

광센서를 이용한 자기장 계측 장치 구현

김영수*, 박병석**, 김명수**, 임용훈**, 현덕화**
 *초당대학교 전자공학과, **전력연구원 정보통신그룹

An implementation of a magnetic-field measurement system based on optical sensor

Young-Soo Kim*, Byung-Seok Park**, Myong-Soo Kim**, Yong-Hun Lim**, Duck-Hwa Hyun**
 *Chodang University, **KEPRI

Abstract - In this paper, some parameters are studied for the performance improvement of a bulk optical magnetic-field sensor. The performance of optical magnetic-field sensor is influenced by optical intensity change and wavelength change of light source, and phase shift so called optical bias mismatch. A magnetic field measuring system based on optical Faraday sensor is implemented and tested in the current range from 10 ampere to 200 ampere. The test result shows implemented system has good linearity.

를 나타낸다. 파라데이 소자는 외부 인가 자계의 세기에 비례하여 편광면이 회전하는 선광자의 기능을 갖고 있으므로 편광자와 검광자에 각각 45도의 각도로 입력된 편광성분에 대하여 투과광이 x축 방향으로 θ 만큼 회전했을 경우 Jones 행렬식은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_0/\sqrt{2} \\ E_0/\sqrt{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_0/\sqrt{2}(\cos \theta + \sin \theta) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, E_{\parallel} 은 검광자에 평행한 광파의 전계성분을, E_{\perp} 은 입력광의 전계성분을 나타낸다.

한편 광의 강도는 전계 성분의 자승으로 표시할 수 있으므로 검광자를 통과한 후에 광의 입출력 관계 변조식은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\text{출력광강도}}{\text{입력광강도}} = \frac{E_{\parallel}^2}{E_0^2} = \frac{1}{2}(\cos \theta + \sin \theta)^2$$

$$= \frac{1}{2}(1 + \sin 2\theta) = \frac{1}{2}(1 + \sin 2V \cdot H \cdot l) \quad (2)$$

식(2)에서 회전각 θ 의 변화량이 아주 작을 경우에는 $\sin 2\theta \approx 2\theta$ 와 같이 근사적으로 표현할 수 있다. 따라서 입력 광파위를 P_0 라 하고 출력 광파위를 P 라 할 때 입출력 관계식은 $P = P_0(1 + m)$ 이다. 여기서 m 은 변조지수로서, $m = 2\theta = 2V \cdot H \cdot l$ 의 관계를 갖는다.

한편 신호처리 회로를 이용하여 교류 성분인 m 값을 구함으로써 피측정 자계의 세기(H)를 측정할 수 있다.

1. 서 론

고전압이나 대전력 환경하에서는 각종 임펄스성 전류, 전압, 자연계의 기상 현상에 기인한 뇌서지등이 직접적이고 간접적인 정전 유도나 전자 유도에 의해서 각종 발전소와 변전소의 계측, 제어 장치에 영향을 주고있다. 또, 송전전압의 상승에 따라 발전소의 CT, PT가 거대화되고 그에따라 건설 비용 상승이 예상된다. 따라서 발전 계통으로부터 배전 계통이나 수용가에 이르기까지 계측, 제어, 보호기술의 고도화와 건설 비용의 경제적인 측면을 고려할 때 기존의 전자식 센서 기술을 적용하기엔 한계가 있다. 따라서 전력계통 사고시 전압, 전류를 정확하게 계측하여 계통 보호 능력의 향상을 도모하기 위한 수단으로 광 센서를 이용한 CT, PT의 개발의 필요성을 느끼게 되었다. 광 센서는 절연체인 광섬유를 신호 전송로로 사용하기 때문에 측정 시스템에 정전 및 전자유도의 영향을 받지 않고, 고전압 분야와 같은 열악한 환경에서 각종 전기량을 측정하는데 매우 효과적이다. 이러한 광센서 기술을 배경으로 외국에서는 꾸준히 광 계측 분야의 연구를 추진해 오고 있고 자기광학소자와 광파이버에 의한 자속계, 전기광학소자를 이용한 전압계, LED와 광파이버를 이용한 전류계 등 계측용 광 변성기를 시험 제작하여 실용화 시험을 행하고 있으나 지금까지 국내에서의 광 계측 연구는 부진한 실태다.

