전자공학과

Optical Sensor Technology for Supervisory and Control of Electric Power System

Young-Soo Kim  
Dept. of Electronic Eng., Chodang University

**Abstract** - Electric power systems are becoming advanced by using new technology year by year. However, in electric power system environments, electromagnetic interference occurs in measurement, supervisory and control systems, especially in sensors. Optical sensor technologies are useful for solving the problem, since they are not affected by electromagnetic interference because they are composed of insulating materials. In this paper, some applications of optical sensor technology to electric power systems are introduced.

식이다. Point형 광센서는 크게 다음 두 가지로 분류할 수 있다.

- (a) 직접 광강도 변환방식 광센서
- (b) 광학소자 방식 광센서

직접 광강도 변환방식은 그림 1에서 보여주는 바와 같이 기존 전기계 센서인 변환기에서 오는 신호의 크기에 따라 전기신호/광신호 변환기의 구동회로 입력측에 가해져 광원을 구동하는 방식이다. 이 경우 광원의 선형성이 시스템 측정 오차에 영향을 미친다.

그림 2는 광학소자 방식 광센서를 나타낸다. 피측정 물리량이 광센서 소자에 인가되면 센서를 통과한 후 광학적 현상(편광, 산란, 흡수, 복굴절 등)이 변화한다. 이 변화량을 수광소자로 검출하고 신호처리하여 피측정 물리량을 계측하는 원리이다.

1. 서 론

광센서는 일반적으로 광섬유의 사용 방법에 따라서 Point형 광센서와 분포형 광센서로 구분된다. Point형 광센서는 광섬유를 전송로로 이용하지만, 분포형 광센서는 광섬유 자체를 센서로 이용한다. Point형 광센서는 다시 두 가지로 분류할 수 있는데 E/O 변환기, O/E 변환기를 사용하여 기존 전자식 변환기에서 오는 신호를 광신호로 변환한 후 다시 신호를 광섬유를 통하여 전송 처리하여 피측정 물리량을 계측하는 방식이고, 다른 하나는 광센서 소자를 광섬유의 사이에 삽입하여 빛의 편광, 산란, 흡수 특성 등을 이용하여 물리량을 계측하는 방식이다. 직접 계측이 가능한 분포형 광센서는 전형적으로 OTDR(Optical Time Domain Reflectometry)의 원리를 이용한다. 즉, 입력 펄스에 대한 후방산란광의 지연속도차를 이용하여 피측정 지점의 위치를 파악하고, 그 위치에서 산란광의 세기(물리적 변화량)을 계측한다. 이와같이 광센서 기술은 전력시스템에서 많은 장점을 가지고 있어 일본, 미국 등 기술 선진국에서는 지중 송전선이나 전력선에 다양하게 적용 시험중에 있고 앞으로 실선로에 확대 운용될 것으로 전망된다.

본 논문에서는 Point형 광센서와 분포형 광센서의 여러 가지 응용분야중 전력시스템 계측, 감시, 제어분야에 활용이 기대되는 광센서의 연구 동향 및 적용 기술에 대하여 소개한다.

2. 본 론

2.1 Point형 광센서

2.1.1 개요

Point형 광 광센서는 광섬유를 전송로로 이용하는 방

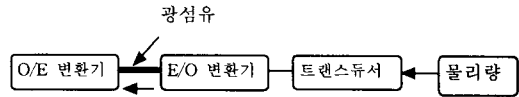


그림 1. 직접 광강도 변환 광센서

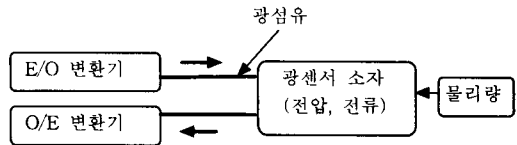


그림 2. 광학소자 방식 광센서

2.1.2 Point형 광센서 응용

(1) 직접 광강도 변환방식

사고에 의해 유도되는 OPGW 전류를 직접 광강도 변환방식 광CT로 검출하여 사고 구간을 파악할 수 있다. 적용 회로의 예를 그림 3에 나타낸다.

