

# 전력용 레이저 응용 계측기술

김요희

(한국전기연구소 전력전자연구부 책임연구원)

## 1. 서론

트랜지스터 및 IC의 발명으로 전자기술이 매우 빠른 속도로 발전을 하였으며 각종 자동화기기 및 계측·제어 설비에 최신의 전자기술을 적용하여 소형, 고신뢰성인 시스템으로 발전하고 있다. 그러나 전력설비용 감시, 제어, 보호시스템등은 고전압, 대전류등의 환경에 의한 제반 영향을 받고 있기 때문에 고정도, 고신뢰성 시스템 구축을 위해서는 전자기술의 적용으로서는 문제점이 많이 존재한다. 이 문제를 해결하고자 전기적 환경에서 뛰어난 성능을 갖는 반도체 레이저, 광파이버, 광검출기등을 핵심으로 하는 레이저 응용 계측기술이 폭넓게 응용 연구되고 있다.

최근 많이 사용되고 있는 광전자(optoelectronics)의 의미는 광기술과 전자공학기술의 장점을 결합하여 빛과 전자를 상호 제어함으로써 각각의 장점을 살리는 공학분야라고 할 수 있다. 광전자 공학에서 대표적인 광파이버는 무유도성, 고절연성, 방폭성등의 특성을 갖고 있으므로 전력전자 분야에서 발전소, 변전소, 송배전선등의 각종 감시제어장치에 다양하게 응용할 수 있고 국내에서도 전력 정보 전송로로서 포설되고 있으며, 전력선에 광파이버를 복합 취부하여 전력용 통신망의 확장이나 건설비 제고에 유연하게 대처 꾸준히 연구 검토되고 있다.

한편 전송계와 연결된 각종 전압, 전류, LS, CB등의 정보를 효율적으로 검출하여 전송하는 분야 뿐만아니라 차단기, 변류기, 전력변환장치 등에도 응용이 기대되고 있다. 이중 광변성기(광CT, 광PT)는 국내에서도 연구가 활발

히 진행중에 있으며 머지않아 실용품이 나올 전망이다.

본고에서는 레이저 계측기술이 특히 전력환경에 적극 도입되고 있는 배경과 레이저응용 계측원리를 기술하고 지금까지 발표되거나 제안된 문헌을 근거로 하여 현재 적용되고 있거나 적용가능한 레이저응용계측분야를 소개하고자 한다.

## 2. 전기환경과 레이저응용계측

최근들어 경제활동의 성장과 사회의 고도화에 따라 전력수요가 증대하여 전력설비가 거대해지고 전력의 안정적 공급 및 효율적인 이용이 요구되고 있다. 특히 전기생산설비인 발전계통에서 소비설비인 배전계통에 이르기까지 계통운용을 위한 감시제어나 보호기술의 고도화와 전력기기의 保수를 위해서 상태감시나 이상진단을 행하기 위해 컴퓨터나 마이크로프로세서를 이용한 디지털 신호처리 기술이 사용되고 있다. 그러나 전력환경은 이러한 디지털 방식의 시스템이 높은 신뢰성을 유지하기에는 많은 문제점들을 갖고 있다. 고전압이나 대전류 환경이 상시 존재하고 있으며 대전류나 고전압이 충전된 개폐기의 조작이나 고장시 생기는 각종 임펄스 전압전류 그리고 자연계의 기상변화에 기인하는 뇌서지등이 직접 경로를 통해서나 간접적인 정전유도나 전자유도에 의하여 제어장치에 영향을 주고있다. 이러한 환경내에서 디지털 시스템을 보호하기 위하여 중앙처리장치를 위해 환경과 이격되어 설치되는 원격제어방식이 적용되고 있으나 센서단말이나 전송매체는 전력설비 근방에 설치되어 있다. 이러한

환경에서 디지털 신호를 송수신하는 장치에 여러가지 잡음이 포함되므로 계측제어 시스템의 보호나 정밀성을 유지하기가 곤란하다. 이러한 환경에서는 표1에서 표시한 것처럼 유도잡음이나 서지 및 절연에 강한 레이저응용 계측기술의 적용이 가장 적절한 것이라 할 수 있다.

표 1. 레이저 응용계측기술의 특징

광 전송	광 센서	전력계에서 이점
· 광대역(고속, 대용량)	· 驅動電源不要	· 耐서지 對策
· 低損失	· 耐電壓性	· 耐電磁誘導對策
· 漏洩이 없음	· 耐電磁誘導	· 耐磁氣誘導對策
· 電磁誘導障害 없음	· 耐서지	· 耐靜電誘導對策
· 輕量	· 防爆性	· 耐絶緣性
· 絶緣性	· 小形, 輕量	· 檢出部 全源不要
· 省資源		· 電力機器内部 狹小場所에 利用可能
		· 高信頼度化
		· 多種計測데이터
		광역순시 전송

### 3. 레이저 응용 계측의 원리

계측의 정의는 사물을 양적으로 취급하기 위한 방법이나 수단을 고찰하여 그 결과를 이용하는 것이다.

일반적으로 대상물을 양적으로 취급하기 위해서는 여러번의 변환과정을 거치게 된다. 특히 측정량을 직접 변환하기 위한 것을 센서라고 하고 그 변환기를 센서라 하며 또 대상물에서 필요한 정보를 받기 쉽도록 변환하게 되는데 이러한 에너지-전기신호 변환기기를 트랜스듀서라 한다.