본 연구에서는 벌크형 광 CT 센서를 이용하여 전자유도 간섭을 받지 않는 대전류 측정에 적합한 자기량 측정 시스템을 설계 하였다. 파라데이 효과를 이용한 Garnet 막 자계 광학 센서는 작은 전류에 대해서도 좋은 특성을 나타내었다. 자기량 측정 실험 결과 출력변동 $\pm 2\%$ 이내의 양호한 특성을 보여주었다.

2. 본 론

2.1 자기량 계측 센서의 원리

일반적으로 외부에서 인가한 자계의 세기에 의한 파라데이 회전각은 $\theta = V \cdot H \cdot l$ 로 표현할 수 있다. 여기서 V 는 Verdet 상수(min/Oe·cm)로서 단위 길이와 단위 길이당 파라데이 회전량을 나타낸다. H (Oe)는 인가자계의 세기를 그리고 l (cm)은 파라데이 소자의 길이

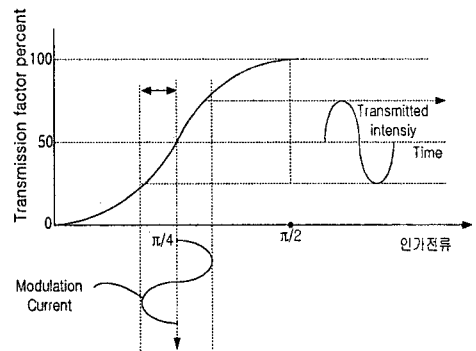


그림 13. 광전류 센서의 입출력 특성

그림 1은 광학 바이어스점이 45도 지점에 있을 때 파라데이 회전각 θ 값의 변화에 따른 출력 광강도(P)의 변화를 도시한 것이다. 파라데이 회전각의 변화가 1도 미만의 선형 영역에서 광강도 변조가 이루어지도록 설계

함으로써 고정도 계측 시스템 구성이 가능하게 된다.

2.2 측정 정도 파라미터

그림 2는 광원에서 출력되는 광세기가 변할 경우 출력의 변화를 도시한 것이다. 광 세기가 변할 경우 곡선은 y축 방향으로 변동하기 때문에 측정의 정확도를 높이기 위해서는 사용구간 범위에서 광 세기가 일정하게 유지되어야 한다. 그림 3은 위상이 변할 경우 출력을 도시한 것이다. 위상의 변화는 전달함수를 x축으로 수평 이동한 것이므로 DC를 측정하는 경우에는 잔류편차(Offset)가 나타나고 정현파 측정 시에는 입력과 출력사이에 위상차가 나타난다. 그림 4은 광원의 파장이 변할 경우 출력함수를 도시한 것으로 원점부호의 기울기가 변하게 되므로 선형성 보다는 측정 정확도 측면에서 광의 파장을 일정하게 유지해 주어야 한다.