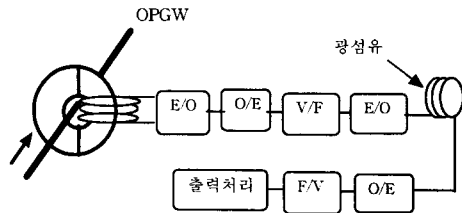


그림 3. 직접 광강도 변환방식 광센서

OPGW상에 직접 광강도 변환방식의 광CT를 장착하여 OPGW에 흐르는 전류에 의해 유기되는 기전력으로 발광소자를 직접 구동한다. 이 광강도 변조된 신호는 광섬유를 통하여 수광소자에 의해 전기 신호로 변환된 후 전압/주파수 변환된다. 이 신호는 다시 광신호로 변환되어 감시 장치가 있는 측정실로 송신된다. 도달된 광신호는 전기신호로 변환되고 주파수/전압 변환되어 출력되며 사고 전류 발생시 신속히 처리되도록 구성된다.

(2) 광학 소자방식

전력 시스템에서 가장 많은 활용이 기대되는 광학 소자방식의 광센서로는 Faraday 효과를 이용한 광전류 센서와 Pockels 효과를 이용한 광전압 센서가 있다. 그림 4는 광전류 센서의 구성을 나타낸다. 광전류 센서에 일정한 광파워를 공급하고 적당한 바이어스를 주고 외부에서 자계를 인가하면 센서소자를 통과하는 광의 편광면이 외부 자계의 세기에 비례하여 회전한다. 이 회전량 ( $\theta = v \cdot H \cdot D$ )을 검출하여 적절한 신호처리를 하여 전류를 측정한다. 광전류 센서의 응용 분야로는 상용주파수 전류 감시(22.9Kv용 광MOF, 154Kv용 광CT) 영상전류 검출용 광센서, 서지전류 감시용 광센서, 지중케이블 사고구간 검출시스템용 광전류 센서 등이 있다.

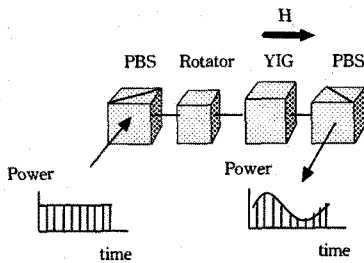


그림 4. 광학소자를 이용한 광전류 센서

그림 5는 광전압 센서의 구성을 나타낸다. 광전압 센서에 일정한 광파워를 공급하고 적당한 바이어스를 주고 외부에서 전계를 인가하면 센서소자를 통과하는 광의 X축과 Y축 성분의 위상차가 외부 전계 강도에 비례하여 발생한다. 이 위상차 ( $\delta = \pi V / V_p$ )을 검출하여 신호처리를 하여 전압을 측정한다. 광전압 센서의 응용 분야로는 상용주파수 전압 감시(22.9Kv용 광MOF), 서지전압 감시용 광PT, 애자 분담전압 검출용 광PT 등이 있다.

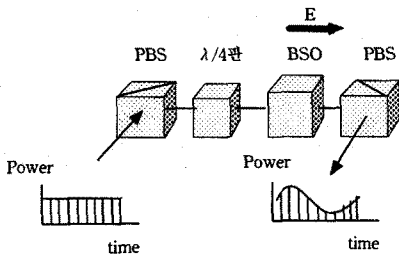


그림 5. 광학소자를 이용한 광 PT 구성

2.2 분포형 광센서

2.2.1 개요

분포형 광센서는 전형적으로 OTDR(Optical Time Domain Reflectometry) 방식을 이용한다. 그림 6은 OTDR에 의한 후방 산란광 측정시스템 구성을 나타낸다. 짧은 광펄스를 광섬유 입력단에 입사시키면 광섬유 전체 길이를 따라서 광섬유 분자 운동에 의한 여러 가지 산란이 모든 방향으로 일어난다. 대부분의 산란광은 광섬유 밖으로 빠져나가고 극히 일부만 광섬유 입력단으로 되돌아 온다. 이것을 후방 산란광이라 한다. 광섬유의 굴절률을 알고 있으므로 광섬유내 빛의 속도를 알 수 있어 입력 펄스광과 후방 산란광의 지연 시간을 측정함으로써 산란이 발생한 위치를 파악할 수 있다.

