

## 광원에 따른 광CT의 출력특성 연구(2)

(The optical CT output signal characteristic according to a light source)

전재일\*, 정철우\*\*, 안미경\*\*, 박원주\*\*, 이광식\*\*, 김정배, 김민수

(Jae-Il Jun\*, Cheol-Woo Jung\*\*, Mi-Kyeong Ahn\*\*, Won-Zoo Park\*\*, Kwang-Sik Lee\*\*, Jung-Bae Kim, Min-Soo Kim)

\* : 구미기능대학교, \*\* : 영남대학교, (주)효성중공업

### Abstract

본 연구에서는 패러데이 효과(Faraday Effect)를 이용한 초고압 전력설비에서의 광전류 센서의 특성에 대한 기초 연구를 하였다. 광원은 Laser Diode(1310[nm])를 사용하고, 수신부는 PIN-Photodiode를 사용하였다. 센싱부로 사용한 광섬유는 single mode unjacked fiber를 사용하였고, 편광기를 사용하여 빛의 광학적인 편광면을 이용한 전류측정이 가능함을 확인할 수 있었다. 측정 결과에서는 전류에 따른 출력 신호가 나옴으로써 기존 문헌상의 결과와 동일하다는 것을 알 수 있었고 센싱부로 사용한 파이버의 길이에 따른 출력차이를 통해 파이버의 길이가 길수록 강도가 커진다는 것을 알 수 있었다. 또한 길이에 따라 출력의 차이뿐만 아니라 선형성까지도 차이가 난다는 것을 알 수 있었다. reference 값과 광전류센서의 출력 강도와의 오차율을 구했을 때 5[m], 10[m]길이의 광섬유 각각에 대해서 1000[A]이상의 값에서 각각 약 -0.9[%], -0.4[%]의 오차율을 보임을 확인했다. 여기서 인가한 전류값과 길이 즉, 감은 수에 따라 그 오차율이 점점 나아질 수 있다는 것을 알 수 있었다.

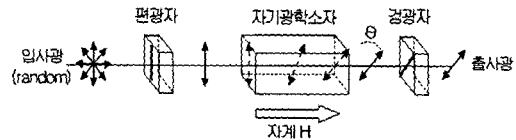
## 1. 서론

GIS(Gas Insulated Switchgear)에서의 대전류 측정을 위한 기존의 철심형 CT(Current Transformer)의 문제점이었던 절연문제, 과도특성 및 포화 등의 문제들을 해결하기 위한 방안으로 laser를 광원으로, 광섬유를 센싱부로 이용한 광CT(Optical Current Transformer)<sup>[1]~[5]</sup>로의 교체에 관한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

이러한 기존의 CT의 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 최근 광을 이용한 전류 측정 방식이 각광을 받고 있다. 기존의 CT를 광학적 방법을 이용한 광CT로 대체함으로써 얻을 수 있는 이점 및 광CT의 장점으로는 광범위한 측정영역과 소형·경량화 구조로 경제적 절감효과를 얻을 수 있으며, 자기포화나 잔류자기 등에 의한 영향이 없어 과전류에 의한 주회로의 사고발생이 없다는 것이다. 그리고, 계통보호제어 시스템의 신속성 향상 및 디지털 계전 시스템과의 높은 호환성으로 자동화를 통한 무인화시스템을 실현시킬 수 있다<sup>[6]</sup>. 특히 광CT와 같은 광을 이용한 센서는 저손실, 고절연성, 무유도성, 경량성, 보수용 용이성 등의 장점을 가지고 있으며 전자소자 대신에 빛을 이용해 측정하고 측정신호의 전달 역시 빛이라는 특성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 광CT의 실용화를 목표로 광원의 종류를 다르게 하였을 때 각각의 결과를 비교하고자 한다. 먼저 633[nm] He-Ne laser를 사용하였을 때의 경우와 비교하기 위한 과정으로 1310[nm] Laser Diode를 사용한 광CT의 기초 실험을 하였다.