센서를 이용하여 목적으로 하는 계측시스템을 구성하는 기술은 레이저의 각종 효과를 응용하여 실현하는데 이러한 광학적 특성을 갖는 센서를 광센서라 하며 시스템을 구성할 때 레이저 계측시스템 또는 광계측 시스템이라 한다. 이러한 계측시스템은 크게 2가지로 대별되는데 레이저응용과 광파이버 응용계측시스템이 있다.

#### 3.1 레이저 응용계측

레이저의 특성을 이용하는 것으로서 레이저광의 응용 방법에 따라 다음 세가지로 분류된다.

(1) 레이저광의 기본적 기능을 이용한 계측  
레이저의 기본 기능에 의한 계측으로 광의 강도, 분포 색채등의 기본적 기능을 직접적으로 이용한 것으로서 가장 넓은 활용범위를 가지고 있다.

(2) 레이저광의 파동적 특성을 이용한 계측  
레이저광의 파동적 특성을 사용한 계측방법으로 대상물이 광의 간섭이나 회절에 의해 미치는 영향을 이용해서 다른 수단으로서는 실현할 수 없는 계측기능을 구현할 수 있다.

(3) 정보처리 기능이 첨가된 계측  
레이저 응용센서와 정보처리 등의 서로 다른 기능을 조합하여 종합적으로 새로운 정보를 추출하는 것이며 전자기술의 발전에 따라 주목을 받고있는 계측기술이다.

이상과같은 계측방식을 표2에 표시하였으며 기계계측, 자동화 기계제어, 로봇트관련 시각센싱 분야에 주로 많이 응용되고 있다.

### 3.2 광파이버 센서응용 계측

#### (1) 광파이버 센서의 사용

광파이버 센서는 광파이버, 레이저 다이오드, 광검출기 등의 광소자가 개발되었기 때문에 이것을 사용해서 종래의 광 응용 계측의 결점이었던 비교적 대형이고 복잡한 광학장치의 도입을 적게하므로써 필요로 하는 기능을 얻을 수 있는 특징이 있다.

광파이버 센서사용은 광으로서의 기능이나 센싱방법이 레이저 응용 계측의 원리와 크게 다를 바 없으나 광파이버 자체를 능동, 수동센서 부품으로 사용하므로써 이것을 사용할 장소에 전기계를 사용하지 않고도 이격된 지점에서 광을 송신하거나 수신하면서 전체적인 계측시스템 구성이 가능하다.

#### (2) 광파이버 센서의 기본구성

광파이버 센서의 기본구성은 그림1에 표시한 것처럼 세가지로 분류된다.

전송로형 센서는 물리량에서 전기량으로 변환하는데 센서의 신호를 광으로 변환하는데 센서의 신호를 광으로 변환한 후 광파이버를 사용하여 전송하는 것이며 광학특성 소자를 사용한 센서는 물리량에 의해 광학특성이 변하는 소자를 계측점에 설치하여 송수신 전송으로서 광파이버를 사용하는 것이다.

참조기준광을 사용한 센서는 정보처리기능을 갖는 레이저 센서와 같은 방식이며 계측대상과 상호작용하여 반

표 2. 레이저 응용 계측 시스템 분류

大分類	光學特性	계측시스템 명칭	주 용 도
기본 기능으로 서의 계측	光的 強度, 強도의 角度分布	· 照度界, 濃度計 · 濁度計 · 光澤度計, 表面狀態計測 · 기타	環境計測制御 水質計測 物體表面의 品質管理制御 各種工業시스템
	光的 波長特性	· 色彩의 計測 · 分析計, 가스분석계 · 적외선 방사온도계	각종공업시스템, 環境制御, 航空宇宙會社, 公共시스템 기타
	光的 Beam 特性	· 各種光電리레이 · 基準線計測 초점위치검출 · 位置, 形狀의 計測, 근접센싱	自動機械制御 土木建設機械制御 3次元形狀計4測시스템
과동적 특성을 사용한 계측	空間的인 干涉性	· 干涉測長機 · 홀로그래피干涉平面形狀計測	工作機械, 機械加工, 組立등의 精密寸法計測 機械의 기초특성연구
	時間的인 干涉性	· 도플러速度計 · 도플러流量計	각종공업 시스템 기류, 액체류등의 기초 특성연구
	電磁波 特性	· Pulse Echo 거리측정 · 변조위상차에 의한 거리측정	特殊用途, 土木建設, 測量 3차원 프로파일계측
정보처리 기능 이 첨가된 계측	光切斷法	· 各種 斷面形狀位置, 三次元形狀 認識시스템	各種工業시스템, 자동화기계 로봇트(2차원, 3차원시각)
	三角測量法	· 三次元 形狀認識시스템 · 근접센싱	各種 工業시스템, 건설, 자동화기계 로봇트(3차원시각)
	Moiré縞	· 三次元 形狀認識시스템	각종 공업시스템
	二次元 光強度分布	· 一般形狀認識, 패턴인식 시각센싱시스템	각종 공업시스템, 자동화기계 로봇트(일반시각시스템)
	레이저光走査表面 에서의 回折	· 表面性狀計測, 表面傷檢査시스템 · 一般形狀, 패턴인식	각종 공업시스템, 자동화기계 로봇트(시각센싱)

