

GIS용 광CT의 온도변화에 따른 출력특성

허순영, 안미경, 전재일\*, 박원주, 이광식, 김정배\*\*, 김민수\*\*  
 영남대학교, 구미기능대학, (주)효성 중공업\*

Output signal characteristic according to temperater change of the optical CT for GIS

Soon-young Heo, Mi-Kyoung Ahn, Jea-il Jeon\*, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee, Jung-Bae Kim\*\*, Min-Soo Kim\*\*  
 Yeonnam Univsitv, Gumi PolYTEchnic Colleae\*, Hvosuna Corporation\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 패러데이 효과(Faraday effect)를 이용하여 초고압 전력설비에서 대전류 측정을 위한 광CT의 온도변화에 따른 특성에 대한 기초 연구를 하였다. 광원으로는 1310[nm] Laser Diode를 사용하고 수신부로는 PIN-Photodiode를 사용하였다. 실험을 위한 온도변환장치는 GIS와 같은 모양으로 재질은 알루미늄으로서 제작하였다. 광의 전송로는 파이버 내에서 편광 상태를 유지할 수 있는 30[m]의 싱글모드 언재킷(unjacked) 파이버를 사용하였다. 전류의 측정은 400[A]에서 1300[A]까지의 범위에서 측정하였으며 온도는 -40 [°C]에서 50[°C]까지 10[°C]씩 증가시키면서 측정하였다. 이 때 출력신호는 인가전류의 증가에 따라 비례하여 증가하였으며 주변온도가 높을수록 비례하여 증가하였다.

1. 서 론

최근 전력설비의 대용량화로 인해 그에 따른 초고압설비에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 주로 사용되고 있는 전자기장식 변류기(Current Transformer, 이하 CT)는 자기장에 의해 도체주변의 철심에 유도되는 전류를 측정함으로써 전류를 측정할 수 있다.<sup>[1]</sup>

하지만 이는 부피 및 중량이 크고 잔류자기와 자기포화 등에 따른 출력신호의 왜곡 등의 문제가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 광CT가 개발되었다. 광CT의 이점으로는 광범위한 측정영역과 소형·경량화로 인한 경제적 절감과 잔류자기나 자기포화의 영향이 없어 대전류 유입에 따른 출력신호의 왜곡이 없다는 것이다.<sup>[2]</sup>

기존의 CT를 광CT로의 교체하기 위한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.<sup>[3]-[7]</sup>

먼저, 국외에서 광CT에 관한 연구를 살펴보면 우선 일본의 경우는 레이저를 이용한 전류계측 시스템에 대한 연구 후 송전 및 배전계통, 전력 기기등 전반적인 전력 분야에 적용하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 미국에서는 전력분야에 대한 연구개발이 미약한 실정이었지만 최근엔 광자계 센서에 대한 연구가 진행 중이다.<sup>[8]</sup>

광CT에 관한 연구는 국내에서도 10여 년간 연구를 수행한 예를 찾을 수 있다. 그러나 광CT의 상용화는 아직 초기 단계이며 현재 구체적인 시장규모와 생산업체를 파악하기는 어려운 실정이다.<sup>[9]</sup>

본 연구에서는 GIS(Gas Insulated Switchgear)에 적용되는 광CT의 실용화 개발을 목표로 두고 있으며 1310[nm] Laser Diode를 사용하여 온도변화에 따른 광CT의 특성변화 기초실험을 하였다.

2. 관련이론

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  $\theta$  는 매질에 가해진 자계의 세기 H에 비례하고 그 매질의 길이 L에 비례하므로

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

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

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

이라는 관계를 만족시킨다. 이때 Verdet 상수 V는 물질의 특성을 결정하는 상수이다. 본 연구에서는 single mode unjacketed fiber를 Faraday 소자로 이용 하였으며, 도체 전류에 의해 자기장이 형성된 공간에 자기장의 진행방향과 평행한 방향으로 광섬유를 원형으로 감아 센싱부를 구성 하였다. 이 경우 선형 편광 된 빛의 편광면의 회전각  $\theta$ 를 (식 2)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 이와 같은 구성에서 회전각  $\theta$ 는 인가전류 및 광섬유의 감은 횟수에 비례하게 되며 (식 3)은 Stokes 정리에서와 같이 나타낼 수 있다.

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

n : 광섬유를 감은 회수  
 I : 인가전류

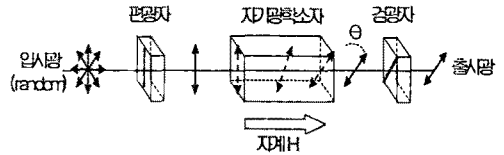


그림 1. Faraday 효과 개념도

3. 실험방법 및 장치

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 온도변환장치로 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/E변환기인 수광소자로 전달된다.