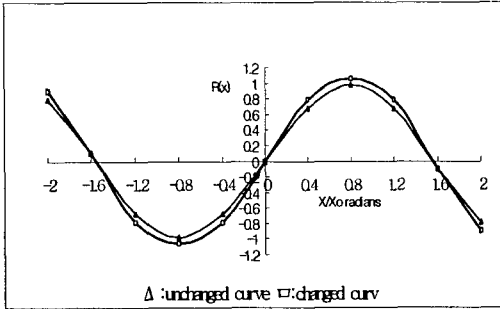


그림 2. 광 세기 변화의 영향

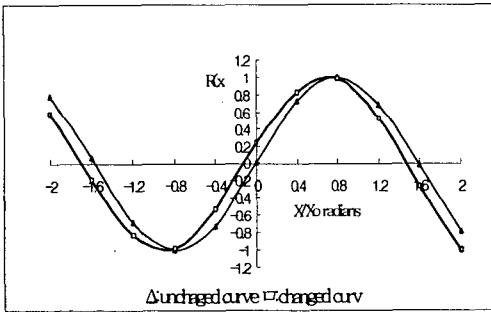


그림 3. 위상 변화의 영향

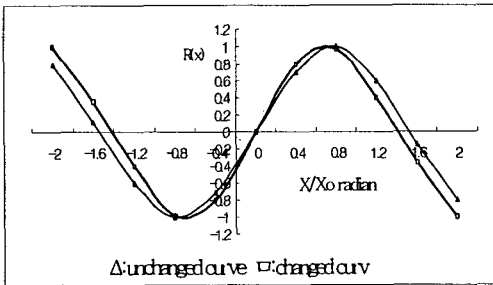


그림 4. 파장 변화의 영향

2.3 광 자기량 측정 장치 설계

그림 5는 광 자기량 계측 시스템의 구성도이다. 센서부 구성 소자는 입력부에 편광기인 PBS, Faraday 소자인 YIG, 광학 바이어스 소자인 45° 회전자, 그리고 검광자인 PBS로 구성된다. 그리고 결합 효율을 높이기 위해 광 입출력 부에 렌즈가 장착된다. 표 1에서 보여주는 사

양을 만족하는 광 소자 및 부품을 이용하여 광 자기량 계측 장치를 제작하였다. SML은 송신측에서는 평행광 형성용으로 수신측에서는 집광용으로 이용되며 양면에 무반사 코팅 처리되어 있다. 광학 바이어스를 걸어주기 위하여 λ/2판을 사용하는 대신 45° 각도로 PBS를 고정할 수 있도록 V홈을 설치하였다. 그림 6은 검광자를 45° 회전하여 제작된 광 CT 센서를 보여주고 있다.

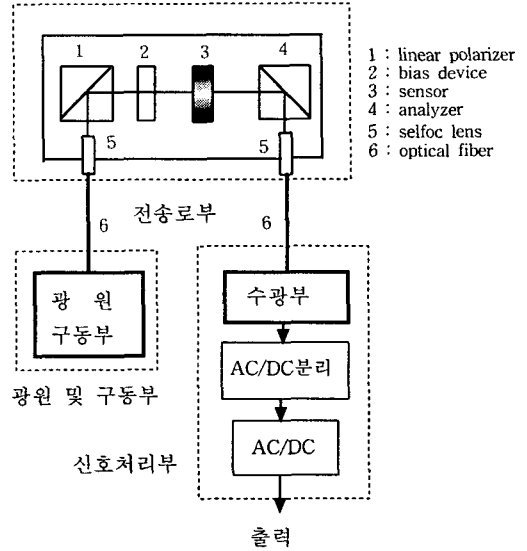


그림 5. 광 자기량 계측 시스템 구성도

표 1. 광 자기량 계측 센서 사양

항 목	방 식	광 자기량 계측 센서
정격 전류		630Arms
전류 측정범위		30 ~ 1000Arms
용 도		계 측 용
측정 오차범위		± 2 %
센 서		RIG (회토류 첨가 YIG)
광 원		VCSEL(0.85μm)
수광 소자		PIN - PD
입출력 특성		약 1V / 100A
출력 단자		BNC - R 콘넥터
광 콘넥터		FC Type
사용 온도		- 25 ℃ ~ 70℃
RIG의 특성 (λ=830nm)		
<ul style="list-style-type: none"> ● 삽입손실(dB) : < 3.8 ● Wavelength Dependence(deg/nm) : -0.17 ● Faraday angle(deg) : 45±2 ° ● Temperature Dependence(deg/℃) : -0.06 		

그림 8은 제작된 광 자기량 계측용 센서 내부 사진을 보여준 것이다. 그림 7과 그림 8은 각각 광 자기량 계측 시스템의 전체 구성도와 외부 사진을 보여준다. 전체 구성도에는 전원장치, 광원 구동부 및 신호처리부, 그리고 측정량을 디스플레이하는 표시용 메타가 내장되어 있다.