## 2. Faraday 효과



< 그림 1. Faraday effect 개념도 >

자기장이 가해진 어떤 매질 내에 선형 편광된 빛이 통과하게 되면 그 빛의 편광면은 회전하게 되는데 이를 Faraday effect라고 하며, 편광면의 회전각  $\theta$ 는 매질에 가해진 자계의 세기  $H$ 에 비례하고 그 매질의 길이  $L$ 에 비례하여

$$\theta = V \cdot H \cdot L \cdot \cos\phi \quad (\text{식 1.1})$$

$$= V \cdot H \cdot L \quad (\text{식 1.2})$$

$V$  : 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  $V$ 는 verdet 상수라 하며 물질의 특성을 결정하는 상수이다.

본 연구에서는 single mode unjacked fiber를 Faraday 소자로 이용하였으며, 자기장이 형성된 공간에 자기장의 진행방향과 평행한 방향으로 광섬유를 원형으로 감아 센싱부를 구성하였다. 이 경

우 선형편광된 빛의 편광면의 회전각  $\theta$ 를 (식1.2)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 이와 같은 구성에서 회전각  $\theta$ 는 인가 전류 및 광섬유의 감은 회수에 비례하게 되며 (식 1.2)는 Stokes 정리에서

$$\theta = Vn \oint H \cdot dl = VnI \quad (\text{식1.3})$$

$n$  : 광섬유를 감은 회수

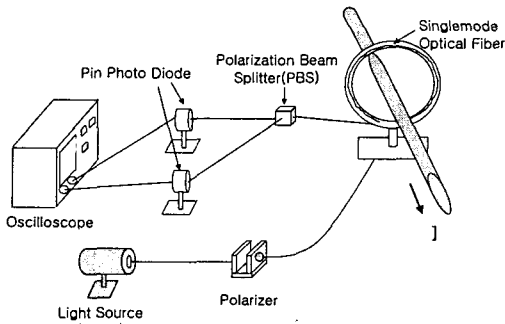
$I$  : 인가전류

와 같이 나타낼 수 있다.

어떤 특정 물질의 verdet 상수는 물질의 광의 파장, 온도 및 자기적 특성에 따라 조금씩 달라진다. 반자성체(diamagnetic materials)의 경우 Verdet 상수가 작고 온도특성이 아주 우수한데 비해 상자성체(paramagnetic materials) 및 강자성체(ferromagnetic materials)의 경우 반자성체에 비해 verdet 상수 값이 훨씬 크지만 온도에 의해 영향을 받는다<sup>[7]</sup>.

### 3. 실험 장치 및 방법

실험장치는 크게 3부분으로 나누어진다. 원하는 빛을 발생시키기 위한 발광부(E/O변환기)와 변화된 빛의 특성을 검지하기 위한 검출부(O/E변환기) 그리고 발생된 빛의 특성을 변화시키는 센싱부로 나눌 수 있다. 광원에서 나온 빛은 광파이버를 지나 센싱부까지 전송된다. 전송된 빛은 인가된 자계에 따라서 편광면이 회전하게 되고 회전각  $\theta$ 는 검출기로 광강도가 변조되어 수광소자로 전달된다. 그림 2.는 실험장치의 개략도를 나타낸다.

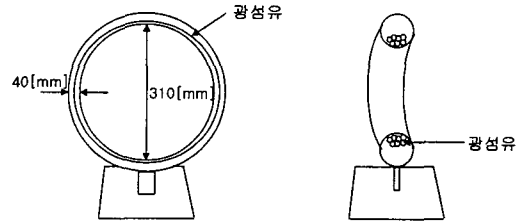


< 그림 2. 실험장치 개략도 >

일반적으로 광통신에 Laser Diode가 많이 사용되고 있으며 He-Ne laser보다 선택의 폭에 있어서 훨씬 다양하기 때문에 본 실험에서는 광원으로써 약 25[mW]의 출력을 가지는 Laser Diode (1310[nm])를 광원으로 사용하였다. 광원을 편광시켜주기 위한 장치로 편광기를 사용하였으며, Laser Diode의 구동 드라이버에서 최초 출사될 때의 빛이 He-Ne laser에 비해 그 편광도가 낮기

때문에 결과의 정밀도를 높이기 위해 일반적으로 사용하는 파장판을 사용하지 않고 OZ-Optics사의 각도 조절이 자유로운 편광기를 사용하였다. 센싱부로 사용한 single mode fiber는 5[m], 10[m]를 각각 사용하였으며, 각각의 광섬유는 미터 당 약 10회 꼬았다. 그리고, 인가된 전류는 400[A]이하에서는 센싱부와 전류가 인가된 도체와의 거리가 먼 관계로 측정이 어려워 400[A]에서 1300[A]까지 100[A]씩 증가시켜 측정하였다.

