

BSO를 이용한 광CT, PT 개발

* 신진학 * 이복규 * 조홍근 ** 김요희 ** 김영수 *** 박해수

* 한전기술연구원 ** 한국전기연구소

Development of Optical CT and PT using BSO Single Crystal

* Shin, K.H. * Lee, B.K. * Cho, H.K. ** Kim, Y.H. ** Kim, Y.S. *** Park, H.S.

* Korea Electric Power Corporation Research Center

** Korea Electrotechnology Research Institute

Abstracts

This paper described the development example of optical CT(Current Transformer) and optical PT (Potential Transformer) which is measurement system of current and voltage of electric power line using Electro-Optic effect and Magneto-Optic effect. We designed the optical CT of 22KV class and 154KV class and an optical PT of 22KV class. And now the filed testing is in progress in a KEPCO's substation.

1. 서론

광을 이용한 계측기술은 절연이나 전자유도에 문제가 없고 서지에도 강한 장점을 가지고 있으므로 향후 전력계통의 초고압과 환경에서 가장 적합한 기술이라 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 광센서를 이용하여 전력선의 전류와 전압을 측정하는 것으로 현재 개발된 시스템을 한전의 154KV급 변전소에 설치하여 시험중에 있다. 본 논문에서는 이러한 광전류, 전압계측의 기본 이론과 설계에 따른 주변기술에 대해 설명하였다.

2. 광CT의 원리 및 구성

본 연구는 22KV 및 154KV급 선로의 전류와 22KV급 선로의 전압을 측정하는 것으로 우선 광CT에 대해 설명하였다. 어떤 결정에 가해지는 자계의 방향과 평행하게 직선 편광된 빛을 투과시키면 자계의 세기에 비례하여 광의 편광면이 회전하게 되는데 이러한 광학적 현상을 자기광학효과(또는 파라데이효과)라 한다. 이때의 회전각 θ 는 식1과 같다.

$$\theta = VHL \quad (1)$$

여기서 V : Verdet정수(min/Oe.cm)
H : 자계의 세기(Oe)
L : 결정의 길이(cm)

이다. 대표적인 파라데이 소자는 표1과 같은데 맨 아래 두개의 소자는 특성은 우수하나 구하기가 매우 어려워 사용이 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 선광성과 Verdet정수 및 온도특성을 고려하여 BSO와 ZnSe 두개의 소자를 병행 사용하였다.

표1. 대표적인 파라데이 소자

특성 재료	Verdet 정수	선광성 deg/mm	온도특성 (%)
언그래스	0.04	무	<±0.05
As ₂ S ₂ 그래스	0.10	무	<±1
ZnSe	0.21	무	±±1
Bi ₁₂ SiO ₂₀ (BSO)	0.1	10.5	±±1
Bi ₁₂ GeO ₂₀ (BGO)	0.188	9.6	±±1.5
FR-5그래스	0.11	무	±±15
YIG	9.1	무	±±8
(Tbo. ₁₉ Yo. ₃₁) ₃ Fe ₅ O ₁₂	15.6	무	±±1.5
(YSmLuCa) ₃ (FeGe) ₅ O ₁₂	49	무	<±0.5

광전류센서의 구성은 그림1과 같으며 자계에 의해 회전된 광은 검광자를 통하여 진폭(광량)변조 되는데 이때의 출력광 P는 식2와 같다.

$$P = P_0\{1 + \sin(2VHL)\} \quad (2)$$

여기서 P₀는 초기광강도 또는 광바이어스라고도 하는데 진폭 변조 방식에서는 1/2을 만들어 줌으로서 가장 선형성이 좋은 부분에서 시스템 설계가 가능하다. 전류센서의 특성곡선은 그림2와 같다.

