

온도변화에 따른 광CT의 출력 특성

The optical CT output signal characteristic according to temperature change

손현목, 안미경, 허순영, 전재일*, 박원주, 이광식, 김정배**, 김민수**

영남대학교, 구미기능대학*, (주)효성 중공업**

Hyun mok Son, Mi-Kyoung Ahn, Soon-Young Heo, Jea-il Jeon*, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee,
Jung-Bae Kim**, Min-Soo Kim**

Yeungnam University, Gumi Polytechnic College*, , Hyosung Corporation**

개 요

본 논문에서는 패러데이 효과(Faraday effect)를 이용한 초고압 전력설비에서의 대전류 측정을 위한 광CT의 특성에 대한 기초 연구를 기술하였다. 1310[nm] Laser Diode를 광원으로 사용하고 PIN-Photodiode를 수신부로 사용하였다. 광의 전송로는 파이버 내에서 편광상태를 유지 할 수 있는 30[m]의 싱글모드 파이버를 사용하였다. 전류의 측정은 400[A]에서 1300[A]까지의 범위에서 측정하였으며 온도는 20[°C]에서 50[°C]까지 측정하였다. 동일한 실험 환경 하에서 출력의 크기는 인가전류가 증가할수록, 온도가 낮을수록 비례하여 증가하였다. 온도가 50[°C]의 경우 최대 0.15[%]의 오차율을 나타냈으며, 40[°C], 30[°C], 20[°C]의 경우 각각 최대 오차 0.16[%], 1.24[%], 0.07[%]의 오차율을 보였다.

Abstract

In this paper, we took the basic experiment in order to explore the characteristics of optical CT(optical current transformer) for measuring high current in a superhigh voltage condition using faraday effect and wrote that. We used the 1,310[nm] Laser Diode for the source of light and PIN-Photodiode for receiver. The transmission line of light was composed of the single-mode fiber of 30[m] which could maintain the state of polarization in the optical fiber. The range of current was from 400[A] to 1300[A]. In addition, the temperature ranged from 20 [°C] to 50[°C]. In a same experiment condition, a power magnitude increases in proportion as input current is increasing and temperature become low. The maximum ratio of error in temperature of 50[°C] appears 0.15[%] and the 0.16[%], 1.24[%] and 0.07[%] is ratio of error in respectively 40[°C], 30[°C] and 20[°C].

Key Word : optical CT, faraday effect, laser diode, optical fiber

1. 서 론

최근 전력설비의 대용량화로 인해 그에 따른 초고압 설비에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 주로 사용되고 있는 전자기장식 전류변류기(Current Transformer, 이하 CT)는 자기장을 이용, 도체주변의 철심을 흐르는 전류를 측정함으로써 전류를 측정할 수 있었다.^[1]

하지만 이는 크기 및 중량이 크고 잔류자기와 자기포화 등에 따른 출력신호의 왜곡 등의 문제가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 개발된 것이 광CT이다. 광CT는 고결연성, 저손실, 무유도성, 안정성등의 장점으로 소형, 경량화 할 수 있으며 잔류자기나 자기포화의 영향이 없어 대전류 유입에 따른 출력신호의 왜곡이 없다는 이점이 있다.^[2]

기존의 CT를 광CT로의 교체하기 위한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.^{[3]-[7]}

먼저, 국외에서 광CT에 관한 연구를 살펴보면 우선 일본의 경우는 레이저를 이용한 전류계측 시스템에 대한 연구 후 송전 및 배전계통, 전력기기등 전반적인 전력분야에 적용하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 미국에서는 전력분야에 대한 연구개발이 미약한 실정이었지만 최근엔 광자계 센서에 대한 연구가 진행중이다^[8].

광CT에 관한 연구는 국내에서도 10여년간 연구를 수행한 예를 찾을 수 있다. 그러나 광CT의 상용화는 아직 초기 단계이며 현재 구체적인 시장규모와 생산업체를 파악하기는 어렵다^[9].

본 연구에서는 광CT의 실용화를 목표로 두고 있으며 광원으로서 1310[nm] Laser Diode를 사용하여 온도변화에 따른 광CT의 기초 실험을 하였다.