실험을 위한 센싱부의 모의 GIS장치는 알루미늄 재질의 직경 310[mm], 폭 40[mm]의 것으로 사용하였다.

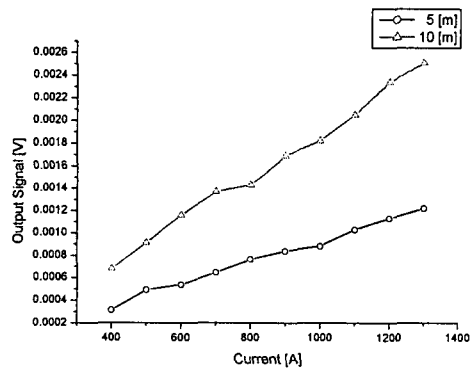


< 그림 3. 모의 GIS 장치 >

### 4. 실험 결과

본 연구에서는 전류 발생 장치를 사용하여 400[A]에서 1300[A]까지 변화시켰을 때의 출력값을 오실로스코프로 측정하였다.

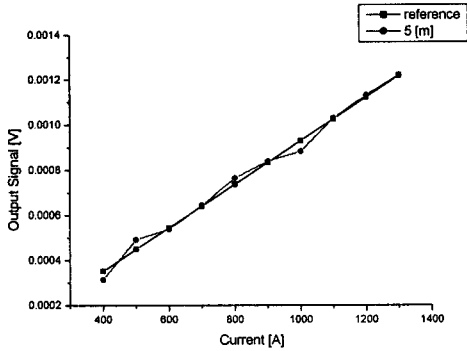
그림 4.는 400~1300[A]전류 인가시 5[m]와 10[m] 길이의 광섬유를 센싱부로 사용한 결과를 각각 3회 측정하여 평균한 값을 나타내며, 길이의 변화에 비례하여 출력값이 증가함을 알 수 있다.



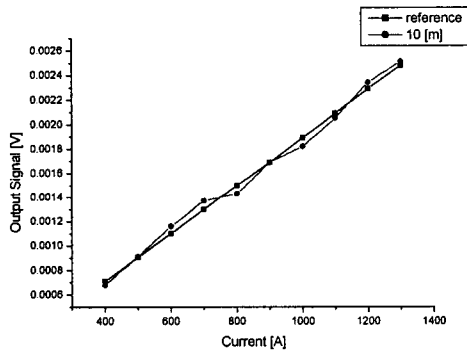
< 그림 4. 400~1300[A] 인가시 5[m], 10[m] 길이의 광섬유 측정 결과 >

그림 5.와 그림 6.은 5[m], 10[m]길이에 대한 각각의 값들의 선형성을 비교한 그림이다. 5[m]길이에서의 경우 reference값과 비교했을 때 600[A] 이하의 값에서는

최대 -11.2[%]로 비교적 큰 오차를 보였으며 1000[A] 이후의 전류값에서는 5[m], 10[m] 각각의 경우에서 -0.9[%], -0.4[%]의 오차율을 보였다.