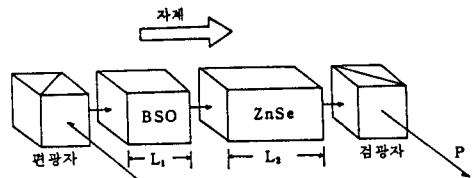


그림1. 광전류센서의 구성

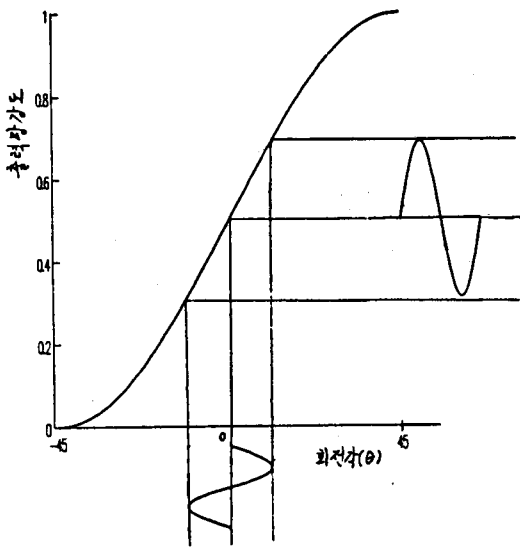


그림2. 광전류센서의 특성곡선

또 센싱 감도를 증가 시키기 위해서는 센서에 미치는 자계의 세기를 증가 시키거나 센서 길이를 길게 하는 방법이 있는데 후자의 방법에는 한계가 있으므로 전자의 방법이 유용하다. 따라서 비투자율(μ_0)이 1000이상(이론적 해석)인 매질로 코어를 제작하여 코어 공극에 센서를 취부하면 약 2 π 배 정도의 자계의 세기 증가를 얻을 수 있다. 이러한 코어를 사용한 광전류계측 시스템의 전체 구성은 그림3과 같다.

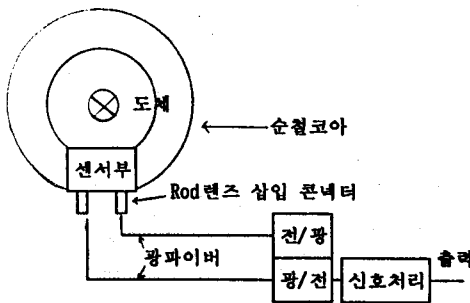


그림3. 광전류계측 시스템의 전체 구성도

코어의 지질이 가지는 최대자속밀도에 영향을 받지 않는다면 BSO 광CT가 측정 가능한 최대 전류치는 이론적으로 약 18KA가 된다. 본 연구에서는 비투자율이 약4000 정도인 순철로 코어를 설계 제작하여 사용하였다.

본 시스템에서 사용한 광콘넥터는 FC형이며, 광파이버는 입사 광량을 많이 해 주기 위하여 코아경이 큰 100/140 μ m 멀티모드 광파이버를 사용하였다. 특히 변전소 옥외의 관로 포설용은 옥외용 nonmetallic 케이블로 제작하여 설치하였다. 또 광원과 수광소자는 850nm의 파장을 가지는 LED와 PIN-PD를 사용하였다. 전/광 변환기는 본 시스템 특성상 시간에 따라 일정한 파워를 내도록 설계하였으며 Fiber Coupled 파워가 약 -8~-9dBm 정도로 신호 검출 가능 파워인 -33dBm과의 마진이 약 25dB로 충분한 여유를 가지고 있다. 광/전 변환기는 미세한 광신호를 검출해야 함으로 감도가 높고 속도가 빨라야 한다. 따라서 최대감도가 850nm인 수광소자를 사용하였으며 응답속도를 증가시키기 위하여 역바이어스 전압 방식을 이용하였다. 이때의 Rise/Fall 시간은 약 3nsec 정도로 매우 빠르다. 또한 광/전 변환기의 초기 출력은 입사된 광의 직류성분에 따라 변하므로 다소 외부의 영향에 의해 광량이 변하더라도 출력 신호값이 일정하게 해주기 위해서는 신호를 직류성분으로 나누어 주면 된다. 이러한 방식을 사용한 신호 처리단의 전체 블럭다이어그램은 그림4와 같다.

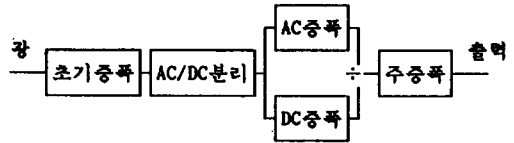


그림4. 신호처리의 블럭다이어그램

표2. 광CT의 설계 사양

항 목	배전용	송전용
측정선로	22.9KV급	154KV급
측정범위	10~2000A _{rms}	10~2000A _{rms}
용 도	계측용	계측용
측정오차	±1~5%	±1~5%
사용센서	BSO, ZnSe	BSO, ZnSe
측정원리	Faraday효과	Faraday효과
광 원	LED(0.85 μ m)	LED(0.85 μ m)
수광소자	PIN-PD	PIN-PD
광전속도	100/140(MM)	100/140(MM)
고압속전원	불필요	불필요
주파수특성	3KHz(3dB)	3KHz(3dB)
온도특성	±2%이내	±2%이내
S/N비	>45dB	>45dB
사용코아	순철(99.5%)	순철(99.5%)
출력단자	BNC-R	BNC-R
광콘넥터	FC	FC
소요전원	±15V, 120mA	±15V, 120mA
사용온도	-20°C~40°C	-20°C~40°C
결연지지대	Ohio Brass사	Ohio Brass사