2. Faraday 효과

광을 이용한 전류의 측정은 광신호가 자성체 광 매질의 내부를 진행하는 경우 자기장의 영향에 의하여 편광(polarization)의 축이 회전하는 현상 Faraday effect를 이용하여 편광면의 회전각 θ 는 매질에 가해진 자계의 세기 H에 비례하고 그 매질의 길이 L에 비례하므로

$$\theta = V \cdot H \cdot L \cdot \cos \varphi \quad (\text{식 1})$$

$$= V \cdot H \cdot L \quad (\text{식 2})$$

V : Verdet 상수 [rad/A]

H : 자계의 세기[A/m]

L : Faraday 소자의 길이(광경로 길이)[m]

φ : 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

이라는 관계를 만족시킨다. 이때 편광면이 회전하는 각도는 식(2)에서처럼 자기장의 방향에 따른 vector값이므로 자성체 소자를 사용할 경우 측정하기가 매우 곤란해진다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 Faraday소자를 대신해 광섬유로 도체 주위에 페루프형 센싱부를 구성함으로써 코일의 형태나 센서코일과 도체와의 거리등에 무관하게 일정한 값을 가지고 측정도체 이외의 인근 신호원에 영향을 받지 않는 Ampere의 전류법칙(Ampere's circuit law)을 적용시킬 수 있다.

광섬유를 도체주위에 감아서 센싱부를 구성할 경우 편광면의 회전각도는 다음 식 (3)와 같이 바꿀 수 있다.

$$\theta = Vn \oint H \cdot dl = VnI \quad (\text{식 3})$$

n : 광섬유를 감은 회수

I : 인가전류

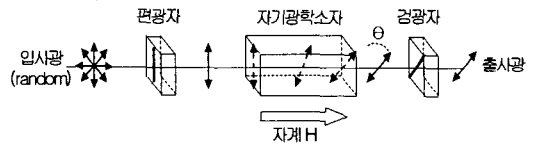


그림 1. Faraday 효과 개념도
Fig 1. Schematic diagram of Faraday effect

3. 실험장치 및 방법

실험장치는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 원하는 빛을 발생시키기 위한 발광부(E/O변환기)와 변화된 빛의 특성을 검지하기 위한 검출부(O/E변환기) 그리고 온도변화를 제공할 수 있는 온도장치로 나눌 수 있다. 광원에서 나온 빛은 광파이버를 지나 온도장치 내부에 있는 광섬유까지 전송된다. 전송된 빛은 인가된 자계에 따라서 편광면이 회전하게 되고 회전량은 검광자인 PBS에 의해 두 개의 광으로 나뉘어 O/E 변환기인 수광소자로 전달된다.

그림 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다.

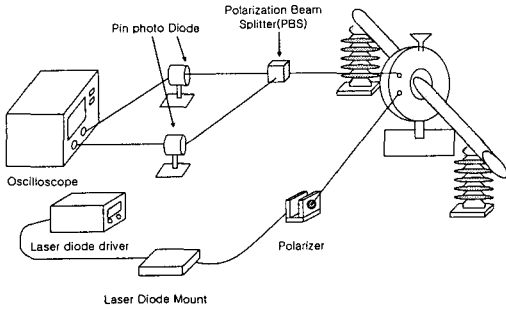


그림 2. 광CT 구성도
Fig 2. Schematic diagram of the optical CT

광원으로 사용한 laser는 1310[nm], 최대출력 25[mW]의 Laser Diode를 사용하였다. 이는 광CT의 시제품 개발에 있어서 Laser Diode가 일반적으로 광통신에 널리 사용되고 있는 광원이라는 점과 선택의 폭이 넓다는 점에 있어서 He-Ne laser의 광원에 비해 우수하기 때문이다. 센싱부로 사용한 single mode fiber는 30[m]를 사용하였으며, 광섬유는 미터당 10회 꼬았다. 그리고 인가한 전류는 400[A]이하에서는 센싱부와 전류가 인가한 도체와의 거리가 먼 관계로 자기장도가 약해서 측정이 어려워 400[A]에서 1300[A]까지 100[A]씩 증가하였다. 온도는 20[°C]에서 50[°C]까지 10[°C]씩 증가시켰다.

