

광전자식 과전류 보호계전기의 구현 및 성능 평가

Implementation and Performance Evaluation of Opto-Electronic OverCurrent Relay

박 병 석, 안 성 준, 장 문 중, 우 희 곤
(Byung-Seok Park, Sung-Joon Ahn, Moon-Jong Jang, and Hee-Gon Woo)

Abstract : The measurement of electric current using optical techniques provides a number of important practical advantages, including effective isolation from high line potentials, and freedom from the saturation effects observed in conventional current transformers. In this work, the optical current sensor, which uses thin YIG(Yttrium Ion Garnet) film as a Faraday element, has been developed. We have characterized this optical current sensor and implemented it to the OOCR(Opto-electronic OverCurrent Relay). Performance of the OOCR shows the possibility of replacing the present overcurrent relays with OOCR.

Keywords : protective relaying, optical sensor, current transformer, overcurrent relay

I. 서론

최근 전력설비의 현대화로 미터링 또는 보호계전을 위하여 많은 부분에 디지털 형태의 계측 장치가 사용되고 있다. 이제까지 주로 사용되어 오고 있는 전자계식 전류 변성장치는 대 전류가 흐르는 1차측에서는 도체에 코일을 감아 자계 유도형태로 전류를 감지하고, 2차측에서는 일정비율로 축소된 전류를 사용하여 과전류 보호계전기 코일을 직접 여자 시키거나 전압으로 바꾸어 점지형 또는 디지털형 신호처리에 사용하고 있다. 2차측 전류로 대개는 5A가 되도록 하여 사용하지만 전력계통에 단락고장이 발생하면 전류 크기는 수배로부터 수 십배까지 급격히 증가하게 된다. 기존방식의 전류 변성기는 경년에 따른 열화 등에 의해 성능이 저하되면 각종 전기고장의 원인이 되며, 아울러 자기포화에 의한 파형 왜곡과 써지나 잡음 등의 전기적 장치가 갖는 구조적 문제점을 가지고 있다. 더욱이 송배전 전압의 초초고압화(765kV)에 따른 절연 장치의 규모가 커질수록 절연 비용이 많이 들고 취급 등에 어려움이 많은 실정이다[1,2].

이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로 본 연구에서는 계통 보호 시스템에서의 전류 감지에 있어서 전류에 의해 형성된 자계에 의해 광신호의 편광(polarization) 회전을 발생시키는 Faraday 효과를 가지는 광센서[3,4,5]를 이용하여 과전류 보호계전 기술을 개발하고자 하였다. Faraday 효과를 이용하여 전류 량이나 자계를 측정하고자 하는 연구의 초기에는 광섬유 자체를 센서로 사용하는 형태를 고려하였으나, 외부환경의 변화에 취약한 특성 때문에 보다 안정적인 화합물 결정체를 이용하였다.

본 논문의 2 장에서는 광 전류 센서의 기본 원리와 신호처리 방식을 소개하고, 3장에서는 광 전류센서와 기존 CT(Current Transformer)간의 성능을 비교 분석하였으며, 4장에서는 광 전자식 과전류 보호계전기(OOCR,

Opto-electronic OverCurrent Relay)의 설계와 제작을 기술하고 마지막으로 제작된 OOCR의 보호 계전기능에 대한 특성시험 결과를 기술하였다.

II. 광 CT의 원리 및 신호 처리 방식

1. 광 CT의 원리

광 CT의 기본 원리는 광의 편광을 회전시키는 성질을 가지는 Faraday소자를 이용하는 것으로 그림 1과 같다[1]. 여기서 Faraday 회전각 θ 는 자계의 세기를 H, 광센서에서 광 경로의 길이는 L, 광의 전파방향과 자계와의 각도를 α 라하고 Verdet 상수를 V로 표시할 때,

$$\theta = V \cdot H \cdot L \cos \alpha \tag{1}$$

가 된다.

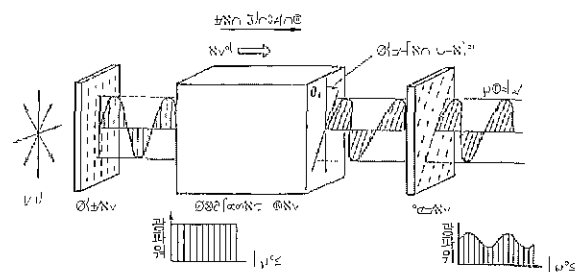


그림 1 광 CT의 동작 원리.
Fig. 1. Principle of optical CT.

