

# 광을 이용한 고전압, 대전류 측정

김병태\* · 이창준\*\* · 함길호\*\*

(\*정주대학교 광학공학과, \*\*LG 산전(주) 전력시험기술센터)

## 1. 서론

전력계통 전압의 상승과 측정 정밀도에 대한 요구가 증대됨에 따라 고전압, 대전류 측정기기에 대한 관심도 함께 고조되고 있다. 종래에 전력기기에 있어서 고전압, 대전류는 철심과 권선으로 구성된 계기용 변압기(Potential Transformer ; PT, Voltage Transformer ; VT)와 변류기(Current Transformer ; CT)에 의해 측정되어 왔지만, 대형이며 노이즈 등에 의한 간섭에 취약한 점을 보이고 있다. 이러한 단점 보완과 송전 전압이 높아지고 보호계통이 다양한 기능을 요구함에 따라 광을 이용한 고전압, 대전류 측정이 주목받고 있다. 이것은 센서를 절연물로 구성할 수 있다는 것으로부터 비접촉식에 소형화도 가능하고, 주변 전자기장에 의한 영향을 배제할 수 있으며, 2차 측으로 1차 측의 고전위가 출력되지 않아 신뢰성 향상이 가능하다는 것과 측정 가능한 주파수가 직류에서 GHz의 고주파에 이르기 때문이다.

광 PT는 물질에 전장을 걸어주면 굴절률이 전장의 강도에 따라 변하는 전기광학(electro-optic) 효과를 응용하는 것이다. 광 PT는 중심 대칭성이 없는 비선형 광학 결정에 걸어진 전장의 강도에 따라 굴절률이 선형적으로 변하는 포켈스(Pockels) 효과를 이용하는 것과 중심 대칭성인 결정이나 비결정성 매질에 걸어진 전장의 2승에 비례하는 굴절률 변화를 나타내는 커(Kerr) 효과를 이용하는 것으로 나뉘어진다. 포켈스 매질은 고체 결정이고, 커 매질은 액체나 기체가 주류를 형성한다.

물질에 자장을 걸어 줄 때 걸어주는 자장의 방향으로 직선편광을 전파시키면 편광면이 회전하는 패러데이(Faraday) 효과를 응용하는 광 CT는 센서 헤드의 형태에 따라 TGG, YIG 등의 결정이나 Pb가 첨가된 유리(FR-5) 등을 블록 형태로 하는 벌크형, 광섬유(optical fiber)를 이용한 광섬유형과 위상 변조 등을 응용하는 하이브리드형으로 나누어진다. 벌크형은 이미 상용되고 있지만, 다른 상에 의한 자장의 영향을 피하기 위해서는 블록 안의 광을 전류가 흐르는 곳으로 돌려야 하기 때문에 센서의 설치 위치가 고압 도체 근방이 되며, 절연 문제에서 소형화가 힘들다. 광섬유형에서

는 전류가 흐르는 주위에 자유로운 형태로 센서를 구성할 수 있고, 광섬유를 접지 전위로 설치할 수 있기 때문에 보다 소형에 신뢰성이 높은 광 CT가 실현될 것으로 기대하고 있다. 광섬유형의 문제점은 광섬유의 복굴절에 의한 감도 저하이다. 이 문제를 극복하기 위하여 몇 가지 방법이 제안되어 있으나 온도가 변화할 때에는 복굴절 문제가 여전히 남게 된다.

광센서에서 또 하나의 문제점은 종래의 PT, CT에서는 없었던 신호 처리 회로가 필요하다는 것이다. 이것은 PT, CT로서의 생산 단가를 인상시킬 뿐 아니라, 센서로서의 정확도, 응답속도를 제한하게 한다. 광센서 헤드의 개발이 활발하게 진행되고 있는 현재 전자회로의 성능개선이 중요한 문제가 되고 있다. 다행히 디지털 신호처리 기술은 매년 눈부시게 발전하고 있어 광 PT, CT에도 적용할 수 있게 되었고, 광 PT, CT를 디지털 신호 처리하는 것에 의해 아날로그 회로에서는 실현하기 어려웠던 성능과 기능을 실현할 수 있다.

여기서는 광 PT, CT에 대한 기본적인 개념과 그들의 현 위치 및 장래성에 대하여 간단하게 기술한다.