그림 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다.

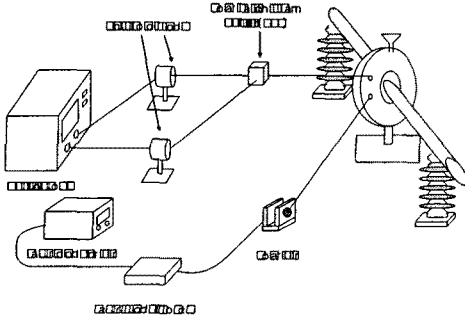


그림 2. 광CT 구성도

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 자체장도가 약해서 측정이 어려워 400[A]에서 1300[A]까지 100[A]씩 증가하였다. 온도변화는 -40[°C]에서 50[°C] 까지 10[°C]씩 증가 시켰다.

실험을 위한 온도변환장치는 GIS내부에 광fiber를 감은 코어를 장착할 수 있도록 고안된 센싱부를 내장하도록 만들었으며 재질은 알루미늄이고, 저온실험시에는 내부에 액체질소를 투입하여 분위기를 저온으로 만들고 응결을 방지하기 위해 내부를 진공으로 만들었다. 그리고 고온 실험시는 온수를 사용하였다.

#### 4. 실험결과 및 검토

본 연구에서는 전류발생장치를 사용하여 400[A]에서 1300[A]까지 100[A]씩 변화시켰을 때의 광CT 출력값을 오실로스코프로 측정하였다.

또한 온도변환장치를 이용하여 -40[°C] ~ 50[°C]까지 각 10[°C]씩 증가시켰을 때의 광CT의 출력값을 오실로스코프로 측정하였다.

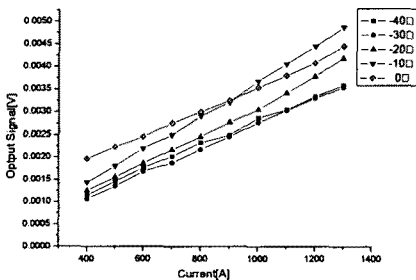


그림 3. 400~1300[A]인까지 -40[°C], -30[°C], -20[°C], -10[°C], 0[°C] 온도변화에서의 측정결과

그림 3과 4는 각각 온도를 -40[°C]에서 0[°C]까지와 10[°C]에서 50[°C]까지 변화시켰을 때 30[m] 광섬유센서를 온도장치 내부에 취부하여 실험한 결과를 각각 5회 측정하여 평균한 값을 나타낸 것이다. 전류가 증가할수록 출력값이 증가함을 볼수 있으며 또한 온도가 높을수록 비례하여 출력값이 증가함을 알 수 있다.