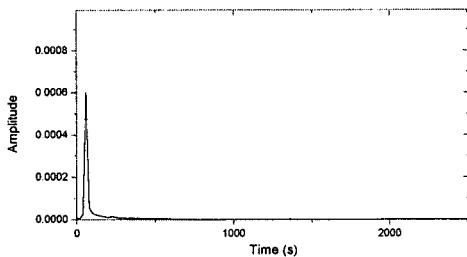


< 그림 5. 5[m] 길이 광섬유의 선형성 비교 >

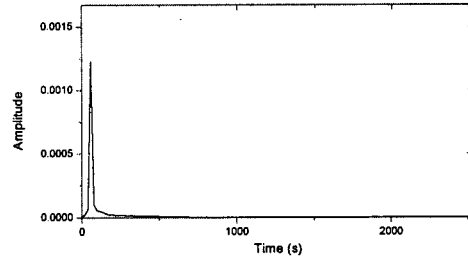


< 그림 6. 10[m] 길이 광섬유의 선형성 비교 >

아래의 그림 7.의 (a)와 (b)는 각각의 광섬유로부터의 FFT spectrum을 나타내며 각각 인가한 전류값과 동일한 위상(60[Hz 대역])을 나타냄을 알 수 있다. 그리고, 그 강도에 있어서 10[m] 광섬유를 사용한 결과가 5[m] 광섬유의 경우의 두 배가 됨을 알 수 있다.



(a) 5[m]길이의 광섬유



(b) 10[m]길이의 광섬유

< 그림 7. FFT spectrum >

### 3. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 Faraday 효과를 이용한 광전류 센서를 설계·제작하여 전류인가시 센싱 파이버, PBS를 거쳐 포토다이오드로 출력되어 나오는 신호강도를 reference 값에 따른 출력의 오차율과 센싱부의 광섬유의 길이 따라 나타나는 신호강도를 측정하였다.

본 논문에서 나타낸 실험 결과는 다음과 같다.

① 1310[nm] Laser Diode를 광원으로 사용한 광전류 센서의 출력신호를 측정된 결과 도체에 흐르는 전류가 커질수록 출력신호가 비례하여 커지는 것을 알 수 있었다.

② 인가한 전류의 세기 즉, 자장의 세기에 따른 광전류 센서의 출력신호를 reference값과 비교했을 때 5[m]길이의 광섬유의 경우 600[A]이하의 값에서는 최대 -11.2[%]의 비교적 큰 오차율을 나타냈으며 1000[A]이후의 값에서는 5[m], 10[m] 각각의 길이에 대해서 각각 -0.9[%], -0.4[%]의 오차율을 나타냈다. 이는 전류의 값이 클수록, 센싱부의 광섬유의 길이가 길수록 오차가 줄어든다는 것을 나타내며 실험에서보다 더 높은 전류가 인가되는 실제 GIS에서의 경우 훨씬 적은 오차율이 나타날 수 있음을 예상할 수 있다.

③ 각각의 광섬유로부터의 FFT spectrum 결과는 각각 인가한 전류값과 동일한 위상(60[Hz 대역])을 나타냄을 알 수 있었다. 그리고, 그 강도에 있어서 10[m] 광섬유를 사용한 결과가 5[m]광섬유의 경우의 두 배가 됨을 알 수 있었다.

실험을 위해 구성된 시스템은 광을 이용한 페루프릭 센서이므로 측정대상도체 이외의 다른 전자 기적 신호에 의해 영향을 받지 않으며, 센싱부의 광섬유의 길이 즉, 감은 수의 조정과 신호처리 과정의 최적화를 통해서 보다 정밀한 전류측정도 가능하리라 예상된다. 그리고, 추후 동일한 조건에서 633[nm] He-Ne laser를 광원으로 하는 실험이 필요하며, 두 실험을 통해 각각의 시스템을 비교, 분석하고 그에 따른 보강실험 및 정밀도 개선과 현장실험 및 문제점 보완 등을 통해 광계측법을 이용한 대전류 측정기술을 확립·발전시킬 수 있을 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 2002년도 산업자원부 전력산업연구개발사업  
전력기술기초(과제번호:00-역-02)와 (주)효성의  
지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에  
감사 드립니다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 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
- [2] 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
- [3] George I. Chandler and Franz C. Jahoda, "Current measurements by Faraday rotation in single-mode optical fiber", Rev. Sci. Instrum. 56(5), May 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, January 1986
- [5] T. Sawa, *et al.*, "Development Of Optial Instrument Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990
- [6] 이정수 "가스절연개폐장치용 optical CT를 이용한 대전류 측정" 영남대학교, 2002.02 석사학위논문 p01
- [7] A. J. Rogers, "Optical technique for measurement of current at high voltage", Proc. IEE, Vol. 120, No. 2, Feb. 1973