## 2. 측정 원리 및 물성

### 2.1. 전기광학 효과

광 PT에서는 복굴절성을 나타내는 광학적 이방성 결정에 외부에서 전장을 걸어 주면 굴절률이 전장의 강도에 따라 선형적으로 변하는 포켈스 효과를 주로 이용한다. 결정에 전장을 걸어 주었을 때, 광파의 변화는 복잡하지만, 대부분의 경우 전장을 걸어 준 방향 및 광의 전파방향을 적당히 선택하면 그 전파방향에 대하여 그림 1과 같이 서로 직교하는 X, Y 두 축의 고유 직선편광이 결정되고, 각 편광에 대한 굴절률이 걸어 준 전장 E에 비례하여 미소 변화량을 갖게 된다. 굴절률이 변하면 그에 따라 결정을 통과한 광의 위상도 변하게 되어 X, Y 두 축의 편광 성분에 대해서 각기 다른 위상 변화량이 나타난다. 두 고유편광 사이의 위상차인 리타디에이션(retardation)은

$$\Gamma = \left( \frac{2\pi L}{\lambda} \right) \Delta n \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서  $\lambda$ 는 광원의 파장,  $L$ 은  $z$ 축(광의 전파 방향)의 결정 길이이고,  $\Delta n$ 은 걸어진 전장에 의해 변한 두 축의 굴절률차( $=n_x - n_y$ )이며, BGO( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ )와 BSO( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ) 등을 대표로 하는 23결정에서는

$$\Delta n = n_o^3 \gamma_{41} E = n_o^3 \gamma_{41} \frac{V}{L} \quad (2)$$

가 된다. 여기서  $n_o$ 는 상광선에 대한 굴절률,  $V$ 는 전압,  $\gamma_{41}$ 은 전기광학계수로 결정의 종류에 따라 정해지는 계수이며 대부분이  $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{ m/V}$ 의 값을 갖는다.

광센서에 입사되는 광과 출력되는 광의 강도를 각각  $I_o$  및  $I$ 라 하면, 리타다이이션  $\Gamma$ 에 의해

$$I = I_o \sin^2\left(\frac{\Gamma}{2}\right) \quad (3)$$

의 관계가 성립하고, 결정에 걸린 전장이 증가함에 따라 일정 상태까지는 출력되는 광의 강도도 커지는 것을 알 수 있다. 한편, 낮은 전장이 걸린 상태에서 측정 감도를 개선하기 위하여 입력광의 편광 상태를 선편광에서 원편광으로 변환시켜 준다면 리타다이이션  $\Gamma$ 가  $\Gamma + \pi/2$ 로 되어

$$I = \frac{I_o}{2} (1 + \sin \Gamma) \quad (4)$$

의 관계가 성립한다. 이들의 관계에서 걸린 전장  $E$ 를 구할 수 있고, 리타다이이션  $\Gamma$ 가 1보다 비교적 작은 경우에는 걸어진 전장과 입·출력광의 선형적인

$$\frac{I}{I_o} \sim E \quad (5)$$

의 관계도 성립한다. 그림 2에 광 PT 실험 장치의 전형적인 개략도를 나타낸다.

식 (2)는 결정에 걸어진 전장의 방향과 광의 전파 방향을 같게 해준 경우의 결과로 전장에 의해 유기되는 리타다이이션은 걸린 전장에만 관여되고, 결정의 길이와는 무관하게 된다. 한편, BGO( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ )를 포켈스 소자로 사용할 경우,  $\gamma_{41} = 1.03 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 이므로 파장 632.8 nm인 광원에서  $\Gamma = \pi$ 가 되는 반파장 전압은 34.26 kV에 달한다. 따라서 최대 변조 전압은  $\Gamma$ 가  $\pi/2$ 일 때이므로 17.13 kV가 된다. 이것은 수백 kV 급의 고전압을 직접 측정하기에는 감도가 너무 높다는 것을 의미한다. 그러므로 고전압을 측정하기 위해서는 응답의 선형성을 유지하면서 감도가 작은 특별한 구성의 포켈스 센서가 필요하다.