Faraday 소자가 갖는 고유 물성치인 Verdet 상수에 의해 편광의 회전각도가 달라지며, 시스템의 설계에 있어 온도 의존성이나 삽입 손실 등의 특성들과의 관계를 고려하여 광 전류센서를 설정하여야 한다. Faraday 효과를 광 전류센서의 중요 파라메타는 Verdet 상수와 온도 의존성 등을 들 수 있으며, 전류 량의 정확한 측정을 위해서는 신뢰성 있는 신호처리가 중요하다[2].

실질적인 센서부의 구성은 2개의 GRIN(Graded Index)

접수일자 : 1999. 7. 8., 수정완료 : 1999. 11. 5.
박병석, 안성준, 장문중 전직연구원 정보통신그룹
우희곤 파워콤

렌즈, 2개의 PBS(Polarized Beam Splitter), 45° 회전자 그리고 광자계 센서로 구성되어지며, 그림 2에서 각 소자 배치를 나타내었다. 광섬유를 통하여 전달되는 광신호는 입출력부의 GRIN 렌즈에 의해 평행 광으로 정렬되어지고 광자계 센서는 선광성이 없으므로 전단 PBS를 통과하면서 광원의 빛이 선편광(線偏光)을 가지도록 조정된다.

선형성이 우수한 영역에서 광신호를 검출하기 위해서는 광학 바이어스를 잡아주어야 하며, 센서 전단의 45° 회전자에 의해서 이루어진다. 전력선에 전류가 흐르면 자계가 형성되고, 선편광된 빛은 센서를 통과하면서 편광면이 회전하게되며, 후단의 PBS를 거치면서 전류의 세기에 따른 빛의 강도로 진폭 변조된다.

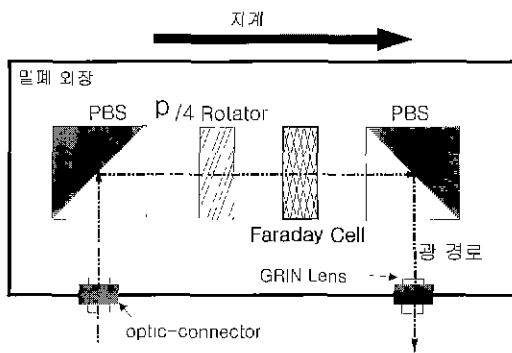


그림 2. 광자계센서부의 구성도.
Fig. 2. The structure of optical sensor.

2. 광 신호 처리 방식

전력선의 교류전기에 의한 자계의 변화에 따라 진폭 변조된 광신호. P는 맥류신호 형태를 가지며 이것을 수식으로 표현하면, 수광부에 입사되는 광의 직류성분을 P_D 라 할 때,

$$P = P_D(1 + m) = P_D + mP_D \quad (2)$$

으로 나타내어진다 여기서 m은 Faraday 효과에 의한 광의 변화량으로서 전력선의 전류에 비례한 변조도와 같다 변조도, m만을 검출하는 방법으로 (3)과 같이 수신된 광신호를 직류성분과 교류성분으로 분리한 뒤 나누어주는 방식을 택하였다.

$$m = \frac{mP_D}{P_D} = \frac{\text{교류}}{\text{직류}} \quad (3)$$

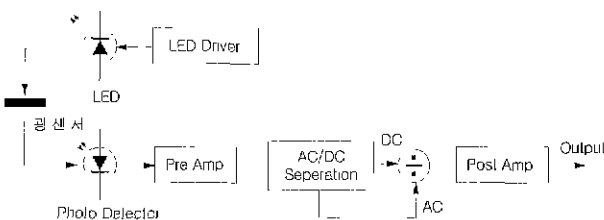


그림 3. 나눔 방식을 이용한 신호처리도.
Fig. 3. The signal processing algorithm using division method.

그림 3에 나타낸 나눔 방식의 변조도 검출은 회로 구성이 간단하며, 안정적인 광신호의 변조도 검출을 가능하게 한다

광 신호를 전기신호로 변환하는 PD(Photo Detector)에서의 신호는 매우 미약하여 잡음이나 외부간섭의 영향에 민감하므로 우수한 품질의 초단 증폭기를 이용하여야하며 정지형 계전기에도 적용을 위하여 AD변환기로 입력된다.