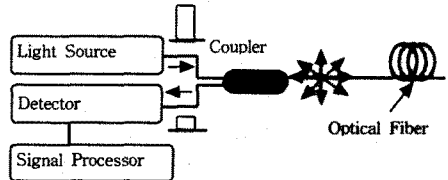


그림 6. OTDR 시스템 구성

2.2.2 후방산란광의 특성

후방산란광의 파장대별 성분을 분석해보면 입사광과 파장이 동일한 Rayleigh 산란광, 입사 파장에서 약간 떨어진 Brillouin 산란광, 입사광 파장과 좀더 멀리 떨어진 Raman 산란광 세가지로 나타난다. 이들 세 가지 산란광 스펙트럼을 그림 7에 나타낸다. 또, 산란광의 신호레벨과 파장의 관계를 표 1에 나타내었다.

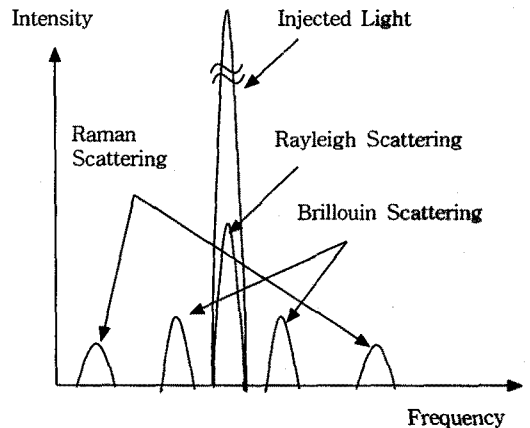


그림 7. 후방산란광 스펙트럼

(1) Rayleigh 산란

표 1에서 보여주듯이 대부분의 산란광은 입사광과 파장이 동일한 Rayleigh 산란광으로써, 광섬유 내의 미약한 굴절률 변화에 의하여 발생한다. 신호 레벨이 비교적 크고 입사광과 파장이 동일하여 광커플러, 수광소자 및 간단한 신호처리 회로로써 OTDR을 구현할 수 있다.

OTDR의 주 용도는 광섬유 전체 길이에 대한 손실 분포를 측정하는데 이용된다. 최근에는 광섬유 벤딩 손실을 의도적으로 유발하도록 장치를 고안하여 광섬유를 따라 설치하여 GIL(Gas Insulated Transmission Line) 가스 누출 위치 감시에 응용되고 있고, 철도, 교

량, 인텔리전트 빌딩 등 주요 시설물의 구조물 on-line 안전 진단시스템에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그림 8은 실험실에서 제작한 OTDR 시스템을 이용하여 관측한 Rayleigh 산란 광의 측정 파형을 보인다.

표 1. 후방산란광의 파장과 신호레벨

항 목	주파수	신호레벨	참 고
Injected Light	$\nu_0$	0 dB	1.55 $\mu$ m
Rayleigh Scattering	$\nu_0$	-46 dB	1.55 $\mu$ m
Brillouin Scattering	$\nu_0 - \text{수십GHz}$	-67 dB	-
	$\nu_0 + \text{수십GHz}$	-67 dB	-
Raman Scattering	$\nu_0 - \text{수십GHz}$	-64 dB	1.65 $\mu$ m
	$\nu_0 + \text{수십GHz}$	-74 dB	1.45 $\mu$ m

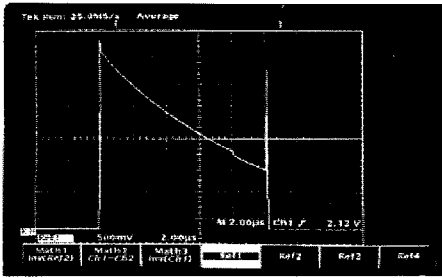


그림 8. Rayleigh 후방 산란광 측정 파형

### (2) 브릴루앙 산란

브릴루앙 산란광의 주파수 천이는 기계적 스트레스에 의해 강한 영향을 받는 광섬유 내의 음향속도에 비례한다. 따라서 브릴루앙 산란광은 광섬유의 기계적 변위를 측정하는데 사용가능하다. 브릴루앙 산란광의 강도는 매우 미약하여 활발한 연구는 이루어지지 못했다. 이 분야는 새로운 기술 분야로써 실용화 단계에 이르기 위해서는 많은 연구와 노력이 필요하다. 분포형 스트레인 측정 시스템과 10Km 이상의 분포형 온도 측정시스템(DTS)에 관한 연구가 일부 진행되고 있다.