본 시스템은 고압, 대전류 환경에 설치 운용해야 함으로 광파이버를 절연할 필요가 있다. 따라서 절연지지대 전문업체인 미국 Ohio Brass사에 제작 의뢰하여 사용하였다. 사용전에 절연내력 시험을 ESB131규격에 의거 행한 결과 양호한 특성을 얻었다. 위에서 설명한 여러가지 방식을 사용하여 제작된 광CT의 사양은 표2와 같다.

3. 광PT의 원리 및 구성

인가된 전계의 세기에 따라 결정의 굴절율이 변함에 따라 결정내에서 광은 복굴절이 생긴다. 이러한 현상을 전기광학 효과(포렐스효과)라 한다. 이때 생기는 장축과 단축의 위상 지연 값을 검출함으로써 전계의 크기를 측정할 수 있는데, 검광자를 통해 출사되는 광의 신호는 다음 식3과 같다.

$$P_o = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\pi V}{V_{\pi}} \right) \quad (3)$$

여기서 $V_{\pi} = \frac{\lambda_0}{2n_o^2 \gamma_{41}}$ 로 반파장전압이라 부른다.

본 연구에서 사용된 센서인 BSO단결정의 반파장 전압은 약 6.8KV(850nm)정도가 되고 BSO소자의 특성을 표3에 나타내었다.

표3. BSO소자의 특성표

결정형태	23
굴절율(n_o)	2.35 ($\lambda=0.87\mu\text{m}$)
유전율(ϵ)	56(100KHz)
암저항율(ρ)	$10^{15} \Omega\text{m}$
전기광학계수(γ)	4.35×10^{-12}
선 광 성	$10.5^\circ/\text{mm} (\lambda=0.87\mu\text{m})$
밀 도	9.2 g/cm^3

광PT의 전체시스템 구성도는 그림5와 같다. 그림에서 센서에 22KV(대지간 단상전압은 13.2KV)를 직접 인가할 수 없기 때문에 콘덴서도 분압하여 센서에 인가되는 전압은 특성곡선에서 선형성이 가장 우수한 1000V이하가 되도록 설계하여 제작하였다.

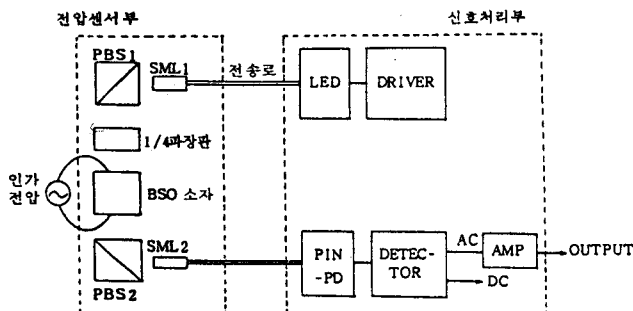


그림5. 광PT의 시스템 구성도

그 외 광콘넥터와 광파이버 및 신호처리기법은 광전류계측 시스템과 같은 방식으로 설계 제작하여 사용하였다.

광PT 역시 광CT와 마찬가지로 절연지지대가 필요하므로, 여기서는 콘덴서 분압기와 광센서부의 보호용을 겸한 절연이차로 현수용 이차를 사용하였다. 절연내력의 증가를 위하여 이차 내부 공간을 절연용 실리콘 컴파운드로 몰딩하였다. 사진1은 22KV급 광CT 및 광PT의 현장 사진이며 사진2는 154KV급 광CT의 현장사진이다.