III. 광 CT와 기존 CT의 성능 비교 분석

1. 광 센서의 성능 분석

만약 광이 지나가는 선상의 자장이 일정하다면 (1)은 다음과 같이 간단히 된다.

$$\theta = V \cdot B \cdot L \quad (4)$$

광 CT는 그림 2와 같이 편광자, Faraday 소자 및 검공자로 이루어져 있으며, 실제 구현에서는 Faraday 소자의 선형성이 우수하도록 광축과 45° 가 되는 광학바이어스를 회전자(rotator)를 이용하여 잡아 주는데, 광학 성분을 수식으로 나타내면 다음과 같다

$$|E_o| = |E_i| \cos(45^\circ \pm \theta) \quad (5)$$

여기서, E_o : 출력광의 전기 성분
 E_i : 입력광의 전기 성분

광의 세기는 전기 성분의 진폭을 2승한 것과 같으므로

$$P_o = P_i \cos^2(45^\circ \pm \theta) \quad (6)$$

여기서, P_o : 출력광의 세기(intensity)
 P_i : 입력광의 세기

이며, 삼각함수의 성질을 이용하여 간단히 정리하면 다음과 같이 나타내어진다.

$$P_o = \frac{P_i}{2} (1 \pm \sin 2\theta) \quad (7)$$

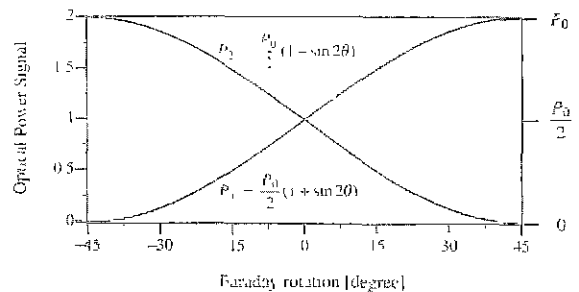


그림 4. 광 CT의 특성곡선.
Fig. 4. The characteristics of optical sensor

그림 4에 광 CT의 특성 곡선을 나타내었으며, 만약 45° 회전자가 없다면 광학 바이어스가 특성곡선의 포화지점으로 설정되어 광 전류 센서의 선형성이 없어짐을 알 수 있다 이와 같은 결과는 Jones Vector를 이용한 해석[5]을

하여도 같은 결과를 얻을 수 있다

도체에서 r(m)만큼 떨어진 지점에서 자계의 세기 H는 다음의 식과 같이 형성되며, 그림 5에 거리에 따른 자계의 세기를 나타내었다. 여기서 a는 전력선의 반지름이다.

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (8)$$

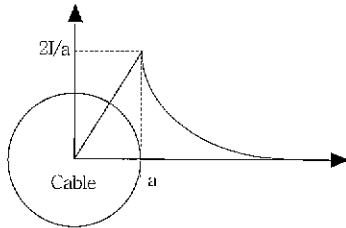


그림 5. 도체에서 r만큼 떨어진 곳의 자계의 세기.
Fig. 5. Intensity of magnetic field in the r distance.

광 센서의 위치는 전력선의부에 부착되어지므로(즉, r ≥ a인 경우) 자계의 세기는 전류에 비례하고 거리에 반비례하게 된다 이상의 관계를 정리하면 광센서의 입력광에 대한 출력광의 회전각은 전류에 대한 함수로 나타내어지며, 다른 변수들은 시스템 구현상에서 모두 상수로 결정된다.

전력선 전류에 대한 광 CT의 반응은 수광소자와 증폭 회로를 거치면 전압 값으로 나타낼 수 있으며 1H(A/m)가 4π × 10⁻³ V인 것을 고려하여 수식 7에 수식 4와 수식 8을 대입하면 결과식은 다음과 같다(+부호의 경우만 취함)

$$V_o = A(1 + \sin(2 \times 4\pi \times 10^{-3} \times VL \frac{I}{2\pi r})) \quad (8)$$

위의 최종식에 대입할 각 상수들은 전력선 중심과 광 센서간의 거리 10cm로 설정하고 광 전류센서의 규격으로부터 참조하면 다음과 같이 정해진다

표 1. 광 센서관련 파라미터.

Table 1. Parameter of optical sensor.