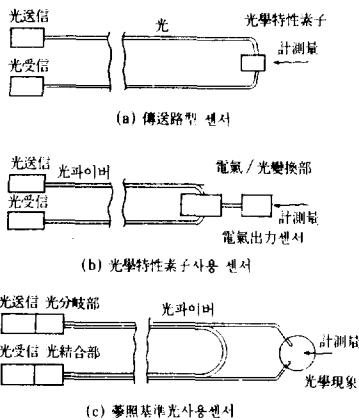


그림 1. 光파이버 센서의 방식

사되어 온 광파와 참조기준광파를 비교하는 방식이다. 이러한 형태의 센서는 광의 과동적 특성을 이용하는 센서구조를 이룬다. 그림 1중 (a)의 센서는 용이하게 구성이 가능하나 (b)의 센서는 광파이버, 광학재료, 광학현상에 밀접하게 관련되어 보다 기능이 많은 센서구현이 필요하다.

(3) 광파이버 센서의 원리

광파이버 센서는 광의 변조원리(표3)에 의하여 위상센서, 광강도센서, 편광센서로 분류된다.

위상센서는 주로 광파이버 또는 광학특성소자를 사용하여 외부에너지에 의해 기계적 변형굴절을 및 속도의 변화에 의해 생기는 위상천이 효과를 이용한다. 대부분의 응용에 단일모드 광파이버와 coherent한 레이저광이 사용되는데 위상의 직접적인 측정이 곤란하므로 간접계를 사

용하는데 주로 Mach-Zehnder, Sagnac, Fabry-Ferot, Michelson 간섭계를 응용한다. 시스템 구성이 다소 복잡하지만 감도가 높기 때문에 많이 응용되고 있다.

광강도 센서는 외부에너지에 의한 광의 강도변화를 측정하는데 위상센서보다 장치구성에 유리하고 다용도 응용이 가능하나 감도가 떨어지는 단점이 있다.

편광센서는 광의 성질이 전자파인 점을 활용하여 외부 전자장에 의한 투과광의 편광면 회전현상을 이용하는 것으로 구성방식이 간단하고 감도가 좋으며 응답속도가 빠르다.

이상과 같은 광파이버 센싱방식은 종래부터 개발되어 온 광응용 계측과는 달리 새로이 부각되어 최근 개발에 역점을 두고 있는 분야이다.

mer)는 전계 및 자계와 광과의 상호작용을 이용하여 변전소의 모선 및 송전선의 전류, 전압을 측정하는 것을 목적으로 하고 있으며 주파수특성, 내잡음성이 뛰어나다.

광CT는 Faraday효과를 이용한다. 자계검출 원리는 glass 등의 매질 중앙에 선형편광의 레이저광을 통과시키고 광의 진행방향으로 자계를 인가하면 자계의 세기에 의하여 입사된 선형편광파의 편광면이 회전하게 되는데 이 회전각을 검광자와 포토다이오드로 검출하여 자계를 측정하는 원리이다.

자계가 측정되면 상대적 전류값도 구할 수 있다.

Faraday효과를 이용한 광CT의 구성을 그림2에 표시하였다.

표 3. 광파이버 센서의 原理

計測物理量	光 變 調	光 學 現 象
電流 · 磁界	偏 位	光 相 파라데이 효과 干渉現象(磁氣歪)
電壓 · 電界	偏 位	光 相 Pockels 効果 干渉現象(電歪)
溫 度	光 強 度	遮蔽板에 의한 光路遮斷 半導體의 透過率變化 螢 光放射
	光強度 · 스펙트럼	發熱體의 放射
	偏 光	複屈折變化
角 速 度	位 相	Sagnac 効果
速度 · 流速	周 波 數	도플러 효과
振 動 加 速 度 壓 力	光 強 度	마이크로 밴드 損失 遮蔽板에 의한 光路 차단 다이아 그램에 의한 반사 강도변화
	偏 位	光 相 光彈性 効果
	周 波 數	干渉現象 도플러 효과

## 4. 전력용 레이저 계측 적용분야

### 4.1 변전소에서의 적용

#### (1) 광CT, PT

광CT(current transformer), PT(potential transfor-

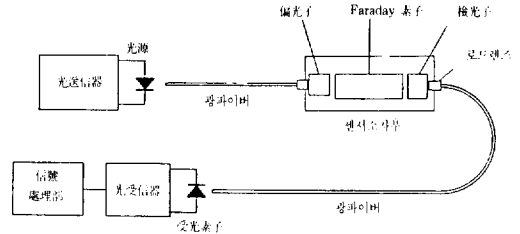


그림 2. Faraday 소자를 이용한 광CT의 구성

광원(He-Ne, LED등)에서 일정한 세기의 출사광이 다중모드 광파이버에 의하여 센서 소자부에 도달한다. 센서 소자부는 편광자, Faraday소자, 검광자로 구성되며 편광자를 통과하여 출사된 선형편광파는 Faraday소자를 통과하면서 외부에서 인가된 자계의 세기에 비례하여 편광면이 회전한다. 이때 회전각을  $\theta_F$ 라 하면  $\theta_F$ 는

$$\theta_F = V_r \cdot H \cdot L \cdot \cos\theta$$

여기서,  $V_r$ : Verdet 정수

$H$ : 인가자계

$L$ : Faraday 소자길이

로 된다. 이 회전각  $\theta_F$ 는 검광자를 통과하여 광강도의 변화로서 검출된다.