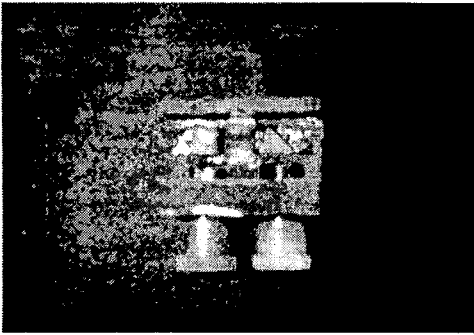


그림 6. 제작한 자기량 계측 센서

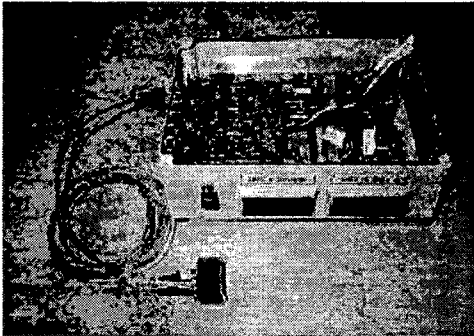


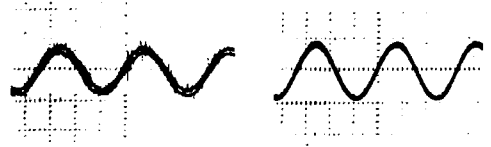
그림 7. 전체 시스템 구성 사진



그림 20. 계측 장치 외부

2.4 시험 및 결과

RIG를 이용한 광 자기량 계측 센서에 대한 선형성을 측정하기 위해서 전류 발생기로부터 60Hz 교류전류를 20A에서 200A까지 인가했다. 광원으로부터 직류 성분의 광을 광 전류 센서부에 입사하면 교류 전류의 변화에 따라 변조된 광 출력이 얻어진다. 이렇게 강도 변조된 광 출력은 수광 회로에 의해 전기신호로 변환되고 신호처리 회로에 의해서 증폭된 후 인가 전류의 크기에 비례하는 전압 신호가 출력된다. 그림 9는 수신 신호처리 회로에서 잡음 제거를 하지 않았을 때와 잡음을 제거한 후의 파형을 보여준다. 광 소자의 삽입 손실이 크기 때문에 수광량이 미약하여 증폭회로 설계 시 잡음이 많이 발생한다. 그림 10은 인가 전류가 100A일 때 오실로스코프로 관측한 60Hz 교류 파형을 보여주고 있다. 파형 재현성이 양호함을 알 수 있다.



(a) 잡음제거 전 (b) 잡음제거 후

그림 9. 수신단 잡음 파형 특성

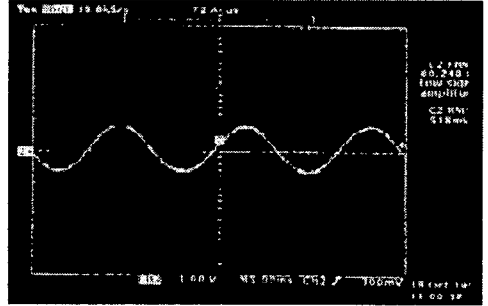


그림 10. 100A 입력시 광 CT 출력 파형

그림 11은 60Hz 교류전류를 20A에서 200A까지 인가하고 그 측정 결과를 그래프로 도시한 것이다. 광 자기량 센서의 인가 전류의 크기에 따른 출력 변화를 측정할 결과 20A에서 200A까지 측정오차 $\pm 1\%$ 이내로서 양호한 선형특성이 얻어졌으며 포화특성은 관측되지 않았다.