상수 명	수 치	단 위
전력선 중심으로부터 광센서의 위치(r)	10	cm
광전류 센서의 두께(L)	50	μm
광 전류 센서의 Verdet 상수(V)	7	deg/Oe · cm

비례상수 A는 신호의 선형적인 비례크기를 결정하는 상수로서 물리적으로는 광신호 구간에서는 광센서나 커넥터 등에서 발생하는 각종 손실, 광전변환 소자의 특성, 시스템의 증폭단에서의 증폭율 등 신호의 크기를 결정하는 많은 요인들이 관여하나, 광소자에서의 손실편차는 시스템의 증폭단에 의해 시스템 구현시 요구되는 적절한 전압범위로 조정될 수 있다. 이상의 수치들을 대입하여 정리하면 광 CT의 반응도인 출력전압은 전력선 전류 I에 의해서만 결정되며 다음과 같이 정리되어진다

$$V_o = A(1 + \sin(1.4 \times 10^{-4} I)) \quad (9)$$

출력 광의 회전각은 (9)에서 삼각함수의 특성을 고려할 때, 대략 포화시점인 ±70°의 변화를 갖도록 허용한다면 전력선의 측정가능 전류는 50kA까지이며 광 전류센서의 두께(L)를 얇게 하거나, 광 센서와 전력선간의 거리(r)를 멀리하면 더욱 증가할 수 있음을 (8)에서 알 수 있으나, 반면에 소전류에 대한 측정감도가 떨어진다 그림 6에 광 CT의 반응 곡선을 나타내었으며, 전류가 커질수록 점차 포화됨을 볼 수 있다. 그림 6은 실험실의 제한된 전류원에서 광 CT의 포화 특성을 잘 관찰하기 위하여 근접된 거리에서 원형 철심을 사용하여 측정하였다

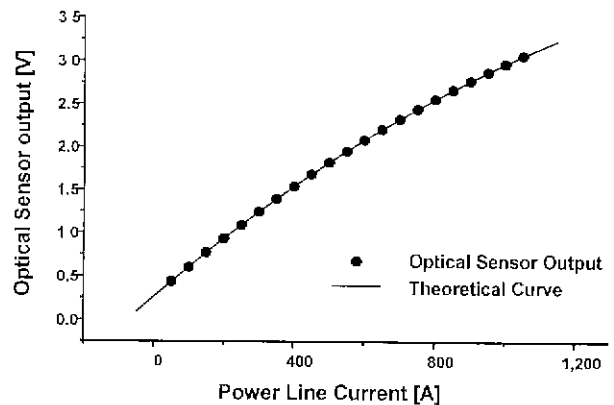


그림 6 광 CT의 특성 곡선.

Fig. 6 Characteristics of optical CT.

2. 기존 CT의 시뮬레이션

기존의 변류기의 성능을 시험하기 위하여 PSCAD/EMTDC시스템을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 기본적인 계통의 구성은 154kV 송전 계통을 대상으로 그림 7에 나타내어진 것과 같이 두 변전소 사이의 송전 선로상에서의 지락사고를 가정하여 변류기의 포화 현상을 시뮬레이션하였다. 송전선로는 ACSR480mm를 가정하였으며, 송전 선로의 시뮬레이션 관련 주요 변수값들을 표 2에 나타내었다.

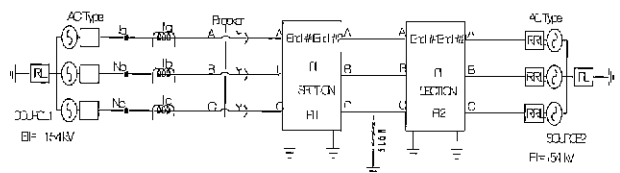


그림 7. 전력계통의 CT 시뮬레이션 모델

Fig. 7 Simulation model of electromagnetic CT condition.

아울러, 변전소의 모선등가 임피던스는 정상분이 4.147 ∠ 82.61° (Ω)이며, 영상분은 10.286 ∠ 79.50° (Ω)으로 설정하였다 변전소에 설치된 변류기의 주요 파라메타는 전형적인 CT를 모델로 설정하였으며 표 3에 나타내었다.

표 2 선로의 주요 임피던스.

Table 2 Impedance of power line .

선로 임피던스	크 기
정상분 저항	0.0436 + j0.3445/km
정상분 리액턴스	0.28133 + j0.4328/km
정상분 캐패시티브 리액턴스	1.6074 + j0.84398/km

표 3 변류기의 파라메타.

Table 3. Parameter of electromagnetic CT.