그림2에서 편광자와 광축의 상대각도를  $45^\circ$ 로 하면 수광소자에서의 광강도  $P$ 는

$$P = P_0(1 + \sin \theta_F)$$

로 된다. 여기서  $P_0$ 는 자체를 인가하기 전의 수광강도이다. 따라서 광-전기변환된 신호의 크기를 측정하여 인가 자체의 크기를 측정할 수 있다.

Faraday소자로 이용되는 대표적인 재료 및 특성을 표 4에 표시하였다.

센서소자부에서 편광자는 선형편광의 방향이 Pockels 소자의 2개의 주축과 서로  $45^\circ$ 가 되도록 배치하고 Pockels 소자에 전계를 인가하면 출사단면에서는 2개의 주축방향의 광파성분 사이에 위상차  $\delta$ 가 발생한다. 이때 위상차  $\delta$ 의 크기는 인가전계의 크기에 따라 선형으로 변화한다.

표 4. 대표적인 Faraday 재료의 특성

材 料		結晶性	Verdet 定數 (min / Oecm)	旋光性 (deg / mm)	波長 ( $\mu$ m)	溫度特性
反磁 性體	鉛 glass	非晶質	0.04	無	0.85	$< \pm 0.5\%$ (-25~100 $^\circ$ C)
	As <sub>2</sub> S <sub>2</sub> glass	非晶質	0.10	無	0.9	$< \pm 1\%$ (-10~80 $^\circ$ C)
	ZnSe	立方晶	0.21	無	0.82	$\approx \pm 1\%$ (20~120 $^\circ$ C)
	Bi <sub>12</sub> SiO <sub>20</sub> (BGO)	立方晶	0.1	10.5	0.87	$\approx \pm 1\%$ (-13~85 $^\circ$ C)
	Bi <sub>12</sub> GeO <sub>20</sub> (BGO)	立方晶	0.188	9.6	0.85	$\approx \pm 1.5\%$ (-25~85 $^\circ$ C)
常磁 性體	FR-5 glass	非晶質	0.11	無	0.85	$\approx \pm 15\%$ (-25~85 $^\circ$ C)
強磁 性體	YIG	立方晶	9.1	無	1.3	$\approx \pm 8\%$ (-25~85 $^\circ$ C)
	(Tb <sub>0.19</sub> Y <sub>0.81</sub> ) <sub>3</sub> Fe <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	立方晶	15.6	無	1.15	$\approx \pm 1.5\%$ (-20~120 $^\circ$ C)
	(YSmLuCa) <sub>3</sub>	立方晶	49	無	0.83	$< \pm 0.5\%$ (-20~80 $^\circ$ C)
	(FeGe) <sub>5</sub> O <sub>12</sub>					

한편 광PT는 Pockels효과를 이용하는데 그 구성도를 그림3에 나타내었다.

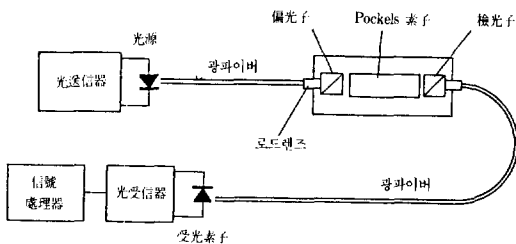


그림 3. Pockels 소자를 이용한 광PT의 구성

시스템 구성은 광원, 광파이버 전송로, 센서소자부, 수광소자, 신호처리부로 구성된다. 광원으로서의 수명, 가격, 물리적·화학적면에서 우수한 LED가 많이 이용된다. Pockels소자에 전압인가시 광의 진행방향에 평행하게 할 경우 종형변조방식이라 하고 광의 진행방향에 수직으로 전계를 인가할 경우 횡형변조방식이라 한다.

2개의 광파성분 즉, 상광선과 이상광선의 위상차  $\delta$ 는

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{41} E \cdot l = \frac{\pi V}{V_p}$$

단,  $\lambda$  : 레이저 광의 파장

$n_0$  : 상광선 굴절율

$r_{41}$  : 전기광학 계수

$E$  : 인가전계

$l$  : Pockels 소자의 길이

로 된다.

$\frac{1}{4}$  파장판은 선형편광파를 원편광파로 변환해주는 소자로 주로 광학 바이어스를 주는 목적으로 이용되며  $\frac{1}{4}$  파장판을 통과한 광은 검광자에 의하여 광강도로 변환된다. 이와같이 센서소자부에서 광강도 변조된 광은 PIN-PD에 의하여 전기신호로 변환된다. 수광소자에서의 광강도  $P$ 는

$$P = P_0 (1 + \sin \frac{\pi V}{V_p})$$

로 나타낼 수 있는데 여기서  $P_0$ 는 인가전압이 0일때의 수광강도이다.

광파이버 전압센서의 검출감도는 Pockels소자로 사용

되는 재료의 전기광학계수  $r_{mk}$ 에 크게 의존하고 있다.

$r_{mk}$ 가 큰 Pockels재료로는 산화물단결정(LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub> 등), 화합물반도체(ZnS, CdTe등), 입방정계의 산화물단결정(Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>, Bi<sub>12</sub>GeO<sub>20</sub>등)이 있다. 표5에 대표적인 Pockels 재료의 전기광학계수 및 굴절율을 나타내었다.

