



(단,  $P_0$  : 자체가 zero인 경우 투과광의 강도)

즉, (2)식에서 변조도  $m$ 은

$$m = \sin 2\theta \quad \text{---(3)}$$

이 된다.

(그림1)에서 BSO는 광학적 동차점을  $45^\circ$  이동시켜 전류에 대한 광학적 선형성과 민감성이 좋은 점으로 bias 시키기 위해 구성되며 동시에 피라데이 소자로서의 역할도 동시에 하게 된다.

BSO의 Optical Activity량은  $\lambda=0.87\mu\text{m}$  일 때  $10.5^\circ/\text{mm}$ 이다. ZnSe의 다결정은 자체센서의 선형 감도를 증가시키기 위해 삽입된다. 따라서, 그림1에서의 편광회전각  $\theta$ 는 다음과 같다.

$$\theta = V_1 H_1 l_1 + V_2 H_2 l_2 \quad \text{---(1)'}$$

여기서,  $V_1$  : BSO의 verdet 상수( $\lambda=0.87\mu\text{m}$ 에서  $0.1\text{min}/\text{Oe}\cdot\text{cm}$ )

$V_2$  : ZnSe의 verdet 상수( $\lambda=0.87\mu\text{m}$ 에서  $0.15\text{min}/\text{Oe}\cdot\text{cm}$ )

$l_1$  : BSO의 길이 ( $l_1=4.3\text{mm}$ )

$l_2$  : ZnSe의 길이 ( $l_2=5\text{mm}$ )

### III. 광 PT의 원리 및 구성

광 PT의 구성은 센서부의 구조만 광 CT와 조금 차이가 나며 신호처리단은 신호크기만 다르지 대동 소이하게 구성된다.

(그림2)에서, BSO의 양단에 ITO(Indium Tin Oxide) coating을 하여 외부에서 인가한 전계가 균일하게 형성되도록 하며,  $\lambda/4$  plate는 선형 편광된 빛의 한쪽 성분을  $\lambda/4$  ( $90^\circ$ ) 만큼 위상 지연을 시켜 원편광을 만들기 위함이다.

이의 원리는, 전압이 인가되지 않을 경우 원 편광 성분이 그대로 수광소자에 전송되므로 교류성분의 변화가 없지만, 전압이 인가될 경우, 복굴절에 의한 위상차가 발생하여 타원편광 형태로 변조된다.

따라서, 감광자를 통과한 광 변조량은 Jones Matrix에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\frac{\phi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{j\frac{\phi}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\frac{\pi}{4}} \\ e^{j\frac{\phi}{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_0}{\sqrt{2}} \\ \frac{E_0}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \\ &\xrightarrow{\text{감광자}} \xrightarrow{\text{Pockels소자(BSO)}} \xrightarrow{\lambda/4\text{plate}} \xrightarrow{\text{입력(PBS 통과)}} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_0}{\sqrt{2}} & e^{j(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4})} \\ \frac{E_0}{\sqrt{2}} & e^{-j(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4})} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{E_0}{2} (e^{j(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4})} + e^{-j(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4})}) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_0 \cos(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4}) \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= E_1^2 = P_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4}\right) \\ &= P_0 \cos^2\frac{1}{2}\left(\phi - \frac{\pi}{2}\right) \\ &= \frac{P_0}{2} (1 + \sin\phi) \quad \text{---(4)} \end{aligned}$$

이 때, 전압에 의해 발생하는 위상차  $\phi$ 는 다음 식으로 주어진다. 7)

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_0^3 \cdot r_{41} \cdot E \cdot l \\ &= \pi \cdot \frac{v}{v_\pi} \quad \text{---(5)} \end{aligned}$$

여기서  $\lambda$  : 빛의 파장 ( $\lambda = 0.87\mu\text{m}$ )

$n_0$  : BSO 굴절율(전압 인가되지 않았을 때  $n_0=2.45$ )

$r_{41}$  : Pockels 상수( $r_{41}=4.35 \times 10^{-12} \text{m/v}$ )

$v_\pi$  : 반파장 전압 ( $v_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3 r_{41}}$ , BSO경우 약  $6.6\text{kV}$ )

