2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

# 편광측정법을 이용한 광전류 센서의 온도특성

**박상만***, 안병립*, 원우식*, 우형관*, 이성갑**
엔텍월드(주)*, 경상대**

# Temperature Characteristic of Optical Current Transformer Used Porlarimetric Method

Sang-Man Park*, Byeong-Lib Ahn*, Woo-Sik Won*, Hyeong-Gwan Woo*, Sung-Gap Lee**
Entechworld*, Gyeongsang University**

**Abstract** - In this paper, a optical current transformer has been designed and favricated to improve temperature stability caused 효 materials properties and insulation in measuring system, suing single crystal as faraday effect cells. We used 850[nm] Laser diode as the light source and PIN Photodiode as receiver. For the experiment, the temperature transformation device make by aluminum. The range of current was from 0[A]~1600[A] and the range of temperature was from -20[℃] to 50[℃]. In a same experimental condition magnitude increased input current increase follow by increasing proportion of input current. The result of this study shows that characteristics of OCT are good, and it can be reflected for practical optical sensors.

## 1. 서 론

전력설비의 대용량화로 인하여 양질의 전력을 안정적으로 공급하기 위해 전력계통의 운용중에 발생하는 사고를 신속히 감지, 판별하여 사고 부분을 신속히 분리시킬 수 있는 보호 시스템의 역할이 증대되고 있다. 그러나 현재 운용되고 있는 전력 설비의 감시 및 보호 시스템을 위하여 설치된 기존의 전류 및 전압 측정 장치인 철심형 변성기(Iron-core CT 및 VT)는 측정 전압 , 전류가 증가 될수록 전기적 절연 설계가 어렵고 외형 부피가 매우 커질 뿐만 아니라 측정의 정확도, CT 철심의 자속포화로 인한 사고 전류측정의 어려움 등과 초고압 가스절연 개폐장치(GIS)등의 전력설비에서 큰 부피를 차지하는 등의 문제점을 가지고 있다[1]. 이러한 전압 및 전류 측정과 보호 계전 시스템의 개발을 위해서는 기기의 절연 문제와 전자장 유도장애(Electro Magnetic Interference, EMI)를 해결하고 안정성 있는 감지, 판별시스템의 개발이 필요하다.

전력계통을 안정적이며 경제적으로 운용하고 양질의 전력을 공급하기 위해서는 전류, 전압 등 각종 계측정보를 고신뢰성 및 고효율로 검출하여 전송할 필요가 있다 이를 위하여 현재 주로 사용되고 있는 전자장식 전류 변성기(Current Transformer, CT)는 도체 주변에 전류가 흐르며 생기는 자기장을 이용, 도체 주변의 철심을 흐르는 전류를 측정하는 원리이다. 그러나 이 방식은 공진현상과 자기 포화에 의해 결과를 왜곡시킬 수 있고 외부에서 발생한 자기장에 의해서도 오류를 발생 시킬 수 있다. 또한 송배전 전압의 초고압화에 따른 절연 장치의 규모가 커질수록 절연 비용이 많이 들고 취급 등에 어려움이 많은 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 절연성이 뛰어나며 광의 방향과 전류에 의해 생기는 자기장의 방향이 일치해야만 생기는 광의 성질변화가 생기므로 외부 자기장에 의해 결과의 왜곡이 적은 광섬유를 이용한 광전류의 개발이 요구되어지고 있으며, 현재 기존의 CT를 광 CT로 교체하기 위한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.[2-4]

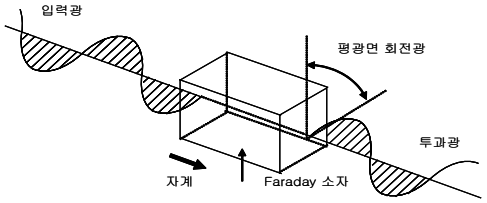
국외의 경우를 살펴보면 일본은 레이저 광을 이용한 전류 시스템에 대한 연구와 송배전계통과 전력기기 등 전반적인 전력분야에 적용시키기 위한 Load test가 활발히 진행되고 있으며, 미국에서는 전력분야에 대한 연구 개발이 미약한 실정이지만 최근에는 광전류 센서에 대한 연구가 진행중이다[5]. 국내는 아직 광 CT에 대한 연구는 아직 초기 단계이며, 상용화 시킨 업체가 없는 실정이다.

본 연구에서는 기존의 변성기의 문제점인 공진현상과 자기포화가 일어나지 않는 가넷소자를 이용한 광전류센서를 제작하고 특성개선을 위한 기초 연구로서 온도변화와 인가전류에 따른 특성의 변화를 관찰하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 Faraday 효과

광을 이용한 전류센서는 광신호가 자성체 광 매질을 내부를 진행하는 경우 자기장의 영향에 의하여 편광(Polarization)의 축이 회전하는 현상인 Faraday 효과를 이용하여 측정하였다. 그림1은 Faraday 효과를 그림으로 나타낸 것이다. 여기서 편광면의 회전각 Θ는 매질에 가해진 자계의 세기 H에 비례하고 그 매질의 길이 L에 비례하므로 그 식은 아래와 같이 표현할 수 있다.