(2) 변압기의 이상검출

① 변압기의 부분방전 감시시스템

이 시스템은 변압기 내부에서 발생하는 부분방전을 전류의 변화 및 방전에 따른 음향파에 의하여 검출하여, 광펄스화된 신호를 광파이버를 통해 중앙제어실로 전송처리한다.

② 변압기의 내부단락 검출

변압기 내부에 국부단락이 발생하면 그림4에서 보는 바와 같이 누설자속의 분포와 자속량의 변화가 생긴다.

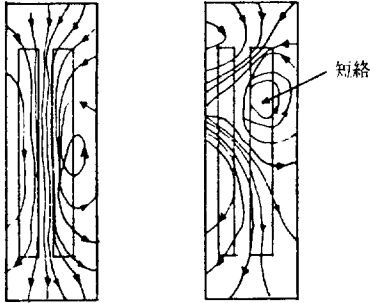
표 5. 대표적인 Pockels 소자의 전기광학계수 · 굴절율

結 晶	対称	1次電氣光學係數			屈折率
		記 號	係 數 ( $\times 10^{-10} \text{cm/V}$ )	波 長 ( $\mu\text{m}$ )	
ZnTe	-43m	$r_{41}^{(T)}$	4.55	0.5~0.6	$n_o=3.1$ ( $\lambda=0.57\mu\text{m}$ )
ZnSe	-43m	$r_{41}^{(T)}$	2.0	0.5~0.6	$n_o=2.66$ ( $\lambda=0.5\mu\text{m}$ )
$\beta$ -ZnS	-43m	$r_{41}^{(T)}$	2.0 ~1.1	0.6	$n_o=2.364$ ( $\lambda=0.6\mu\text{m}$ )
GaAs	-43m	$r_{41}^{(T)}$	0.27~1.2	1~1.8	$n_o=3.42$ ( $\lambda=1.25\mu\text{m}$ )
GaP	-43m	$r_{41}^{(T)}$	1.06	0.5~0.6	$n_o=3.315$ ( $\lambda=0.6\mu\text{m}$ )
Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	-43m	$r_{41}^{(T)}$	0.95	0.631	$n_o=2.11$ ( $\lambda=0.631\mu\text{m}$ )
Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	-43m	$r_{41}$	0.54	0.631	
CdTe	-43m	$r_{41}^{(T)}$	6.8	1.06	$n_o=2.60$ ( $\lambda=1.06\mu\text{m}$ )
Bi <sub>40</sub> Ga <sub>2</sub> O <sub>63</sub>	23	$r_{41}$	4.81	0.63	$n_o=2.25$
Bi <sub>12</sub> TiO <sub>20</sub>	23	$r_{41}^{(T)}$	2.8	0.579	$n_o=2.67$
Bi <sub>12</sub> GeO <sub>20</sub>	23	$r_{41}^{(T)}$	3.1	0.85	$n_o=2.41$
Bi <sub>12</sub> SiO <sub>20</sub>	23	$r_{41}$	4.35	0.87	$n_o=2.45$
LiNbO <sub>3</sub>	3m	$r_{13}^{(S)}$	8.6	0.5~0.6	$n_o=2.286$ $n_e=2.200$ ( $\lambda=0.633\mu\text{m}$ )
		$r_{33}^{(S)}$	30.8		
		$r_{51}^{(S)} = r_{42}^{(S)}$	28		
		$r_{12}^{(S)}$	3.4		
		$r_{22}^{(S)}$	7		
LiTaO <sub>3</sub>	3m	$r_{13}^{(S)}$	7		$n_o=2.176$ $n_e=2.180$ ( $\lambda=0.633\mu\text{m}$ )
		$r_{33}^{(S)}$	30.3		
		$r_{51}^{(S)} = r_{42}^{(S)}$	20		

(주) (S) : Constant Strain, (T) : Constant Stress

$n_o$  : 상광선의 굴절율,  $n_e$  : 이상광선의 굴절율

이 변화량은 저전압 변압기의 경우 서치코일이나 홀소자로 검출가능 하지만 고압변압기의 경우는 여기에 센서를 직접 접속할 수가 없다. 이와 같은 경우는 광파이버 자체 센서를 변압기 내부에 설치하여 간단하게 자속분포를 측정하는 것이 가능하다.



(a) 正常時 (b) 故障時

그림 4. 내부단락시의 변압기 자속분포

## 4.2 발전소에의 응용

### (1) 광파이버 응용 풍향·풍속 계측 시스템

본 시스템은 광풍향·풍속계, 광파이버 케이블, 송수신장치, 기록계 및 지시계로 구성되어 있으며 발전소 상공의 기상관측용으로 사용된다.