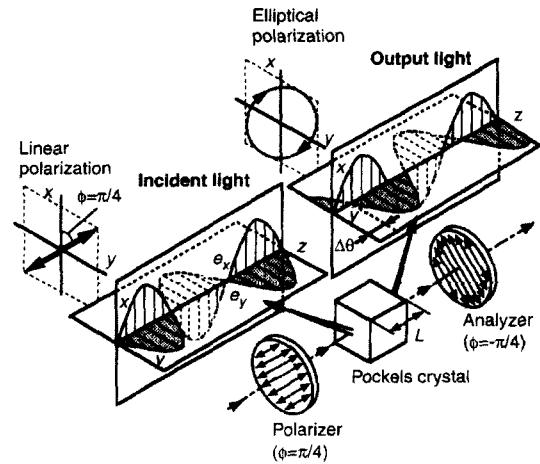


그림 1. 전기광학 효과의 원리

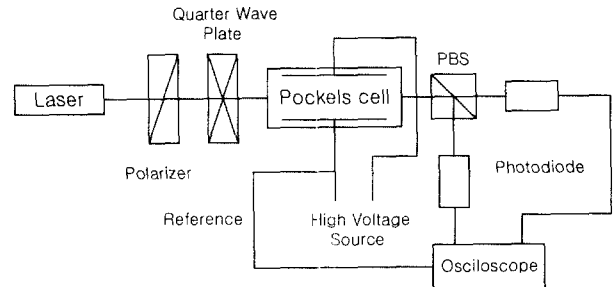


그림 2. 광 PT 실험 장치의 개략도

## 2.2. 포켈스 결정의 물리적 특성

감도 좋게 전장 및 전압을 측정하기 위해서는 포켈스 효과가 큰 결정이 요구된다. 가스 유전체 내에서 전장을 측정하기 위해 포켈스 결정에는 다음과 같은 특성이 필요하다.

1. 측정하려는 곳에서 전장의 왜곡이 일어나기 않게 유전 상수가 작아야 한다.
2. 측정 전장의 직류와 저주파 성분에 영향을 주는 비저항과 표면 누설저항이 커야 한다.
3. 압전효과에 의해 광출력 신호에 진동 성분 나타남으로 압전상수가 작아야 한다.
4. 온도에 따라 변화하는 자연 복굴절이 없어야 한다.

그러나 전장 측정을 위해 이상의 조건을 만족하는 이상적인 포켈스 결정은 없고, 현재는 측정 환경에 따라 적절한 결정을 선택해 사용하고 있다. 즉, 포켈스 효과가 중요한 경우에는  $\text{LiNbO}_3$ 나  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 이 사용되고, 유전상수가 작은 것이 좋을 때는  $\text{Bi}_4\text{Si}_7\text{O}_{12}$ 나 석영 결정이 사용된다. 이들 결정은 높은 저항을 갖고, 자연 복굴절이 작거나 없다. 표 1에 포켈스 매질의 전장 감도와 비유전율에 대해서 정리한다.

포켈스 결정은 GHz의 전장에서도 응답 가능하고, 마이크로파의 전장 측정에도 응용된다. 결정의 압전 진동은 포켈스 센서를 설계할 때 고려해야만 하고, 결정의 진동 주파수는 1~10 mm 크기에서 수 백 kHz~수 MHz가 된다. 진동 주파수를 측정 영역에서 좀더 높은 곳으로 이동시키기 위

해 얇은 조각으로 구성된 결정이 사용되기도 한다. 최근에는 직경 1 mm에 길이 40 mm의 가늘고 긴 막대형 결정이 불필요한 진동을 억제하는데 충분히 효과적이었다고 보고되었다. 디지털 신호 처리 역시 출력 신호의 진동 성분을 제거하기 위하여 사용된다. 측정 최저 감도는 주로 광원과 검출기의 노이즈 레벨에 의존하는데 현재의 기술적인 수준으로 0.1 V/cm에 이른다.

표 1. 포켈스 매질의 전장 감도와 비유전율

포켈스 매질	비유전율	반파장 전압 $E_r L$ (kV)
Quartz	4	450
BGO( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ )	16	31
KDP, ADP	$e_{\parallel z} 20, e_{\perp z} 50$	10
ZnS, ZnTe	7~10	4~10
BSO( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ) BGO( $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ )	50~60	4~8
LiNbO <sub>3</sub> , LiTaO <sub>3</sub>	$e_{\parallel z} 50, e_{\perp z} 100$	3~8

z : 광축, L: 광경로장, 반파장 전압은 파장 632.8 nm에서 계산한 것임.

결정에 불순물이 있을 때 불순물 중심에서 공간 전하가 생성되고, 걸린 전장에 의해 드리프트 운동을 한다. 전하는 전장을 차폐하기 위하여 잠시 동안 분포된다. 이 현상은 직류 전장 성분을 측정하는데 치명적인 영향을 미치는데, 결정의 순도를 높여 제거할 수도 있고, 결정을 회전시켜 직류를 교류로 바꾸거나 전장을 차핑(chopping)하여 제거할 수 있다.