한편, (4)식에 의해

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} P_0 (1 + \sin\phi) \\ &= \frac{1}{2} P_0 (1 + \sin(\pi \cdot \frac{v}{v_\pi})) \\ &\approx \frac{1}{2} P_0 (1 + \pi \cdot \frac{v}{v_\pi}) \quad (\phi \ll 1) \\ &= \frac{1}{2} P_0 (1 + \pi \cdot \frac{V_0 \sin\omega t}{v_\pi}) \quad \text{---(6)} \end{aligned}$$

여기서 변조도는  $m = \sin(\pi \cdot \frac{v}{v_\pi})$  이 된다. 7)

### IV. PC에 의한 데이터 보정

앞 절에서 고찰 했듯이 결정자재 내에서 갖는 비선형성과 현상설치에 수반되는 오차 보정을 수행하기 위해 PC(IBM 286)에서의 데이터 수정에 의한 오차 보정에 의해 오차를 개선한다.

이의 Flow-Chart는 (그림3)과 같다. (그림3)에서 PC는 RS-232C를 통해 광 CT 혹은 광 PT의 데이터를 요구하며 이 데이터를 PC로 전송한다. 이 때 기 보정된 데이터 그래프에 의해 새로운 데이터로 보정되어 Graphic 된다. 또한 계속적으로 데이터는 저장되고, 원하는 기간동안의 데이터를 인쇄할 수 있도록 구성되어 있다.

데이터 보정방법은 인가한 전류값에 대해 이의 전 범위에 걸친 광 CT의 출력값을 그래프로 그린다. 그리고, 데이터의 직선성이 동일한 구간을 나는 뒤, 일차함수의 그래프를 구하고 이 그래프를  $y = \chi$  그래프로 보정하는 함수를 구하면 된다. (표1) 참조  
이로서, 광 CT의 데이터는 보정 함수에 의해 보정된 데이터로 바뀌어 PC에 Display 되고 이 값을 화면에 Graphic 한다.

## V. 현장 실험 구성

## Reference

당사 구미공장의 345kV 시험현장에 광 CT와 광 PT를 (그림4)와 같이 구성하였다. 전류 공급용 CT에 의해 약 1600A 까지의 전류를 발생시키고 고전압 발생부에 의해 전압을 154kV 까지 인가시킨다.

광 CT는 Magnetic Field를 효과적으로 인가하기 위해 Permalloy 재질의 Magnetic Core (내경 : 15cm)를 제작 하였다. 고전압 측정은 현장 사정상 분압 Capacitor 부가 여의치 못해 실험실 내에서 10kV의 전압을 약 20:1로 분압시켜 측정하였다. (실제 측정결과 22:1 정도로 분압됨.)

이는, 고압 Capacitor 를 100PF(70kV 내압)로 분압 Capacitor 를 2nF(600V 내압)로 구성하였다.

## VI. 실험결과 및 고찰

(그림4)에서 Hipotronics사 전류발생기 (Model No : LV75-3000)에 의해 전류를 1600A 까지 도체에 흘리고 여기에 전압을 154kV를 가한다. 도체에 일정한 전류를 흘리면서 고전압을 0에서 154kV 까지 가할 때 데이터와 파형의 변화는 없었다.

(그림5)는 450A에서의 전류파형을 나타내고 (그림6)은 900A에서의 전류파형을 나타내고 있다.

(그림7)은 인가한 전류에 대한, 광 CT 출력값과 PC에서의 수장된 데이터의 출력값을 나타내고 있다. 수장전 약  $\pm 5\%$  정도의 측정오차는 수정후 약  $\pm 1\%$  이내의 측정오차로 개선이 가능함을 보여 주고 있다. 광 CT의 출력값은 약 1300A 이상에서 Saturation 영역이 나타남을 알 수 있으나 1600A 이상의 실험을 현장 사정상 아직 행하지 못하였다. 전압측정은 450V 까지 광 PT 센서에 분압하여 인가한 결과 산형성이 매우 우수하여 데이터 보정 없이 측정 오차 약  $\pm 1\%$  이내에서 측정되었다. (그림8) 참조.

## VII. 결 론

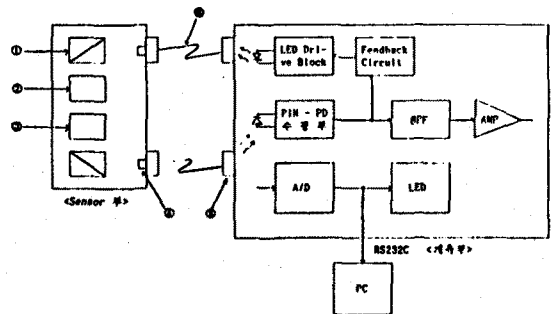
본 논문에서는 BSO 단결정 광학소자를 이용하여 광용량 전류, 전압계를 제작하였고, 이의 현장 실험을 행하였다.