### (3) 라만 산란

입사파의 광자와 산란 매질인 실리카 분자 사이에 에너지를 주고 받음으로써 입사파의 파장을 변화시킨다. 라만 산란은 산란 매질의 열적 현상에 의해 결정되어지는 함수이므로 라만 산란파의 광강도는 절대온도의 함수이다. 따라서 OTDR 시스템에 의하여 산란이 발생한 지점을 파악하고 간섭필터로 Stokes파와 Anti-Stokes 파를 분리한다. 라만 산란파의 강도가 매우 약하기 때문에 평균화 회로로 수십만배 평균화 처리한 후 광섬유 길이에 대한 온도 분포를 계산 출력한다.

라만 산란을 이용한 온도계측 시스템의 구성도를 그림 9에 나타내었다. 광섬유 전체 길이에 대한 온도 분포의 그림이 출력으로 나타남을 보여주고 있다. 라만 산란을 이용한 경우 장거리용의 경우 전체 측정 구간은 10Km 내외이고 측정정도는  $\pm 1^\circ\text{C}$  정도이다.

라만산란을 이용한 분포온도 측정시스템은 전력시스템에서 활발하게 적용될 것으로 전망된다. 일본의 경우 GIL 합체 온도를 측정하여 사고를 감지하려는 목적으로 사용하고 있다. 또 하나는 지중케이블 온도 분포를 감시하여 부하전류 제어와 과잉 열상승 부위를 검지하여 사고 위치를 파악하려는 목적으로 사용하고 있다.

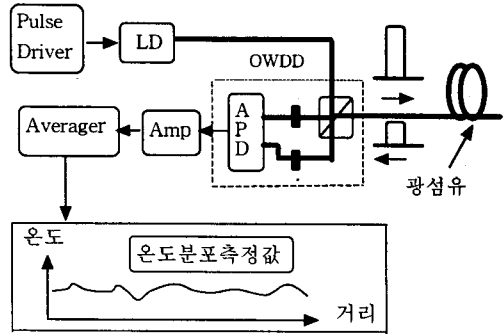


그림 9. 라만 산란을 이용한 온도계측 시스템

## 3. 결 론

본 논문에서는 Point형 광센서와 분포형 광센서의 구성 방법과 적용사례를 소개하였다. Point형 광센서의 경우 광CT, PT의 활용도가 높아 고신뢰성 전력감시 제어 분야에 많이 적용될 것으로 기대된다. 분포형 센서의 경우 광섬유 자체를 센서로 사용하기 때문에 별도의 센서를 설치할 필요가 없다. 또 OTDR 기술을 적용하여 설치된 센싱용 광섬유 전지점에 대한 특정 지점의 물리량(온도, 압력, 스트레인 등) 측정이 가능하다. 이 기술은 앞으로 지중 케이블 온도 감시, 부하전류 감시 등 여러 분야에 적용이 기대된다. 그러나 광센서가 기존 기계식 및 전자식 센서에 비하여 값이 비싸다는 단점이 있다. 그러나 광센서는 전자과 간섭을 받지 않는다는 매력 있고 분포형 센서 구성이 가능하기 때문에 전력회사, 가스, 오일 등을 취급하는 악환경의 플랜트에서 활발히 적용될 것이다.

## 4. 참고문헌

- [1] A.Miyazaki, et al., "Gas pressure monitoring system for GIL using fiber-optic gas density sensor", Proceeding of IEEE PES Winter Meeting vol.1, p.221-226, 1999.
- [2] 김영수의, "광파이버 온도 압력 센서 개발에 관한 연구", 과학기술처연구보고서, 1993.
- [3] 김요희, 김영수 외, "광기술을 이용한 사고구간 검출 시스템 기술연구", 한국전력공사 연구보고서, 1994.
- [4] N. Matsuoka, et al., "Supervisory Information System of Overhead Power Transmission Lines for the CLP", Sumitsmo Electric Technical Review No.36, p.43-49, 1993.
- [5] 오상기, 김요희, 김영수의, "광섬유 분포온도 측정용 광원 및 수광부 개발", LG전선(주)보고서, 1998.