### 2.3. 자기광학(magneto-optic) 효과

광 CT는 광센서를 지나는 광원의 편광면이 자장에 비례하여 회전하는 패러데이 효과를 이용하는 것이다. 이런 패러데이 회전은 근본적으로 지만(Zeemann) 효과에 그 기초를 두고 있어 자장에 의해 전자 스핀 상태에서 에너지 준위가 분리되는 것에 기인한다. 그러므로 자장에 대한 패러데이 효과의 응답시간은  $10^{-9}$  s 보다도 빠르다. 그러므로 패러데이 효과를 이용하여 전류를 측정하는 경우 매우 빠른 펄스형 전류도 측정할 수 있다. 그림 3과 같이 전류가  $n$  회 감은 광섬유를 통과할 때 편광면의 패러데이 회전각  $\theta_f$ 는, 광이 광섬유를 진행한 거리  $l$ , 광섬유의 베르데(Verdet) 상수  $V_c$ 와 자장의 세기  $H$ 에 의해

$$\theta_f = n V_c \oint H dl \quad (6)$$

로 표현된다. 베르데 상수는 파장 의존성도 갖고 있다. 반자성(diamagnetic)체인 용융 유리(fused silica) 광섬유의 경우 파장 830 nm에서  $2.34 \times 10^{-6}$  rad/A이고, 파장이 길어짐

에 따라 이 값은 작아지게 된다. 반자성체의 경우 베르데 상수가 온도에 대한 변화도 작아 용융 유리 광섬유는  $(0.69 \pm 0.03) \times 10^{-4}$  /K 정도로 매우 작지만, 작은 베르데 상수 때문에 충분한 패러데이 회전을 얻기 위해서는 광이 진행하는 경로  $l$ 이 길어야 한다. 암페어(Ampere) 법칙에 의해 자장  $H$ 가 한 바퀴 돈 적분  $\int H dl$ 은 전류  $I$ 와 같기 때문에

$$\theta_f = n V_c I \quad (7)$$

가 되고, 광섬유를 관통하는 전류  $I$ 에 비례한 패러데이 회전각  $\theta_f$ 가 얻어진다. 그러므로 광섬유에서 출력되는 편광을 방위가 서로 직교하는 두 개의 X, Y 성분으로 나누면, 각각의 강도  $P_X, P_Y$ 는

$$P_X = \frac{P_0}{2} (1 + \sin 2\theta_f) \quad (8)$$

$$P_Y = \frac{P_0}{2} (1 - \sin 2\theta_f) \quad (9)$$

에서 구하고, 입사광의 강도인  $P_0$ 만 안다면 위의 식으로부터 전류값은

$$I = \frac{1}{n V_c} \sin^{-1} \left( \frac{P_X - P_Y}{P_X + P_Y} \right) \quad (10)$$

로 구할 수 있다. 단, 광섬유에서 입사 직선 편광의 방위는 축과  $45^\circ$ 이고, 이 식으로부터 구한 전류값은 진동에 의한 입사광 변동의 영향을 받지 않는다. 이 측정 방법은 현재 얻어지고 있는 수신신호 이외에 참조신호 등이 필요 없이 전류를 구할 수 있다는 것이 특징이다. 그러나 광섬유를 사용해 실제 센서를 구성할 경우, 광섬유에는 선복굴절에 의한 리타다이제이션과 원복굴절을 유발하는 패러데이 효과에 의한  $\theta_f$ 가 동시에 존재하게 되므로 단순히  $\theta_f$ 만 존재하는 경우와는 구별해야 한다. 그림 4에 광 CT의 일반적인 실험 장치 개략도를 나타낸다.