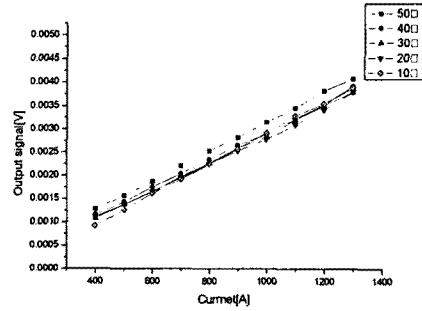


그림 4. 400~1300[A]인까지 10[°C], 20[°C], 30[°C], 40[°C], 50[°C] 온도변화에서 측정결과

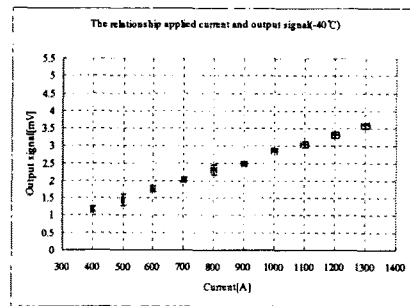


그림 5. -40[°C]일때의 인가전류와 출력의 관계

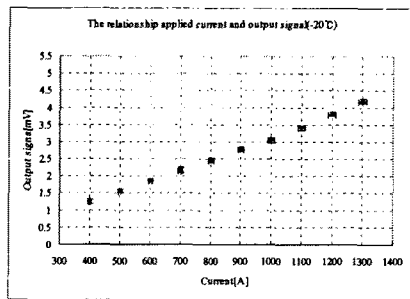


그림 6. -20[°C]일때의 인가전류와 출력의 관계

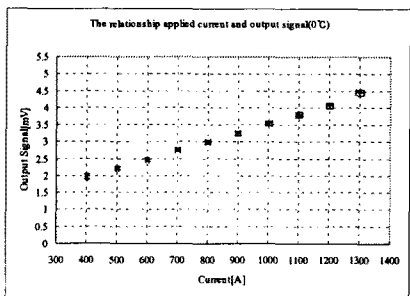


그림 7. 0[°C]일때의 인가전류와 출력의 관계

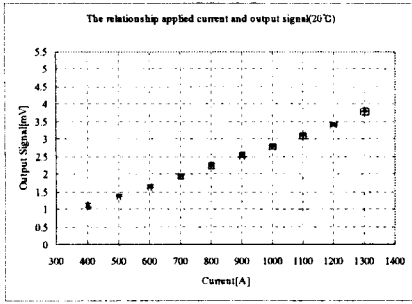


그림 8. 20[℃]일때의 인가전류와 출력의 관계

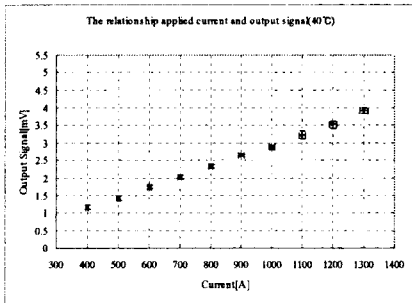


그림 9. 40[℃]일때의 인가전류와 출력의 관계

그림 5~9에 나타난 결과는 각 온도에서의 인가전류와 출력의 관계를 나타낸 것으로서 출력의 크기와 산포를 알 수 있다.

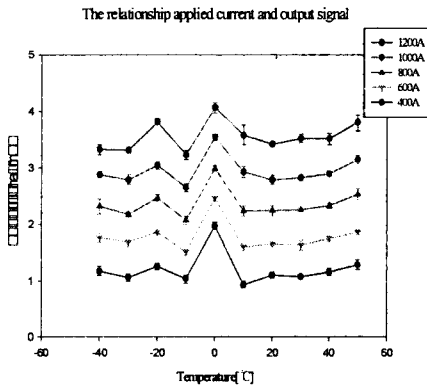


그림 10. -40~50[℃] 온도변화에 대한 각 전류값의 변화와 오차

그림10은 -40[℃]에서 50[℃]까지의 온도변화에 대한 각 전류값의 출력변화와 오차를 나타낸 것이다. 동일전류값에서 온도에 따른 편차가 적음을 알 수 있고 -40[℃]와 10[℃], 50[℃]에서 오차가 큰 것을 볼 수 있는데 이는 온도에 따른 광출력값의 보정이 있어야 할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

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

본 논문에서 나타난 실험 결과는 다음과 같다.

① 광전류센서의 출력 신호를 측정할 결과 전류가 증가

할수록 주변온도가 높을수록 출력신호가 비례하여 커지는 것을 알 수 있었다.

② 30[m] 길이의 광섬유를 기준으로 -40[℃]~50[℃]의 온도변화를 10[℃]씩 증가시켜 광전류센서의 출력 변화를 Oscilloscope로 측정할 결과를 reference값과의 최대 오차율은 다음과 같이 나타났다.

-40℃	-30℃	-20℃	-10℃	0℃
-3.97%	2.92%	3.86%	-2.79%	1.96%
10℃	20℃	30℃	40℃	50℃
1.55%	3.35%	1.78%	2.26%	1.93%

온도변화를 제공하기 위해 제작된 온도변환장치로 인가전류별 온도에 따른 출력변화와 오차율을 알 수 있었으며, 실험을 위해 구성된 시스템은 광을 이용한 페루프형 센서 이므로 측정대상도체 이외의 다른 외부 전자기적 신호에 의해 영향을 받지 않으며 신호처리 과정의 최적화를 통해서 보다 정밀한 전류 측정도 가능하리라 예상된다.

그리고 시제품 개발을 위해 추후 정밀도 개선과 연속 데이터측정 및 현장적용 시험을 통해 각각의 시스템을 비교, 분석하고 그에 따른 보강실험 및 문제점 보완 등을 통해 광계측법을 이용한 대전류 측정기술을 확립·발전시킬 수 있을 것이다.

### 검사의 글-

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

### [참 고 문 헌]

- [1] 김수길 외4인, "Faraday 효과를 이용한 클램프형 광 전류 변류기의 특성 및 분석", Hankook Kwanghak Hoeji, Volumel4, 2003
- [2] 이정수 "가스절연개폐장치용 optical CT를 이용한 대전류 측정" 영남대학교, 2002.02
- [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壓変流器", 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] 정철우 "대전류 측정을 위한 Optical CT 기술 개발 연구" 영남대학교, 2004.02