파라메타	크기	단위
Cross Secuonal Area	5000	mm ²
Path Length	0.887	mm
Primary Side Resistance	0	Ω
Secondary Side Resistance	0.534	Ω
Secondary Side Inductance	0	mH
Burden Series Resistance	25	Ω
Burden Series Inductance	11.485	mH
Turn Ratio	1200/5	

3. 시뮬레이션 결과 비교 분석

시뮬레이션은 사고지점의 거리를 1km, 5km로 변화시키며, 사고시 전류의 위상을 0°, 45°, 90° 로 각기 변화시키며 수행하였다. 사고시 1차 전류에 대한 광 센서와 CT의 출력 파형을 비교하기 위하여, 전력선전류, 변류기의 출력 전류와 광 센서의 출력 값의 크기가 동일하도록 정규화시키고, 사고 거리 1km, 위상 0에서의 파형을 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 정상 동작 시에 3가지 파형이 모두 일치하나, 사고 발생에 의해 전류가 급격히 증가하면서 1차 전류에 대한 기존 변류기나 광 센서의 출력 파형이 모두 불일치함을 알 수 있다. 그러나, 광 센서의 경우, 앞에서 설명한 수식 8에서의 sin곡선 형태의 전달함수에 의하여 발생하는 정상적인 동작 결과이나 기존 변류기는 자기 포화에 의해 파형이 왜곡되어 일그러진 출력 결과를 나타냄을 그림 8에서 확인할 수 있다.

기존 변류기의 자기 포화에 의한 출력 왜곡은 현재 정규화된 방법에 의해 1차 전류의 역환산 방법이 개발되지 않은 상태이며, 단지 변류기의 출력 파형의 주파수 영역에서의 분석에 의해 2차 고조파 이상의 성분들의 크기가 이상(異狀) 증가하는 것에 따른 변류기의 포화를 추정할 수 있는 정도이다. 반면 광 센서의 출력 불일치는 수학적인 방법 즉 전달 함수의 역함수인 sin⁻¹함수를 광 센서의 출력에 적용하면 원래의 1차 전류가 그대로 복원될 수 있으며, 복원된 결과를 그림 9에 도시하였다. 그림 9에서 광 센서의 복원 파형과 1차 전류의 파형이 서로 겹쳐져서 구분되지 않음을 알 수 있다 따라서 광 전류 센서를 이용하여 전력 계통의 보호 및 감시에 적용할 경우에 어떠한 상황에서도 정확한 1차 전류의 측정이 가능하여 신뢰성 높은 전력 계통 시스템을 구축할 수 있음을 알 수 있다.

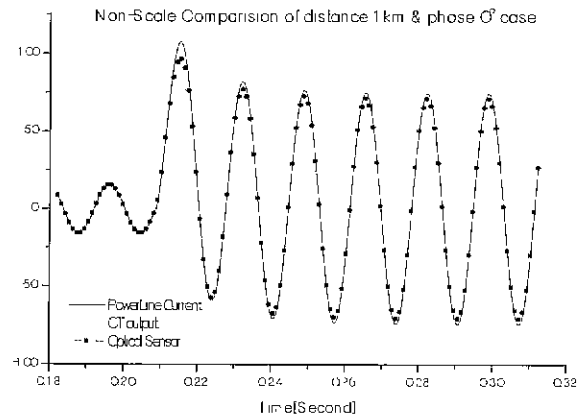


그림 8. 광 CT와 기존 CT의 출력 특성 비교
Fig. 8. Comparison between electromagnetic CT and optical sensor.

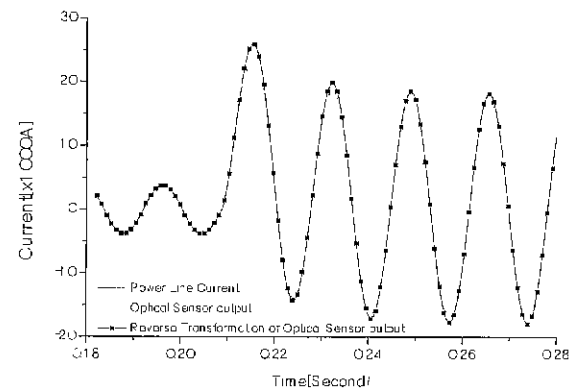


그림 9. 광 CT의 1차 전류 복원 특성.
Fig. 9. Restoration of the optical sensor signal.