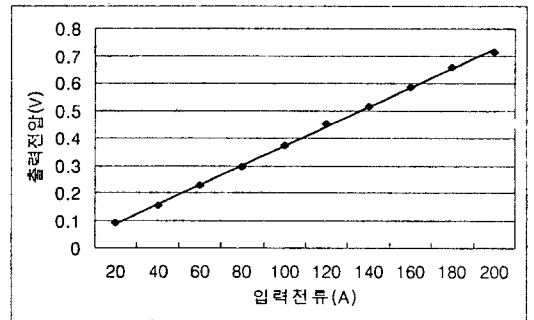


그림 11. 검광자를 45도 회전한 광 CT의 입출력 특성

3. 결 론

본 연구에서는 송 배전용으로 적용하기 위하여 광센서를 이용한 자기량 측정 장치를 설계하고 시험하였다. 실험에 앞서 최적의 광 자기량 측정 센서 설계를 위하여 센서의 전달함수에 의해 측정정도와 고감도 측정에 영향을 주는 여러 가지 파라미터를 분석하였다.

45° 회전자를 사용한 광 CT의 경우에는 자계 집중을 위한 코어를 사용하지 않았으며 측정 범위 내에서 자기 포화특성은 나타나지 않았다. 피측정 전류를 20A에서 200A까지 인가하고 측정할 결과 측정오차 $\pm 1\%$ 이내의 양호한 선형성을 보였다. 파형 재현성 실험에서도 60Hz 정현파를 양호하게 검출하였다. 수신부 광량이 미약하여 출력 파형에 잡음이 관측되었지만 잡음 제거 필터로써 해결 할 수 있었다. 앞으로 200A 이상의 피측정 전류를 인가할 수 있는 전류원을 구입하여 200A 이상 높은 전류에 대하여도 선형성 시험을 수행할 계획이다. 또 설계 시스템의 신뢰성 확보를 위해 자기량 측

정시스템에 대한 추가적인 보완 시험을 한전의 시험 선로에서 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김영수, 임용훈, 현덕화, "고정도 광 전류 센서 구현을 위한 파라미터 분석 연구" 2001년도 대한전기학회 전기물성·응용부분회 추계학술대회논문지 pp. 265-267. 2001. 11.
- [2] 김영수의 "벌크형 광 CT 성능 개선 방안" 한국전력공사 전력연구원 연구보고서 2002. 2.
- [3] 김영수의 "벌크형 광 CT 시험 제작 및 성능 평가" 한국전력공사 전력연구원 연구보고서 2002. 2.
- [4] EPRI EL-5431. Vol. 1, Project 2748 Final Report, Sept. 1987.
- [5] EPRI EL-5431. Vol. 2, Project 2748 Final Report, Sept. 1987.
- [7] H. Harms and A. Papp, "Magneto-Optical Current Transformer 3: Measurement". Appl. Opt. Vol. 19, No. 22, 1980.
- [8] H. Harms and A. Papp, "Magneto-Optical Current Transformer 3: Measurement", Appl. Opt., Vol. 19, No. 22, 1980.
- [9] T. Mitski, et al., "Development of fiber-optic voltage sensors and magnetic field sensors", IEEE SM442-8. 1986.
- [10] T. W. Cease and P. Johnston, "A magneto-optic current transducer", IEEE Trans. Power Delivery, pp548-553, 5. 1990.
- [11] Y. N. Ning, Z.P. Wang, A. W. Palmer, K. T. V. Grattan and D. A. Jackson, "Recent progress in optical current sensing techniques", Rev.Scl. Instrum.6, pp3097-3111, 6. 1995.
- [12] T. Kaneko, et al., "Development of High Voltage Harmonics Measuring Instruments for Distribution Systems Using Optical Voltage Sensor and Current Sensor" T.IEE Japan, Vol.118-C, No.5, 1998.