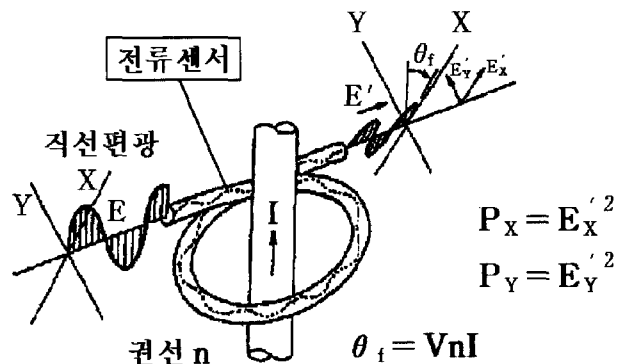


그림 3. 광섬유형 광 CT의 원리

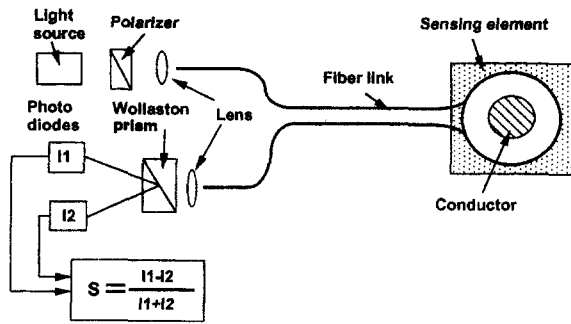


그림 4. 광섬유형 광 CT 개략도

### 2.3. 광섬유

광섬유를 센서로 하고, 편광된 광을 신호로 하는 계측기에서 복굴절이 커다란 장애 요인이 되는 것은, 측정 대상 이외에 복굴절도 편광 상태를 변화시키기 때문이다. 광섬유에는 각종 응력이 작용하여 광탄성 효과에 의해 복굴절이 발생하고 편광상태가 변화한다. 복굴절이 생기면 직선편광은 일반적으로 타원편광이 되고, 그 결과 전류 측정 정도를 떨어트리게 된다. 패러데이 광활성을 측정하는 광 CT도 같아, 고정밀도의 CT를 제작하기 위해서는 광섬유에 생긴 복굴절의 영향을 제거해야 한다. 광섬유의 복굴절에는 광섬유 자신이 갖고 있는 고유 복굴절과 변형시키거나 힘을 가했을 때 생기는 응력에 의한 광탄성 효과로 유지되는 것 등 두 종류가 있다. 전자는 광섬유의 형상이나 대칭성에 주의하여 제작하면 저복굴절 광섬유로 실현시킬 수 있다. 후자는 어떠한 저복굴절 광섬유를 사용하더라도 광 CT로 제작할 때 나타나게 된다. 광 CT에서 후자의 복굴절 혹은 그 영향을 제거하는 몇 가지 방법이 제안되어 있다. 첫 번째는 광섬유를 코일 형태로 감은 후 아닐링하여 응력을 제거한다. 두 번째, 광탄성 정수가 작은 납유리 광섬유를 사용하여 복굴절 발생을 억제한다. 세 번째, 코일 감는 방법을 연구하여 복굴절을 제거한다. 네 번째, 광섬유를 비틀어 복굴절 효과를 상대적으로 작게 하는 것 등이 있다. 최근에는 센서의 모양을 변화시켜 선복굴절과 원복굴절을 서로 분리시키는 방법도 발표되고 있으나, 보다 효과적인 방법으로는 패러데이 회전 거울(FRM)을 사용하는 경우로, 광섬유의 끝에 편광을 입사편광에 수직으로 회전시켜 반사시키는 FRM을 붙여서 외부의 영향을 제거하는 것이다.

전력 네트워크에 이용되는 CT는 온도 -20~90 °C에서 고정밀도를 요구하기 때문에 넓은 온도 범위에서 복굴절을 제거해야 한다. 실제 석영 광섬유의 복굴절을 구분하면, 클래드와 코어의 구조 규격 정밀도에 기인한 것, 1차 피복에 의한 것과 원형으로 감거나 설비 등 실제 장착에 의한 것 등 세 종류가 있다. 그 중에 1차 피복에 의한 것은 광섬유 복굴절의 온도 특성을 지배하는 가장 큰 요인이 된다. 일반적으로 광섬유의 1차 피복은 실리콘이나 아크릴계의 부드러운 플라스틱 재료를 이용하여 광섬유를 보호하고 있다. 이들 재료는 상온에서는 유연성을 유지하지만 저온에서는 영(Young)율이 커지고 딱딱해져 광섬유에 힘을 가해 복굴

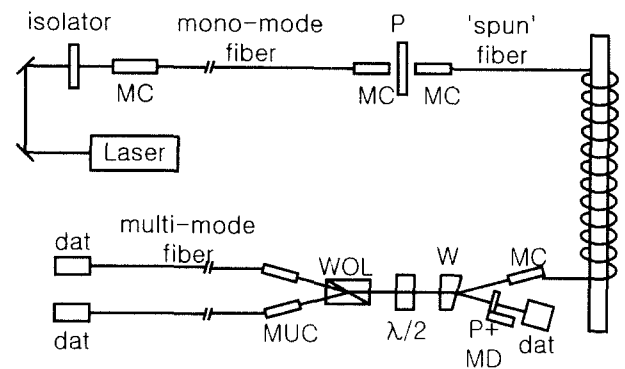
절을 증가시키게 된다. 특히 광섬유를 원형으로 감았을 때에는 복굴절이 현저하게 나타난다. 이것이 광 CT의 온도 특성을 악화시키는 원인이 된다. 아크릴계의 1차 피복을 갖는 광섬유라도 코어의 원 형태를 균일하게 하거나 클래드와의 중심을 맞추는데 주의하여 만든 저복굴절 광섬유라면 상온에서 ±1 % 이내로 전류 측정 정확도를 만족시킬 수도 있다.