송수신장치내의 LD에서 발신된 광은광파이버를 통해 광풍향, 풍속계 내에서 풍향, 풍속에 대응된 광신호로 변환되어 다시 광파이버를 통해 송수신장치내의 PIN-PD

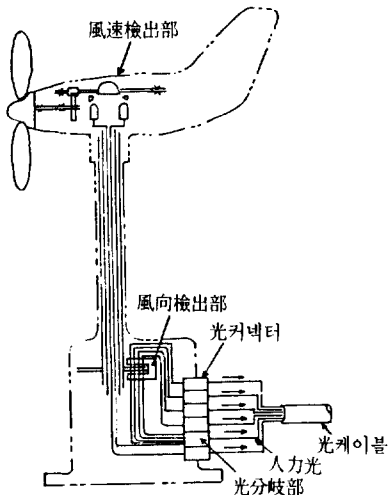


그림 5. 광파이버 응용 풍속·풍향계의 구성

에서 전기신호로 변환된다.

송수신장치 내에서는 이 전기신호를 적산 및 연산처리하여 기록계, 지시계 출력 및 telemeter 출력으로 쓰인다.

풍향, 풍속계는 그림5와 같은 구조로 되어 있으며 광케이블, 풍속검출부, 풍향검출부로 구성되어 있다.

### (2) 로내 연소상태 관찰·감시

화력발전소에서는 torch의 착화상태나 로내 전체의 연소상태의 감시에 ITV카메라를 로벽에 설치하여 내열창을 통하여 직시하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 카메라를 내압방폭케이스로 보호하고 물이나 냉각공기로 냉각시켜야 한다. 또 카메라가 로벽의 근 거리에 위치하고 있기 때문에 보일러에 열, 진동등의 영향을 받아 고장이 자주 일어난다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 그림6처럼 이미지(이미지)파이버 방식의 로내연소 감시방식이 개발되고 있다.

로벽에는 이미지 파이버의 찰상부가 들어있는 구멍(직경 약20cm)를 설치하고 ITV카메라는 로벽에서 충분히 떨어진 장소에 설치한다. 따라서 냉각은 이미지 파이버만 필요하기 때문에 소량의 공기로도 가능하고 카메라가 열, 진동, 오손등의 영향을 받지않고 냉각도 필요치 않으므로 신뢰성이 향상되고 구조도 간단하여 보수작업이 용이해진다.

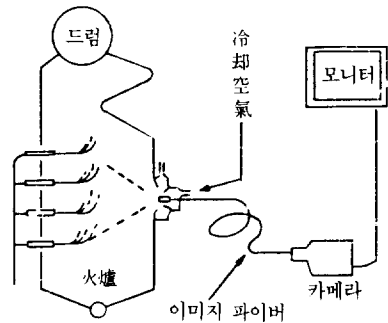


그림 6. 이미지 파이버 방식

### (3) 정전기계측

석유등의 가연성 액체는 정전기가 대전되기 쉽다. 이러한 정전기는 화재의 원인이 될 수 있으므로 정전기를 상시 감시하여 화재를 미연에 방지하는 것이 필요하다.

광파이버 전압센서는 센서부에 에너지원을 갖고 있지 않으므로 가연성 물질의 정전기 계측에 적합하다. 그림7은 광파이버 전압센서를 이용한 직류고전압 검출장치를 대전된 액면에 접속시켜 정전기 검출을 행하는 그림이다.

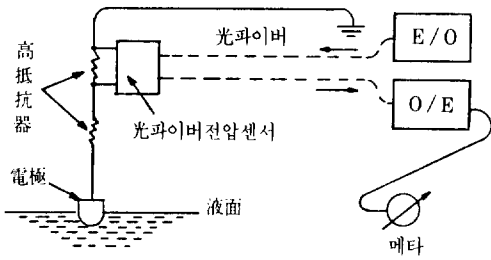


그림 7. 액면전위 측정방법

### 4.3 송전선에의 응용

#### (1) 뇌관측

##### ① 서지파형계측 시스템

Rise time이 수  $\mu$ s의 서지파형(전압 또는 전류)을 측정하기 위하여 광파이버의 절연, 무유도의 특징을 이용한 계측시스템이 연구 실용화 되고 있다. 서지전압(또는 전류) 파형은 분압기(또는 분류기)에 의해 LED에 전류를 흘려서, 발광시킨 광강도를 광파이버를 사용하여 측정기까지 전송한다. 수신부에서는 이미 기억된 컴퓨터에서 파형에 관련된 data처리(파고치, 파두장, 파미장)가 행해진다. 이 기술을 사용하여 각종 전기기구나 전선케이블의 각종 시험이 행해지고 있다.

##### ② 뇌파형관측 시스템

본 시스템은 기능에 따라 검출부, 광전송로, 관측처리부로 분류된다. 검출부는 뇌검출용 CT와 E/O 변환기로 구성되며, E/O 변환기는 LED와 광합파기로 구성된다. 검출부의 기능은 뇌검출전류를 CT에 의해 검출하여, 뇌는 극성을 갖고 있으므로 CT에 2차측에 역병렬로 접속하여 발광파장이 다른 LED로 변환하여 광파이버 합파기를 경유하여 OPGW의 1섬에 실어서 전송한다. 전송로는 OPGW에 들어있는 광파이버 케이블로 구성되고, 관측처리부에서는 광분파기에 의해 각파형에 대응하여 분리되어 APD에 의해 정(+) 부(-)의 전기신호로 변환되고 증폭후 A/D 변환되어 디지털 메모리에 저장된다. 기록이 종료되면 미니컴퓨터에 전송되어서 자동적으로 해석이 시작된다.