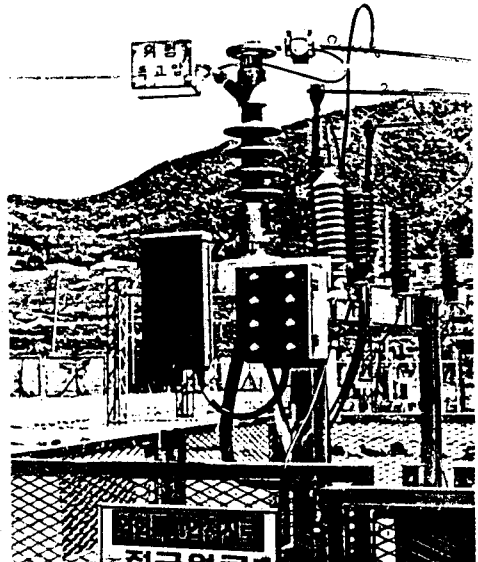


사진1. 22KV급 광CT 및 광PT의 현장사진

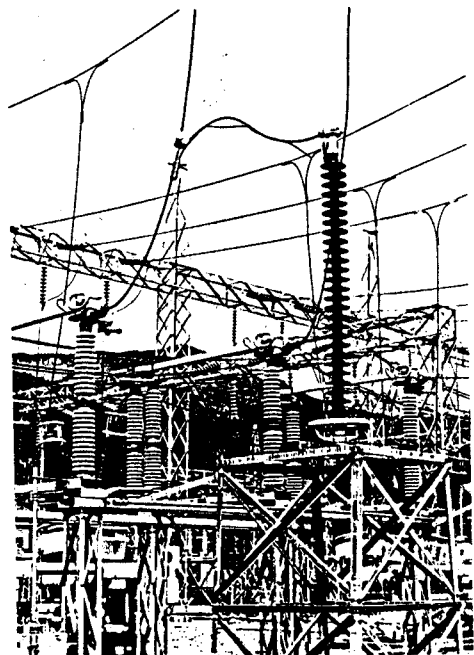
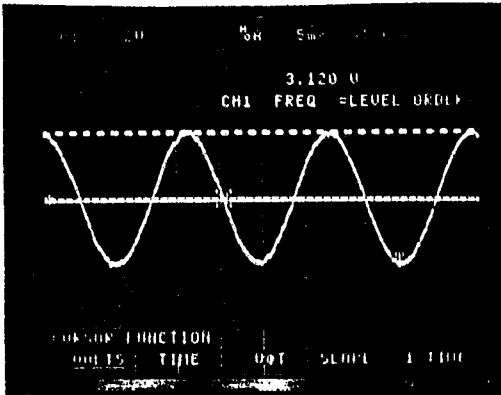


사진2. 154KV급 광CT의 현장사진

4. 결론

개발된 광CT와 광PT의 현장 시험 운용 중에 측정된 전류 및 전압의 오차범위는 저전류에서는 다소 크나 10A 이상에서는 $\pm 2\%$ 이내로 선형성 및 온도특성은 양호하다고 할 수 있다.

그림6은 광CT의 출력파형이고 그림7은 광PT의 출력파형이다. 이러한 시스템 개발로 향후 광계측기술의 축적 뿐만 아니라 전력계통에의 다양한 응용이 가능하리라 본다.



(a)

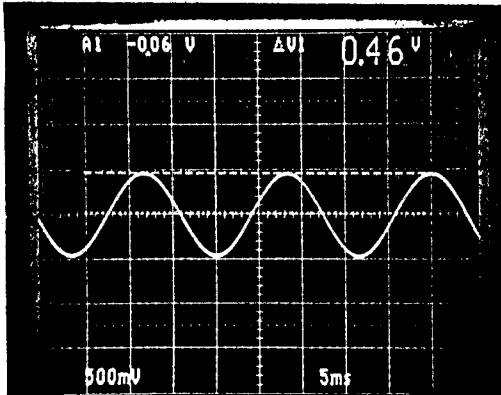


그림6. 광CT의 출력파형 (a)22KV (b)154KV

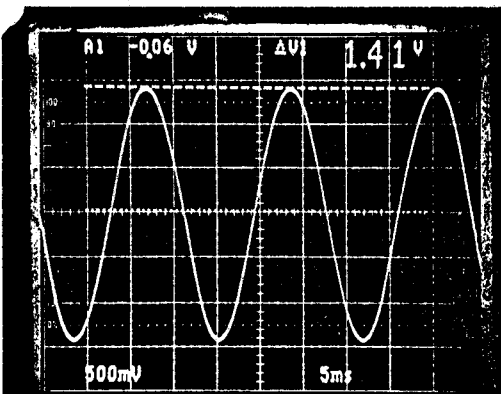


그림7. 광PT의 출력파형