## 3. 광 PT, CT의 발전 및 연구 동향

독일의 Siemens, 스위스의 ABB, 네덜란드의 KEMA 등이나 일본의 동경전력, 도시바를 비롯한 세계 굴지의 전력기기 회사와 세계 각국의 대학교 및 연구소에서 광을 이용해 고전압, 대전류를 측정하기 위한 광센서에 대하여 연구개발을 활발히 하고 있으며, 이미 상용화 된 제품들도 나와 있다.

Siemens에서도 SIFOCS라는 이름으로 광섬유를 이용하여 145~550 kV GIS용 광 CT를 개발하여 시판하고 있다. 이 제품은 중량도 35~47 kg에 지나지 않으며, 온도 특성도 -25~55 °C에 이르고, 고도 2,000 m까지도 사용 가능하다고 되어 있다. 한편 이들은 종래의 PT와 광 CT로 변환기를 구성하여 사용하고 있다.

KEMA에서는 그림 5와 같은 장치를 개발하였다. 이 장치는 광원에서 측정기까지 모두 광섬유로 연결하고 있으며, 2 kA, 2 ms의 전류폭을 갖는 아크 전류 펄스를 측정하는데 성공적으로 사용하고 있다.



MC : Mono-mode Coupler, MUC : Multi-mode Coupler, P : Polarizer, W : Wedge, WOL : Wollaston prism, λ/2 : half-wave plate, det : Photodiode Detector, MD : Motor Drive

그림 5. 광섬유를 이용한 KEMA의 아크 전류 측정 장치

ABB에서도 광 PT와 CT를 개발하여 상용화하고 있다. 그림 6과 7은 ABB에서 개발하여 사용중인 광 PT용 센서와 종래의 PT와 광 PT를 비교한 것을 각각 나타내고 있다. 그림 7에서 왼쪽이 종래의 PT이고, 오른쪽이 광 PT로 두 배 이상의 차이를 보이고 있다.

중국의 Huazhong 과학기술대학에서는 BGO 결정을 이용

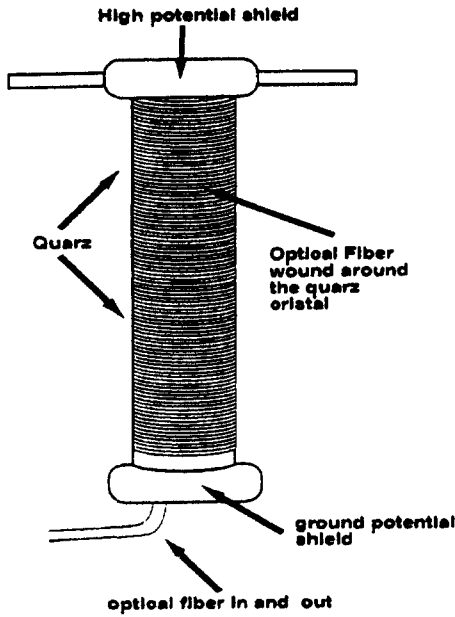


그림 6. ABB의 광 PT 센서

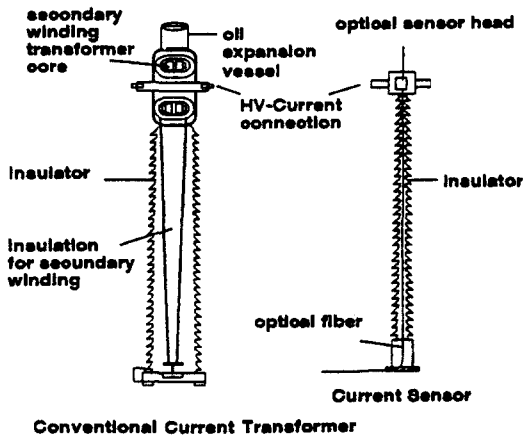


그림 7. 종래의 PT와 광 PT의 크기 비교

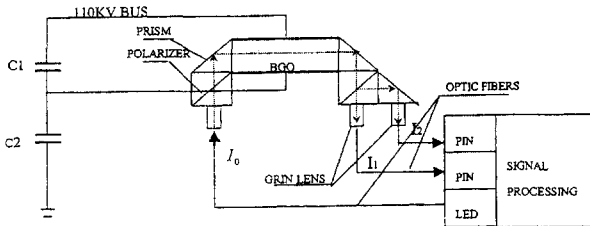


그림 8. 중국 Huazhong 과학기술대학의 광 PT 센서부

하여 그림 8과 같은 센서 헤드와 자기 캐패시터 분압기를 이용하여 온도 특성  $-30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 에서  $\pm 0.5\%$ 에 110 kV 측정용 광 PT를 개발하였다.