#### (2) 송전선 사고점 표정 시스템

그림8은 본 시스템의 구성도로서 양단 변전소에서 지착사고에 의한 서지 전압파형을 광응용 전압센서로 검출하여 그 서지파가 양단의 변전소에 도달하는 시간차를 계측하여 송전선호의 사고점 위치를 표정한다.

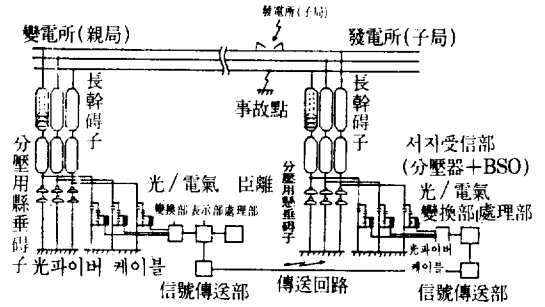


그림 8. 송전선 사고점 표정 시스템

BSO센서부에서는 광신호를 E/O변환후 그 편향각에 의하여 신호전압을 검출하고 이에 비례하는 직류전압이 출력된다. 이 신호에서 60Hz의 교류성분을 고역통과필터로 제거한 후 고속 A/D변환하여 메모리에 저장한다. 파형데이터의 기록은 센서부의 어느편에서 트리거레벨을 초월한 경우 트리거 유닛에 의해 기동되도록 되어있다. 메모지에 기록된 파형데이터는 별도로 설치된 마이크로 파 회선의 음성채널을 이용하여 입력되고 서지파의 도착 시간차를 산출하여 거리로 환산된다.

#### (3) OF케이블의 유량검출

그림9는 광센서를 이용한 유량검출장치로서 센서 헤드의 글래스와 기름과의 굴절율차에 의한 반사광량의 변화를 검출하여 광파이버가 기름중에 있는 경우에는 광파이버 소자를 통해 광이 외부로 발산하고 광파이버가 공기중에 있을 경우에는 광파이버 소자를 통해 광이 외부로 발산하지 않는 것을 이용하고 있다. 이 방식을 이용하면 전력케이블에서의 유도가 없을 뿐만 아니라 센서부를 유면계 내에 부착할 수 있고 유면계 내의 기름을 나가고 들어가게 하여 간단히 경보점검이 행해진다. 센서부에 기동부분, 접촉부분이 없으므로 기계적으로 안정하고, 현장 보수작업이 용이해진다.

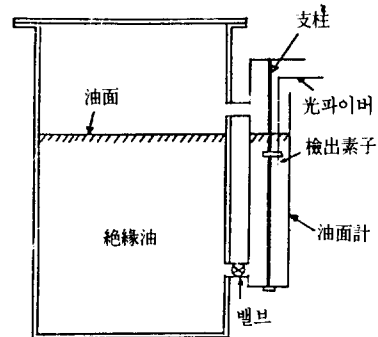


그림 9. 광응용 유면 검출장치



#### 4.4 배전계통에서의 응용

배전계통에서의 광기술의 응용은 개발단계에 있는 사고 구간 검출 및 설비의 감시에 광센서의 이용이 검토되고 있고 일부 시험이 진행중인 곳도 있다.

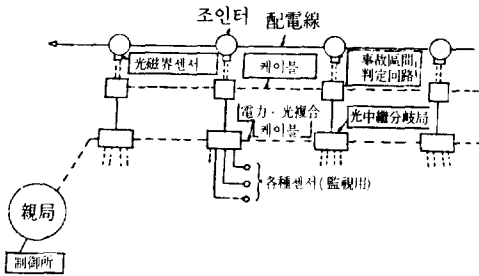


그림 10. 광기술을 응용한 사고구간 검출 및 설비 감시 시스템

그중에서도 전압·전류측정용 BSO 및 BGO 결정등이 가지는 Pockels 효과와 Faraday 효과를 이용한 광파이버 전압·전류센서가 최근 실용화단계까지 와있다.

전압측정의 경우 센서부에 인가하는 전압을 콘덴서 분압에 의해 얻게되며 전류측정의 경우 전류에 비례하는 자계를 센서부에 가하여 전류와 광과의 상호작용에 의해 전류를 측정하게 된다.

#### 5. 결 언

레이저를 응용한 정밀계측장치의 핵이 되는 광전자기술은 광의 고속성, 무유도, 고절연, 비접촉, 방폭성등의 장점과 급속한 발전을 이룩한 정밀 전자공학과 결합하여 매우 정밀한 부분까지 계측할 수있는 새로운 기술분야이다.

본고에서는 이러한 광전자 기술을 적용하는 분야중에서 특히 한국전기연구소가 일부 연구 또는 개발중인 것을 중심으로, 그리고 앞으로 레이저 계측의 응용 및 적용분야에 대하여 서술 하였다.

근래에와서 계측·제어는 각종 플랜트의 정밀측정이 요구되는 필수적인 요소기술로서 등장하였으며 각종 위험환경이 존재하는 곳에서 정밀·고정도의 계측정보를 검출 전송하기 위해 그 플랜트 환경에 적합한 방식이 선택 적용되고 있다.