IV. OOCR의 설계 및 구현

설계된 OOCR은 넓은 동작영역에서 우수한 선형성을 갖는 광센서의 특성을 살려서 기존의 CT에서의 탭에 의해 전류 변환 비를 설정하던 방식을 제거하고 전자회로와 소프트웨어적인 처리를 통하여 센서에 관계없이 동작 전류영역을 설정하도록 구현하였다. 이러한 특성은 계통보호 시스템의 설비의 초기설치 및 유지보수를 간편하도록 하며, 단순한 스위치 조작으로 넓은 대역의 부하에서 사용 가능하여, 엄격한 과전류 감시 및 보호가 가능하여 운영상의 유연성이 우수하다.

OOCR은 정지형 계전기를 기본 모델로 하였으며, 그림 10에 OOCR의 블록도를 나타내었다. 광소자 구동회로에서 출력된 광신호는 광섬유를 통하여 전력선에 설치된 광센서를 거치면서 변조되어 다시 광소자 구동회로에 인가되어 전기적인 신호로 변환된다.

광소자 구동회로에서 검출된 신호는 맥류 형태의 불완전한 정보 형태를 가지나 신호처리부를 거치면서 전류의 세기와 비례하는 특성치만 추출되어지며, AD변환기를 통하여 디지털 신호로 변환된다. 광 신호처리부에서 나온 출

력은 저항에 의한 분압회로를 통하여 각 상당 2개의 채널이 AD변환기에 인가되어 AD변환기의 분해능(resolution)을 증가시키는 효과를 가질 수 있다. 아울러 분압회로와 AD변환기 사이에 클램프회로를 두어 AD변환기를 고전압으로부터 보호하도록 하였다

제어부에서는 16bit의 고속 마이크로 컨트롤러의 제어에 의해 전력선의 전류를 감시하며, 전면 패널에 정보를 표시하거나 패널로부터 조직 정보를 받아 처리한다. 내부 응용프로그램은 어셈블리어로 작성되어 오버헤드가 적으며, 전류의 변동에 고속으로 반응한다.

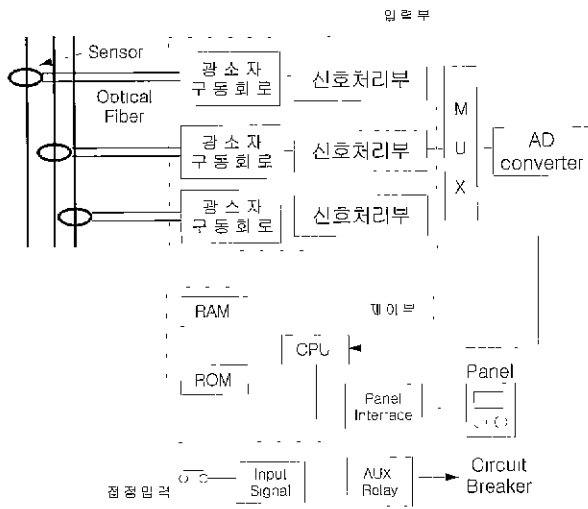


그림 10. OOCR의 구성도
Fig. 10. Block diagram of the OOCR.

OOCR의 보호계전 기능으로 순시특성과 한시특성 모두 구현하였으며, 한시특성의 반한시, 강반한시, 초반한시의 3가지 시간지연특성과 계통에서의 보호 협조를 위하여 시간지연 탭 설정 기능을 모두 구현 하였다.

실험실에서의 전류원의 장비가 수동식 로타리에 의해 조정되기 때문에 전류를 순식간에 수백 A의 전류범위로 가변시킬 수 없어, 미리 전류원의 전류를 측정하고자 하는 과전류비에 고정시키고 보호계전 프로그램을 가동시키는 측정 방식에 의하여 보호 기능 실험을 수행하였다. 보호계전기의 기준전류를 1차 전류 100A를 설정하고, 실험실의 전류원 용량 제약상 150% ~ 950%까지의 과전류 영역에서 100%단계로 수행하였으며, 시간지연 탭은 1, 5, 10, 15, 20의 다섯 단계에 대하여 수행하였다 이상의 영역에 대하여 5회 반복 실험하여 그 결과를 그림 11 ~ 그림 12에 시간지연 특성별로 도시하였다. 그림들에서 각각의 실선은 이론 값을 나타낸 것이며, 점들은 실험 값이다. 실험 결과 1%이내의 오차시간이내에서 보호계전기가 동작하여 매우 양호한 특성을 보였으며, 제약된 실험 방식이지만, 제작된 광전자식 과전류 보호계전기의 내부에 실장된 보호계전 프로그램의 건전성과 광 CT를 비롯한 하드웨어의 반응성을 잘 보여 주고있다.