현재 일본에서는 550 kV 혹은 차세대 1,000 kV 변전소에서 각상 분리형 GIS가 이용되고 있다. 이런 각상 분리형 GIS에 사용할 광 PT, CT를 실용화의 제1 목표로 하여 개발하고 있다. 동경대학에서는 길이 40 mm, 직경 1 mm의

BGO 원통형 결정으로 162.06 kV를 측정했다고 보고했다. 이것은 통상 종형으로 가공되는 BGO 포켈스 소자에서 얻을 수 있는 반파장 전압의 5배에 해당하는 값으로 고전압 레벨에서 선형성이 유지되면 고전압 센서 개발에 매력적인 설계가 될 것이다. 도시바의 경우 이미 10여년 전부터 광 PT, CT를 개발하기 시작하여, 현재 1%내의 정확도를 갖는 광 PT가 자사의 고압 기기에 장착되어 사용하고 있다. 광 CT의 경우도 중부전력의 300 kV GIS에서 1998년 11월부터 2000년 10월까지 2년간 성공적으로 현장 테스트를 모두 끝내 시판이 가능한 상태이고, 그 실험 결과를 그림 9와 10에 나타낸다. 온도에 따른 오차도  $-20 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 에서  $\pm 0.4\%$ 로 극히 좋은 상태를 보이고 있다. 그림 9의 위쪽은 측정용 광 CT의 결과이고, 아래쪽은 보호용 광 CT의 결과로  $\pm 1\%$  내의 안정성과 재현성에 JEC-1201 Class 1PS와 1T를 만족시킨다. 그림 10은 보호용 광 CT의 순간 오차를 나타내고 있다. 550 kV용 광 CT도 현재 실험중이고, JEC-1201 Class 1T를 목표로 개발된 550 kV 전력 시스템용 광 PD(potential device)는 동경전력에서 시험중이다.

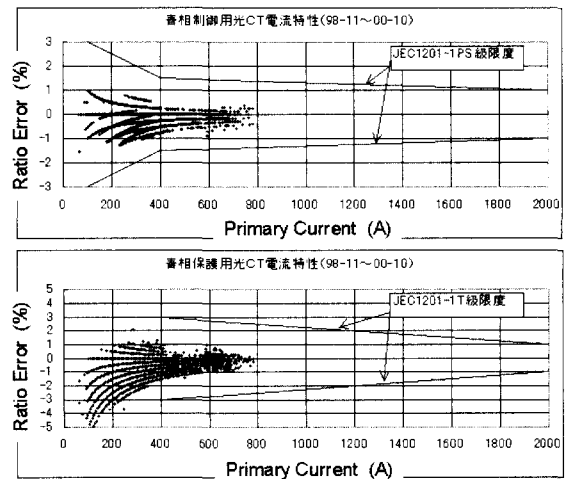


그림 9. 도시바에서 개발한 300 kV GIS용 광 CT를 중부전력에서 2년간 현장 테스트한 결과

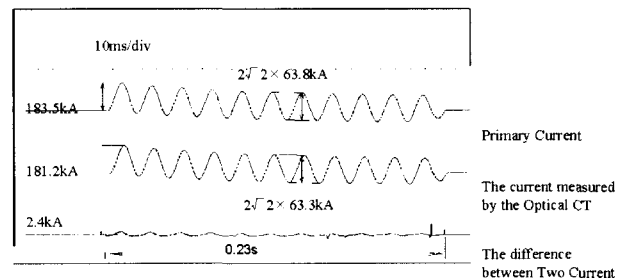


그림 10. 도시바의 보호용 광 CT의 순간 오차

국내의 경우, 1980년대 후반부터 관심을 갖기 시작하여 한국전기연구소에서 광 PT, CT를 개발하기 시작하였으나 기초 연구단계에서 머물러 있는 상태이다. 그후 1990년대

중반에 KAIST에서 LG 전선과 광섬유를 사용하여 1 kA용 광 CT를 1~1.6 % 오차 범위에서 측정할 수 있게 개발하였다. 그 외에도 포항산업과학연구원과 서강대학교에서 공동연구로, 서울대학교에서도 전력연구원과 광섬유형 광 CT를 개발하는 것으로 알려져 있다. 청주대학교에서도 LG 산전과 공동연구로 GIS급 광 PT, CT에 대한 기초 연구를 마무리해 가는 단계에 있고, PT와 CT 개발이 주업무인 벤처회사 EMD와 일본 도시바 연구진의 도움을 받아 2003년 말까지 상품화를 목표로 개발에 박차를 가하고 있다.