전력에너지를 생산 수송하는 전력회사 뿐만아니라 위험환경이 존재하는 계측·제어 분야에 폭넓게 파급시킬

수 있기 때문에 레이저응용 계측기술의 개발 필요성이 시급하다고 판단되며 적용대상의 중요성으로 보아 점진적인 현장시험등을 통하여 보다 신뢰성있는 시스템 구성이 중요하다. 또한 앞으로의 광산업 시장점유율이 막대해지리라는 점을 고려하면 현재 국산화율이 전무한 상태에 있는 광학부품, 광소자, 광결정등 소재개발에 우선적으로 투자하여 전문인을 양성하고 응용분야를 넓혀나가는 것이 바람직하다고 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 金堯喜, 金永洙外, "電力用 光計測 시스템 開發研究(I)", 科學技術處研究報告書, 1987. 5.
- 2) 金堯喜, 金永洙, 朴海水外, "電力用 光計測 시스템 開發研究(II)", 科學技術處 研究報告書, 1988. 5.
- 3) 金永洙, 金觀鎬, "電力用 光計測 技術", 電子工學會誌 Vol. 14, No. 6, 1987.
- 4) 金堯喜, "光電子技術을 應用한 光CT·光PT", The Journal of KERI, Vol.1, No. 1, 1986. 6.
- 5) 김영수, 박해수, 김관호, "광센서에 의한 전류전압 측정법", 창립40주년기념학술대회논문집, 1987.
- 6) 권원현, 전석희, 김영수, 김요희, 박한규, "Spun 광섬유를 이용한 전류측정에 관한 연구", 전자공학회 논문지, 제25권, 제10호, 1988.
- 7) D.C. Erickson, "The use of fiber optics for communication measurement and control within high voltage substations", IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-99, no. 9, 1980.
- 8) T.G. Gialorenzi, et al., "Optical fiber sensor technology", IEEE J. Quantum Electronics, vol. 18, no. 4, 1984.
- 9) Ivan P. Kaminow, "Polarization in optical fibers", IEEE J. Quantum Electronics, vol. 17, no. 1, Jan. 1981.
- 10) E. Nakamura, et al., "Development of fault section detecting system for gas insulated transmission lines", presented at the IEEE/PES 1985 Summer Meeting, Vancouver, B.C., Canada, July 14-19, IEEE Product no. 855M-305-8.
- 11) K. Kyuma, et al., "Fiber optic measuring system for electric current by using a magneto optic sensor", IEEE J. of Quantum Electronics, vol. QE-18, no. 10, 1982.

- 
- 12) K.Kyuma, et al, "Fiberoptic Current and Voltage Sensors using a  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  single crystal", Journal of Light wave Technology, Vol. LT-1, No. 1, pp. 93-97, March 1983.
  - 13) A.M. Smith, "Polarization and magneto-optic properties of single-mode optical fiber", Applied optics, Vol. 17, No.1, Jan. 1978.
  - 14) S. Saito & J. Hamasaki "Development of the Laser Current Transformer for extra-high-voltage Power Transmission lines" IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. QE-3, No. 11, pp.589-597, 1967.
  - 15) R. Hebner, "Optical Methods of Electrical Measurement at High Voltage levels", proceedings of the IEEE, Vol. 65, No.11, pp. 1524-1548, 1977.
  - 16) H. Schweppe, "Electromechanical Properties of Bismuth Germanate" IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. Su-16, pp.219, Oct. 1969.
  - 17) A.J. Rogers, "Optical technique for measurement of current at high voltage", Proc. IEE, Vol. 120, No. 2, pp.261-267. 1973.
  - 18) A.T. Rogers "Method for simultaneous measurement of current and voltage on high-voltage lines using optical techniques" Proc. IEEE Vol. 123, No.10, 1976.
  - 19) Tabor, Chen : "Electromagnetic Propagation through Materials possessing both Faraday Rotation and Birefringence" J. Apply. Phys., 40(1969) pp. 2760-2765.
  - 20) Albert Feldman, William S. Brower, Jr., Deane Horowitz, "Optical Activity and Faraday Rotation in Bismuth Oxide Components", App. Physics Letters, Vol. 16, No.5, March 1970.
  - 21) Jeffrey A. Davis & Robert M. Bunch, "Temperature Dependence of the Faraday Rotation of Hoya FR-5Glass", App. Optics, Vol. 23, No.5, Feb. 1984, pp. 633-636.
  - 22) "光ファイバ通信・計測技術", 電気書院, 1986. 9.
  - 23) 氏原, 他, "BSOセンサを利用したフォルトロケータ用サージ受信装置の實証試験", 電気學會全國大會, 1985.
  - 24) 井原, 他, "光復合架空地線を應用した光通信システム", 住友電気, 第124號, 1984.
  - 25) 井原, 他, "送電線雷撃電流無人観測システム", 電気學會情報處理研究會, 1979.
  - 26) 西川, "光ファイバを用いた爐内監視装置の開発", 電気現場技術, 1983.
  - 27) 小谷, "光技術應用氣象観測システム", 電気現場技術, vol.22, no. 257, 1983.
  - 28) 山下, 他, "光學式 磁束計によわ電力用 變壓器の内短絡検出への應用", 日本應用磁界學會誌, vol. 7, no.2, 1981.
  - 29) 河村達雄外, "計測制御への光の應用", 電気學會雜誌, 97卷, 1977. 11.
  - 30) 光應用計測調査専門委員會, "光應用計測の技術動向", 電気學會技術報告(II部) 第221號.
  - 31) 久間和生, 布下正宏, "光ファイバセンサ", 情報調査會, 1985. 1.