〈그림 1〉 Faraday 효과

$$\Theta = V \cdot H \cdot L \cos\phi \quad (1)$$
$$= V \cdot H \cdot L \quad (2)$$

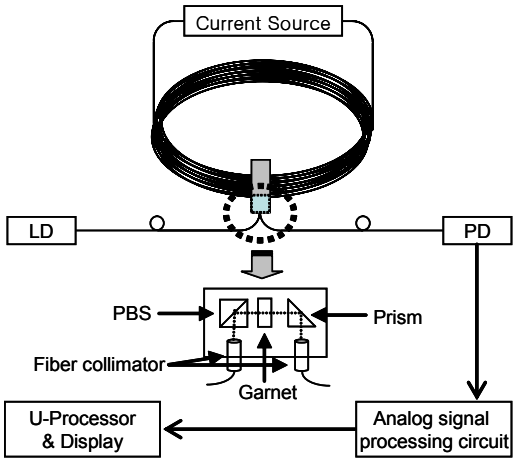
$V$ : Verdet 상수 [rad/A]
$H$ : 자계의 세기 [A/m]
$L$ : Faraday 소자의 길이
$\phi$ : 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

이라는 식 (1)의 관계를 만족시킨다. 이때 Verdet 상수 V는 물질의 특성을 결정하는 상수이다.

$\phi$는 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각이며, 즉 광신호의 진행방향과 자계의 방향이 평행하므로 $\phi$=0이 되어 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 특정 물질의 Verdet 상수는 광의 파장, 온도 및 자기적 특성에 따라 조금씩 달라진다. 반자성체(Paramagnetic) 및 상자성체(Paramagnetic) 및 강자성체(Ferromagnetic)의 경우 반자성체에 비해 Verdet 상수 값이 훨씬 크지만 온도에 의해 영향을 받는다[1,6].

### 2.2 실험방법

광전류 센서용 소자로 본 연구에서는 Verdet 상수가 상대적으로 큰 Garnet 소자를 이용하였다. 센서의 구성을 살펴보면 Laser diode는 850nm 파장의 사용하였으며, Lase diode에서 발생되어진 광은 광파이버를 통해 전달되어진다. 이때 광파이버 끝에 접합되어져 있는 Fiber collimator는 광파이버를 통해 전달되어진 광이 빠져 나올 때 평형광을



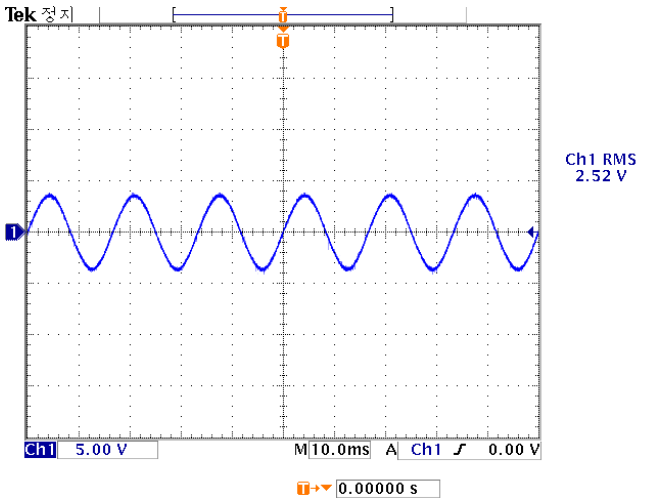

〈그림 2〉 편광형 전류 센서의 구성도

만들어 산란이 되지 않고 직진할 수 있도록 하는 역할을 한다. Fiber collimator를 통해 나온 평형광은 PBS에 의해 수직광만이 굴절되어 가넷소자를 통과하게 되고 이를 거친 빛은 45°로 기울여 놓은 검광자용 PBS를 통과하여 프리즘, Fiber collimator를 거쳐 다시 광파이버 속에 집속되게 된다. 이때 센서는 전류에 의한 자기장을 증폭시키기 위한 Core사이에 놓이게 되며, 전류원은 미세전류의 조절이 가능한 계측기를 이용하였으며, 약한 전류는 권선을 감아 전류를 증가시켜 실험을 실시하였다. 광파이버에 집속된 광은 Photo diode를 통해 전기신호로 변환을 하였으며, 이 변환된 신호는 신호처리 회로에서 필터링과 증폭을 거쳐 전압으로 출력되도록 되어 있으며 이를 전압에 따라 전류를 표시하도록 구성하였다. 그림 2는 앞서 이야기한 편광형 전류센서의 실험장치 구성도를 나타낸 것이다.

그림 2와 같이 구성된 실험장치중 전원용 코일, 코어, 전류센서를 온도와 습도의 제어가 가능한 챔버에 넣어 온도변화와 인가전류에 따른 특성의 변화를 관찰할 수 있도록 하였다.

