

GIS용 Optical CT개발의 기초연구3

전재일\*, 송시준\*\*, 이정수\*\*, 박원주\*\*, 이광식\*\*, 김정배\*, 송원표\*  
 \*구미기능대학, \*\*영남대학교, \*호성(주)중공업연구소

Basic research for the development of optical CT for GIS3

Jae-Il Jeon\*, Si-Joon Song, Jung-Soo Lee, Won-Zoo Park, Kyang-Sik Lee,  
 Jung-Bae Kim\*, Won-Pyo Song\*

\*Kumi Polytechnic college, Yeungnam University, \*Hysong

**Abstract** - 본 논문은 패러데이 효과(Faraday Effect)에 의한 초고압 전력설비에서의 광CT 특성에 대한 기초 연구를 기술하였다. 광원은 LD(Laser Diode : 830nm)를 사용하고, 수신부는 PIN-Photodiode를 사용하였다. 광의 전송로는 파이버 내에서 편광상태를 유지할 수 있는 싱글모드 광파이버를 사용하였고, 광파이버의 양끝은 편광자와 검광자를 두어 빛의 광학적인 편파면을 이용한 전류측정이 가능함을 확인할 수 있었다. 측정 결과에서는 기존 문헌상의 결과와 동일한 형태의 출력을 얻을 수 있었고 나아가서는 초고압전력설비인 가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear)에 대한 적용도 가능하게 했다.

도시한 것이다.

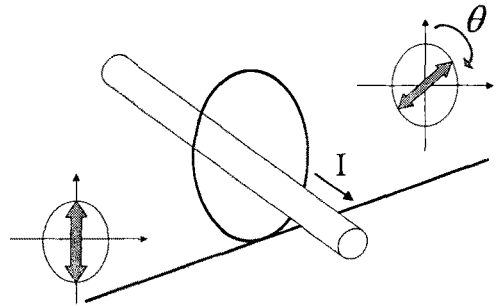


그림1 Faraday 효과 개념도

$$\theta = V H L \quad (1)$$

V : Verdet 정수(rad/A)

H : 자기장도[A/m]

L : Faraday 소자에서의 광학경로길이(m)

광섬유 코일을 이용하는 경우 편광축의 회전각은 아래식과 같이 단순화된다.

$$\theta = VnH \cdot \oint dl = VnI \quad (2)$$

n : 광 섬유의 회전수

Verdet정수는 Faraday 효과의 크기를 나타내는 물질정수이다. Verdet정수는 Faraday 소자의 자기적 특성에 따라 달라진다. 반자성체(diamagnetic materials)는 Verdet정수가 작지만 온도의 영향을 받지 않는다. 이에 반해, 상자성체(paramagnetic materials) 또는 강자성체(ferromagnetic materials)는 Verdet정수값이 좀 더 크긴 하지만 항상 온도의 영향을 받는다<sup>(1)</sup>. 그러므로, 상자성체나 강자성체를 소자로서 이용하게 되면, 원하는 정밀도를 가진 측정값을 구하기 위해 매우 정확한 온도 측정 및 보정이 필요하다. 따라서 자기광학 변류기의 센서소자로서 이용하는 데는 반자성체가 적합하다고 할 수 있다<sup>(2)</sup>.

또한, Verdet정수는 광의 파장 의존성이 강한 점을 들 수 있다. 따라서, 좁은 스펙트럼 대역을 가지는 레이저(예를 들어 He-Ne laser, laser diode 등)를 광원으로 사용하는 것이 측정결과에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

2.2 Faraday 소자

Faraday효과를 가지는 소자를 Faraday 소자라 하며 이는 TGG, YiG 등의 결정이나 Pb가 첨가된 유리

1. 서 론

최근 경제성장과 생활수준의 향상으로 인한 전력수요의 급증에 따라 초고압설비가 도심지 내에 건설됨으로 인해, 용지 확보의 어려움, 유지보수 및 운영비의 과다, 안정성 확보등의 이유로 이러한 설비의 주회로계통은 점점 밀폐화, 축소화, 디지털화 되어가고 있다. 또한 최근의 디지털 전력계통의 운영으로 수용가측에서 GIS의 운전 상태를 디지털 신호로 표시되어지는 것이 요구되어 지고 있다.