보호계전기의 순시특성은 보호계전기 규격 특성상 시간

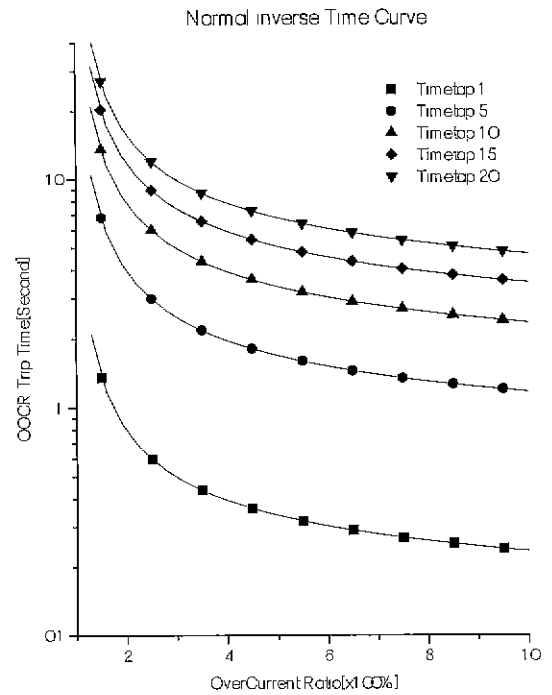


그림 11. OOCR의 정반시의 시간 특성.
Fig. 11 Normal inverse response characteristics of the OOCR.

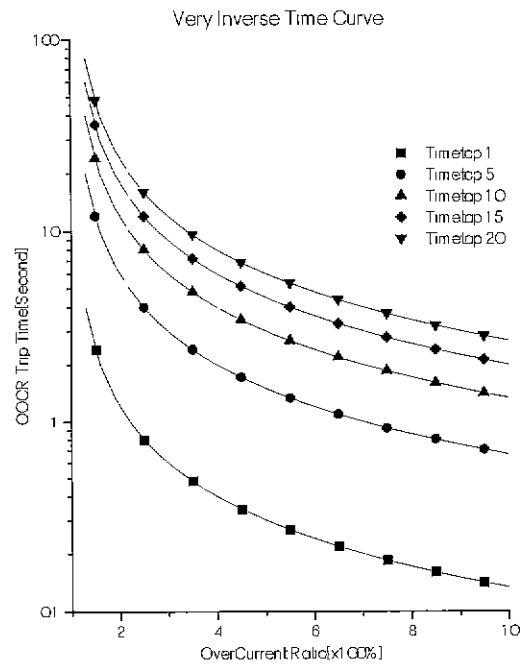


그림 12. OOCR의 강반한시의 시간 특성.
Fig. 12. Very inverse response characteristics of the OOCR.

지연 탭과 반한시 목적선에 관계없이 동작하며, 40ms이내에 동작할 것을 요구한다. 실험 전류원의 순간적인 가변이 곤

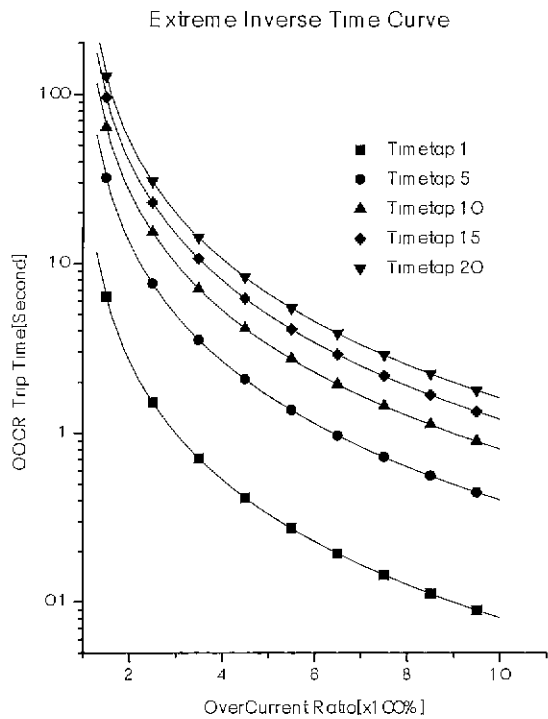


그림 13. OOCR의 초반환시의 시간 특성.
 Fig. 13. Extreme inverse response characteristics of the OOCR.