광 CT 경우 1600A 까지 측정된 결과 PC에 의한 데이터 보정 전 약  $\pm 5\%$ , 보정 후 약  $\pm 1\%$  이내에서 측정 가능 하였다.

광 PT 경우 10kV를 분압하여 센서에 약 450V 까지 인가한 결과 데이터 보정 없이 약  $\pm 1\%$  이내에서 측정 가능하였다.

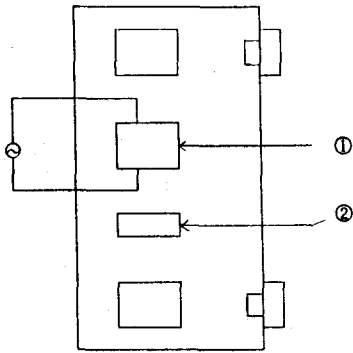
현재 광 센서부 온도특성 보인과 고전압 임펄스 실험이 진행중에 있으며, 이의 완성으로 전력 계통의 계속 감시 시스템등에 광 CT, PT가 실제 사용되기를 기대한다.

- 1) 澤 武司 and 黒澤 潔  
"光 CT. PT의 開發"  
J. IEE Japan, Vol. 110, No.2, '90
- 2) "Optical Power Line Voltage and Current Measurement System",  
EPRI 보고서, Sep. 1987
- 3) Y.W.Bibby, D.C.Larson, S.Tyagi, and L.C.Bobb,  
"Fiber Optic Magnetic Field Sensors using Metallic-Glass-Coated Optical Fibers",  
8th OFSC Jan. 1992
- 4) 최흥근, 송정택, 장근호  
"자기 광학 효과를 이용한 디지털 대전류계의 실제제작에 관한 연구" 대한 전기학회, 전자학회 논문집 4, 1986
- 5) M. Imaeda, Y.Kozuka,  
"Optical Magnetic Field Sensors Using Iron Garnet Crystals" 8th OFSC Jan. 1992
- 6) M. Kuribara  
"Optical CT & PT"  
日 CRIEPI 보고서, Oct. 1990
- 7) 光應用計測の技術動向  
전기학회 기술보고(II부) 제221호, P14, 1990



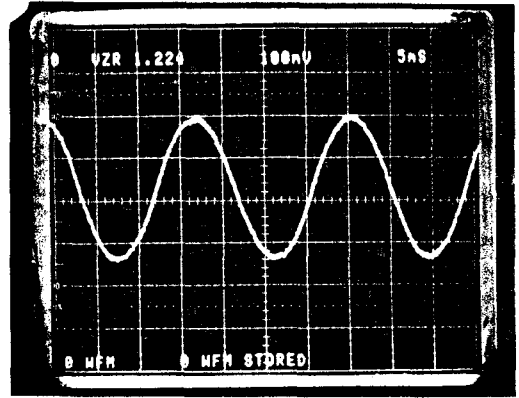
(그림1) 광 CT 센서 구성

- 1) Polarizing Beam Splitter (PBS)
- 2) BSO( $\lambda/4$  Rotator & Faraday Cell)
- 3) ZnSe (Faraday Cell)
- 4) Selfoc Lens
- 5) ST형 콘렌즈
- 6) 62.5/125 다중모드 광섬유