실험을 위한 온도장치는 GIS와 같은 모양으로 재질은 알루미늄으로서 제작하였고 저온 실험시 액체질소를 투입하여 분위기 온도를 저온으로 만들고 응결을 방지하기 위해 내부를 진공상태로 만들었다. 그리고 고온 실험시 온수를 부을 수 있도록 깔때기를 설치하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

온도장치를 이용하여 20[°C]에서 50[°C]까지 각 10[°C]씩 증가시켰을 때의 광CT의 출력과형을 오실로스코프로 측정하였다. 그림 3은 온도를 20[°C]에서 50[°C]까지 변화시켰을 때의 30[m] 광섬유를 온도장치 내부에 넣어 실험한 결과를 각각 5회 측정하여 평균값을 나타낸 것이다.

전류가 증가할수록 출력값이 증가함을 볼 수 있으며 또한 온도가 낮을수록 비례하여 출력값이 증가함을 알 수 있다.

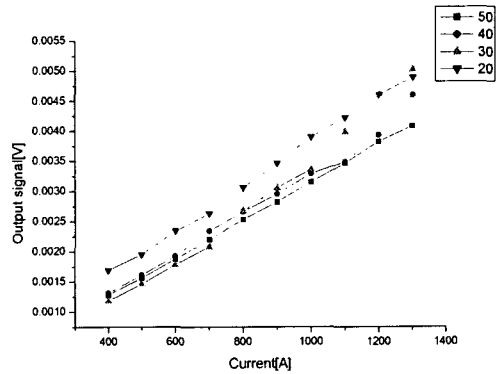


그림 3. 400~1300[A] 인가시 20[°C], 30[°C], 40[°C], 50[°C] 온도변화의 측정 결과
Fig 3. results measured temperature at 20[°C], 30[°C], 40[°C], 50[°C] in 400~1300[A]

그림4는 20[°C]에서 50[°C]까지의 온도를 각 10[°C]씩 증가시켰을 때의 800[A], 1000[A]의 출력값을 나타낸 것이다. 온도가 높을수록 출력값이 작음을 알 수 있다.

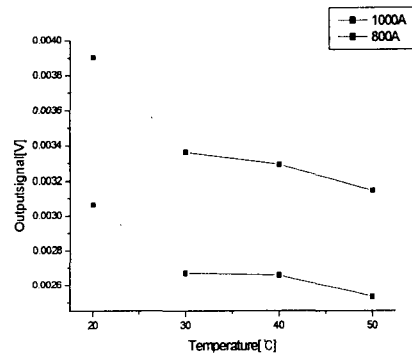


그림 4. 20~50[°C] 온도변화에 따른 800[A], 1000[A]의 출력값의 측정 결과
Fig 4. measured outputs of 800[A] and 1000[A] for changing temperature at 20~50[°C]

그림5~8에 나타난 결과는 전류와 출력의 관계를 나타낸 것으로 50[°C]에서의 경우 400~

1300[A] 값에서 최대 오차는 0.15[%]를 보였으며 40[°C], 30[°C], 20[°C]의 경우 각각 최대 오차 0.16[%], 1.24[%], 0.07[%]의 오차율을 보였다.

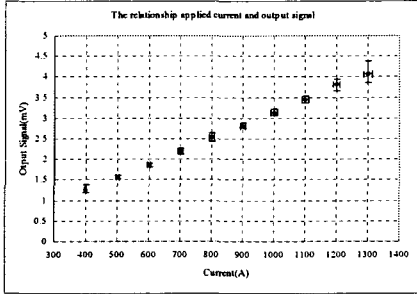


그림 5. 50(°C)일 때의 전류와 출력의 관계
Fig 5. relation of current and output for 50(°C)