란한 관계로 순시 특성 실험은 실험 시작 시점에서의 전류의 위상에 의해 지연시간이 결정되어 실험 의미가 다소 미약하였으나, 최대 16ms이내에서 동작하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 전력선의 자계 변화에 의한 광신호의 편광 변화를 이용하여 전류를 측정하는 광 CT기술을 전력계통의 보호 계전 분야에 적용하기 위한 광전자식 과전류 보호계전시스템 및 신호처리 기술 개발에 대하여 기술하였다.

지금까지는 단독 CT 또는 BCT(bushing CT) 형태의 변류기를 이용하여 전류 계측과 보호계전을 수행해 왔으

나, 과대 전류가 흐르는 경우에 변성기의 포화, 개폐 켜지나 낙뢰 또는 대지 전압 상승에 의한 전자유도장해(EMI), 변성기의 열화나 고장시 폭발 위험성 등의 문제점을 가지고 있어, 이를 해결하기 위해서는 근본적인 방식의 전환이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 이러한 요구에 적극 대처하기 위해 광센서와 광섬유 전송로를 이용하면 광기술의 장점인 소형, 경량, EMI에 강한 우수한 특성이 전자기기를 계측, 제어하는데 가장 적합한 기술이 될 것으로 판단하였다.

기존 변성기와 광 센서의 성능 분석을 통하여, 전력계통의 고장시에 기존 변성기는 자기 포화에 의한 출력신호를 왜곡시키는데 반하여 광 센서는 간단한 변환처리를 통하여 1차 고장 전류를 간단히 복원할 수 있음을 보였다. 설계·제작된 광전자식 과전류 보호 계전기는 정지형 보호 계전기를 모델로하여 광CT의 넓은 동작 영역을 충분히 수용하도록 하였으며, 1차 전류를 정확히 감지하여 계통 보호 기능을 충실히 수행함을 종합적인 성능분석을 통하여 확인하였다. 아울러 대용량화, 초고압화되어 가는 추세인 전력 계통 시스템에 적용될 경우, 절연 문제가 없어 안정적이며, 비용이 절감될 뿐만 아니라, 비접촉식 광학 소자들로 구성되어, 반영구적이기 때문에 유지 보수 비용의 절감 또한 기대된다.

참고문헌

- [1] 박해수, "과전류 계측을 위한 광자계센서의 구현," 대한 전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1871 - 1873, 1997. 7.
- [2] J. Song, "Development of magneto-optical current transducers for power systems", *Thesis for the degree of Ph. D, Univ. of Manitoba*, Jan. 1996.
- [3] 布下正雄, 久間和生, "光ファイバセンサ(基礎と應用)", 情報調査會, 1986
- [4] 박병석, 조홍근, 안성준, "광전자식 과전류 보호 계전기의 구현에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1846-1849, July. 22, 1998.
- [5] 안성준, 박병석, 박해수의 2인, "광전자식 보호계전방식 및 신호처리기술연구(최종보고서)", 전력연구원, 1999 3.



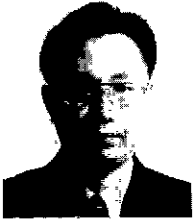
박 병 석

1993년 한남대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1995). 1995년~현재 전력연구원 일반연구원 관심분야는 광 전류센서, 광 통신망.



장 문 종

1995년 경북대 컴퓨터공학과 졸업 한국과학기술원 전산학과석사(1997). 1997년~ 현재 전력연구원 일반연구원 관심분야는 프로그래밍 언어, 통신망 관리, 광 통신망.



안 성 준

1987년 서울대 물리학과 졸업, 1989년 한국과학기술원 물리학과석사, 1992년 동대학원 박사, 1992년 ~ 1995년 삼성전자 반도체연구소 선임연구원, 1995년 ~ 1996년 한국과학기술원 자연과학대학연구원, 1996년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 관심분야는 광 전류센서, WDM 광통신 기술.



우 희 곤

1972년 동아대 전자과 졸업, 1983년 연세대학교 산업대학원 전자공학과 석사, 1996년 충남대학교 전자공학과 박사, 1983년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 수석연구원. 관심분야는 광통신, 초고속통신망, 가입자망.