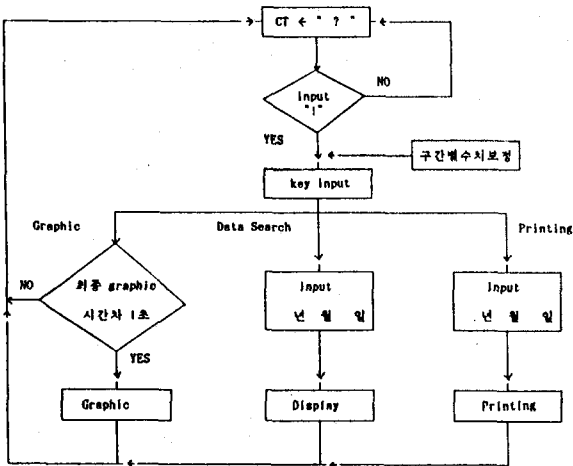


(그림2) 광 PT 센서의 구조

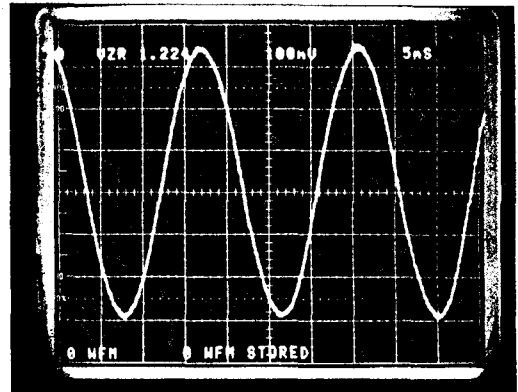
- 1) 전기 광학 소자 (BSO)
- 2)  $\lambda/4$  plate



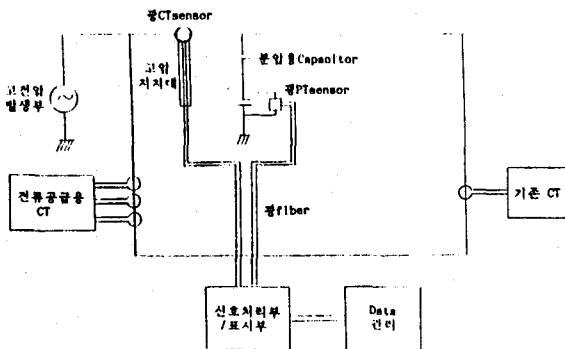
(그림5) 450A 일 때의 전류 파형



(그림3) PC에 의한 데이터 보정 Flow Chart

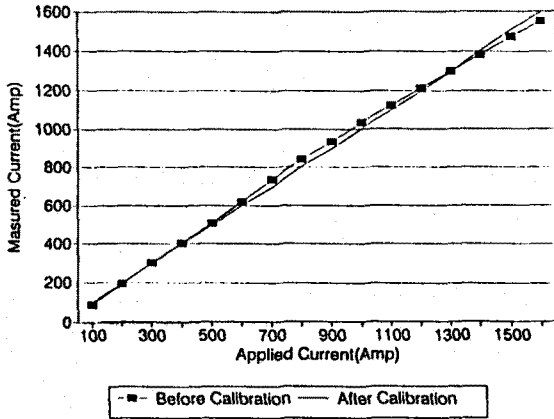


(그림6) 900A 일 때의 전류 파형



(그림4) 현장 실험 구성

### Field test results

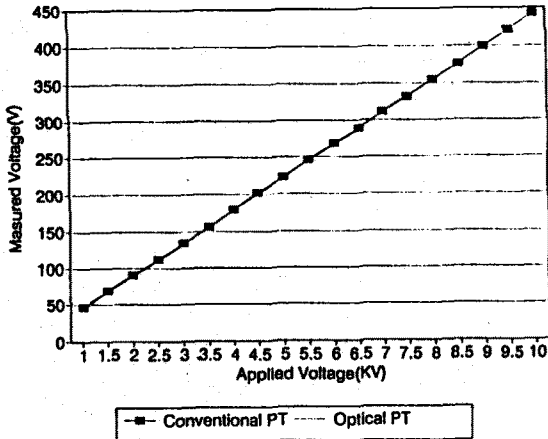


(그림7) 전류 측정 결과 그래프

인가전류량	광CT 측정 데이터(x)	보정데이터(y)
100	92	100
200	185	197
300	304	300
400	405	402
500	507	498
600	620	600
700	736	697
800	840	802
900	932	894
1000	1035	1002
1100	1124	1098
1200	1212	1197
1300	1300	1295
1400	1383	1402
1500	1471	1505
1600	1549	1598

<구간별 보정 수식>

- $x \leq 304$  :  $y = 0.94340x + 13$
  - $304 < x \leq 405$  :  $y = x - 4$
  - $405 < x \leq 840$  :  $y = 0.91954x + 30$
  - $840 < x \leq 1124$  :  $y = 1.05834x - 91$
  - $1124 < x \leq 1300$  :  $y = 1.11384x - 153$
  - $1300 < x \leq 1549$  :  $y = 1.16867x - 214$
- < 표1 데이터 보정표 >



(그림8) 전압 측정 결과 그래프