#### 4. 결 론

광을 이용한 전압, 전류의 측정은 고전압 환경에서 절연 문제에 대한 안전성을 확보할 수 있는 것이다. 이러한 장점에서, 계통 전압이 상승되어 감에 따라, 정확성에 내구성까지 요구되는 전력 산업에 사용하기 위한 고전압, 대전류 센서에 대한 개발이 활발하게 진행되고 있다. 일본 도시바의 경우 10년이란 시간과 인적, 물적 자원을 투자하고, 실패에 실패를 거듭하며 550 kV GIS용 광센서를 상용화하는 단계에까지 도달하게 되었다. 우리나라의 경우 연구를 시작한 지 15년이 지난 지금 고압은 고사하고 저압에서조차 담보 상태에 있는 것이 현실이다. 고전압용 광센서의 필요성을 인식하고 있는 상황에서 보고서에서 끝나는 연구가 아니라, 실패를 두려워하지 않는, 결실을 맺을 수 있는 연구 개발이 절실히 필요하다고 생각한다.

#### 참 고 문 헌

[1] K. Hidaka, "Progress in Japan of Space Charge Field Measurement in Gaseous Dielectrics Using a Pockels Sensor", IEEE Electrical Insulation Magazine Vol. 12, No. 1, pp.17-28, 1996.  
 [2] J. C. Santos, M. C. Taplamacioglu, K. Hidaka, "Optical high voltage measurement using Pockels microsingle crystal", Rev. Sci. Instrum, Vol. 70, No. 8, pp. 3271-3276, 1999.  
 [3] T. Takahashi, K. Hidaka and T. Kouno, "New Optical-waveguide Pockels Sensor for Measuring

Electric Fields", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, No. 2, pp. 767-771, 1996.  
 [4] YE Miaoyuan, OU Chaolong, CUI Ying, ZHOU Jianying, LI Kaicheng, CHEN Zhiping, XU Yan, LUO Sunan, "110 kV Optical Fiber Voltage Transformer Using a Porcelain Capacitor divider", SPIE Vol. 3555, pp. 63-66, 1998.  
 [5] YE Miaoyuan, CHEN Zhiping, CUI Ying, ZHOU Jianying, LI Kaicheng, OU Chaolong, XU Yan, LUO Sunan, "A New Optical Fiber Voltage Transformer", SPIE Vol. 3555, pp. 37-42, 1998.  
 [6] A. Papp and H. Harms, "Magneto-optical current transformer. 1: Principles", Appl. Opt. Vol. 19, No. 22, pp. 3729-3734, 1980.  
 [7] A. Irace, G. Breglio, A. Luciano, L. Zeni, A. Cutolo, "A Novel Configuration for a Wide-Range High Power Fiber-Optic Current Sensor", ETEP Vol. 7, No. 5, pp.319-322, 1997.  
 [8] K. T. V. Grattan and B. T. Meggitt, *Optical Fiber Sensor Technology Volume 3 Applications and Systems*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1999.  
 [9] H. Lin, W. Lin, M. Chen, S. Huang, "Fiber-Optic Current Sensor Using Passive Demodulation Interferometric Scheme", Fiber and Integrated Optics 18, pp.79-92, 1999.  
 [10] M. L. Lee and Y. H. Lee, "Thermally-Stabilized Fiber-Optic Current Sensors Using Perpendicular Coil Formers", OECC '96, Chiba Japan, 1996.  
 [11] A. H. Rose, S. M. Etzel, and K. B. Rochford, "Optical Fiber Current Sensor in High Electric Field Environments", J. Lightwave Tech. Vol. 17, No. 6, pp. 1042-1048, 1999.  
 [12] E. Hecht, *Optics*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1987.  
 [13] 末田 正, 光エレクトロニクス, 昭晃堂, 東京, 1988.  
 [14] Private communication to Toshiba  
 [15] Siemens, Sifocs Technical Report  
 [16] ABB, PASS Technical Report