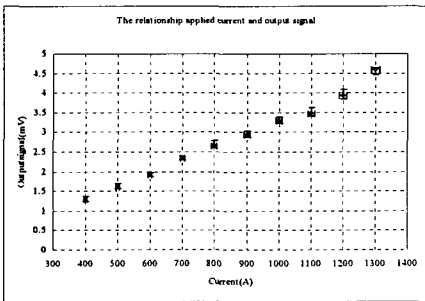


그림 6. 40(°C)일 때의 전류와 출력의 관계
Fig 6. relation of current and output for 40(°C)

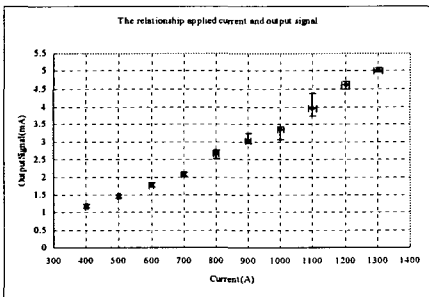


그림 7. 30(°C)일 때의 전류와 출력의 관계
Fig 7. relation of current and output for 30(°C)

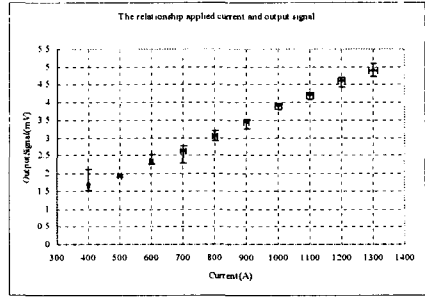


그림 8. 20(°C)일 때의 전류와 출력의 관계
Fig 8. relation of current and output for 20(°C)

5. 결론

본 연구에서는 Faraday effect를 이용한 광전류 센서를 설계·제작하여 온도변화에 따른 출력값을 오실로스코프로 측정하고 reference값에 따른 출력의 오차를 측정하였다.

본 논문에서 나타낸 실험 결과는 다음과 같다.
① 광전류센서의 출력 신호를 측정한 결과 전류가 증가할수록 출력신호가 증가함을 볼 수 있으며 또한 온도가 낮을수록 출력신호가 비례하여 커지는 것을 알 수 있었다.

② 온도 변화에 따른 광전류센서의 출력신호를 reference값과 비교했을 때 50[°C]에서의 경우 0.15[%]의 오차율을 보였으며 40[°C], 30[°C], 20[°C]의 경우에 각 최대 오차 0.16[%], 1.24[%], 0.07[%]의 오차율을 나타냈다.

온도변화를 제공하기 위해 제작된 온도장치로 온도에 따른 출력변화와 전류에 따른 온도변화를 알 수 있었으며, 시제품 개발을 위해서는 추후 정밀도 개선과 현장 실험 등이 필요하며 이로써 광계측법을 이용한 대전류 측정기술을 확립·발전시킬 수 있을 것이다.

- 감사의 글 -

이 연구는 (주)효성의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 이에 감사 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] A Tutorial Current measurement Methods, Technical

Reports of F. W. Bell Inc.

- [2] 이정수 “가스절연개폐장치용 optical CT를 이용한 대전류 측정” 영남대학교, 2002.02 석사학위논문 p01
- [3] G. Degli Esposti, *et al.*, “Current Measurements On A High Voltage Apparatus Using A Fiberoptic Sensor”, Fifth International Symposium On High Voltage Engineering, August 1987
- [4] 齋藤成文, *et al.*, “レーザを利用した無接触超高圧変流器”, J.I.E.E.J.8/’68, Vol. 88-8, No. 959 JANUARY 1990
- [5] George I. Chandler and Franz C. Jahoda, “Current measurements by Faraday rotation in single-mode optical fiber”, Rev. Sci. Instrum. 56(5), May 1985
- [6] M. Kanoi, *et al.*, “Optical Voltage And Current Measuring System For Electric Power Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 1, January 1986
- [7] T. Sawa, *et al.*, “Development Of Optial Instrument Transformers”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990
- [8] 김영수 “광전류·전압센서의 적용사례조사연구” 대한전기학회 전기물성·응용부문회 추계학술대회논문집, 2002.11.9
- [9] 송민호 “광CT를 이용한 전류 측정” 한국조명전기설비학회, 제17권, 제4호, 2003.8