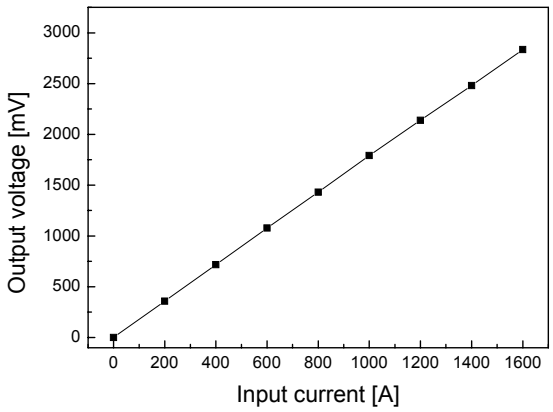
### 2.3 결과 및 토의

그림 3은 신호처리부에서 신호처리된 AC신호의 출력파형을 나타낸 그림이다. 파형을 관찰하여 보면 파형은 비교적 잡음이 없이 깨끗한 파형을 관찰할 수 있다. AC신호의 주파수는 교류전류의 주파수인 60Hz를 나타내었으며, 인가전류에 따라 진폭이 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.



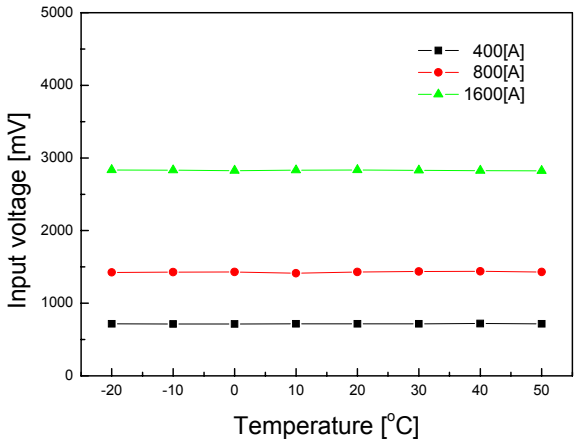

〈그림 3〉 신호처리부에서 신호처리된 AC신호의 출력파형

그림 4는 상온에서 인가전류에 따른 출력전압을 나타낸 그래프이다. 인가전류에 따른 출력은 인가전류가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 인가전류가 높을수록 기울기가 약간 감소하는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 출력이 사인곡선을 나타내기 때문이며 전류의 증가로 인하여 회전각이 90°이상이 되면 포화가 되어 오히려 감소가 되는 특성이 나타난다. 그렇기 때문에 광전류센서에서 측정전류의 범위에 따라 Verdet를 고려한 광결정의 선택이 중요하다.




〈그림 4〉 인가전류에 따른 출력전압의 변화

그림 4는 온도변화와 인가전류에 따른 출력전압을 나타낸 그래프이다. 온도변화에 따라 출력전압의 변화는 거의 없이 일정한 값을 나타내지만 온도가 증가함에 따라 출력은 약간 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 인가전류를 달리하여도 온도가 상승함에 따라 출력은 약간 감소하는데 이는 가넷소자가 온도에 따라서 $\pm 1.0\times10^{-3}$/°C의 온도계수를 가지기 때문이다.




〈그림 5〉 온도변화와 인가전류의 변화 따른 출력전압의 변화

## 3. 결 론

본 연구는 가넷소자를 이용하여 광 CT를 제작하였으며, 온도변화와 인가전류의 변화에 따른 출력의 변화를 관찰하였다.
인가전류에 따른 신호처리된 AC신호의 출력파형은 비교적 잡음이 없는 깨끗한 사인곡선을 나타내었으며, 교류의 주파수인 60Hz의 특성을 나타내었다. 그리고 인가전류에 따른 DC출력전압은 인가전류가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 온도변화에 따른 출력은 온도가 상승함에 따라 출력이 약간은 감소하였지만 비교적 선형적인 특성을 나타내었다. 가넷소자를 이용한 광 CT는 온도의 변화에 큰 영향을 받지 않았으며 전류센서로서의 응용이 가능한 것으로 판단된다.

## [감사의 글]

This works were supported by (R-2005-7-324) of the development of Optical VTS & CTS from ETEP [Electric Power Industry Technology Evaluation & Planning].

## [참 고 문 헌]

[1] T.Sawa, T.Kaminishi외 2명, “Development of Optical Instrument Transformers”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No.2, pp.884-890, 1990.
[2]G. Degli Esposti, et.al., ″current Measurements on a High Voltage Apparatus Using a Fiberoptic Sensor″,쌽소 International Symposium on High Voltage Engineering, 1987.
[3] George I, Chandler and Franz C. Hahoda, ″Current measurement by Faraday rotaion in Single-mode optical fiber″, Rew. Sci. Instrum. 56(5), 1985.
[4] M. Kanoi, et al., ″Optical Voltage and Current Measuring System For Electric Power Systems″, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 1, 1986.
[5] 김영수, “광전류·전압센서의 적용사례조사연구”, 대한전기학회 전기물성·응용부분회 추계학술대회 논문집, pp.215-218, 2002.
[6] Masao Takahahi, et al., ″Optical Current Transformer for Gas Insulated switchgear Using Sillica Optical Fiber″ IEEE Transactions on Power Delivery, vol.12, No4, 1997.