GIS에서, 운전전류와 고장전류 측정을 위한 장치로서 철심형 CT는 전력선 주위의 철심 코어에 2차권선을 감아 이로부터 발생하는 유도전류의 양으로 전력선의 전류크기를 측정하는 구조를 갖는다. 구조가 간단하고 견고한 장점이 있지만, 크기 및 중량이 크고, 자기포화대역, 써지, 노이즈대책 등이 별도로 필요하다. 이러한 단점을 극복하기 위한 대책으로서 몇 년 전부터 일부 선진국에서는 광을 이용한 CT<sup>(1)-(14)</sup>를 설치·운영하고 있다. 광CT를 설치함으로써 얻을 수 있는 이점으로는, 경제적 비용의 절감, 설비의 점유면적 감소, 계통 보호제어 시스템의 신속성 향상, 디지털 계전시스템의 호환성 등을 들 수 있다.

이러한 장점에도 불구하고 국내에서는 아직 GIS용 광CT가 개발되지 않고 있어, 급속히 증가되고 있는 전력시장의 수요에 부응하기 위해서는 광CT를 외국으로부터 전량 수입해야만 하는 실정이다.

그러므로, 최소한의 면적을 차지하면서 우수한 성능을 갖고, 친전자 환경적인 변전설비 시스템 구성에 크게 기여하는 170kV 50kA 2000A GIS용 광CT의 국산화개발에 대한 기초연구를 하고자 한다.

2. 이 론

2.1 Faraday 효과

광을 이용한 전류의 측정은 광신호가 자성체 광 매질의 내부를 진행하는 경우 자기장의 영향에 의하여 편광(polarization)의 축이 회전하는 Faraday 효과를 이용하며 그림1은 Faraday 효과에 의한 전류측정의 원리를

(FR-5) 등을 블록형과 유상변조 등을 응용하는 하이브리드형으로 나누어진다. 벌크형은 이미 상용화되고 있지만, 다른 상에 의한 자장의 영향을 피하기 위해서는 블록안의 광을 전류가 흐르는 곳으로 돌려야 하기 때문에 센서의 설치 위치가 고압 도체 근방이 되며, 절연 문제에서 소형화가 힘들다. 광섬유형에는 전류가 흐르는 주위에 자유로운 형태로 센서를 구성할 수 있고 광섬유를 접지 전위로 설치할 수 있기 때문에 보다 소형에 신뢰성이 높은 광 CT가 실현될 것으로 기대하고 있다. 광섬유를 구성하는 용융유리(fused silica)의 경우 반자성이므로 Verdet 상수의 온도에 대한 변화는

$$\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right) = (0.69 \pm 0.03) \times 10^{-4} / K$$
 정도로 매우 적다. Verdet 상수값은 적지만 충분한 Faraday rotation을 얻기 위해서는 빛이 지나는 경로  $l$  이 길어야 한다. 광섬유의 경우 충분한 길이  $l$  을 만들어 줄 수 있다[15]

광섬유형의 문제점은 광섬유의 복굴절에 의한 감도 저하이다. 이문제를 극복하기 위하여 몇가지 방법이 제안되어 있으나 온도가 변화할 때에는 복굴절 문제가 여전히 남게된다.

### 2.3 선형 복굴절

보통의 경우 센서 헤드부에 광섬유를 감을 때 반경을 크게 하므로 구부림에 의해서 발생하는 선형복굴절이 적어서  $\rho \ll 1$ 인 경우를 가정할 수 있다.

$\rho$ 가 존재함으로써 센서의 감도가 떨어지게 되고 또한 온도등에 의해서 감도변화가 생기므로  $\rho$ 에 대한 영향을 최소화하는 것이 중요하다. 광섬유에서는 두가지의 복굴절 즉 선형복굴절과 원형복굴절이 동시에 존재하므로 중첩이 된 경우를 생각해야 되며 이를 나타내는 Jones Matrix는

$$\begin{pmatrix} A & -B \\ B & A^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서

$$A = \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) + j \cos \chi \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$B = \sin \chi \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$\phi^2 = \rho^2 + (2\theta_f)^2$$

$$\tan \chi = \frac{2\theta_f}{\rho}$$

$\rho$ 는 선형 복굴절에 의한 편광모드간 위상차이고  $\theta$ 는 Faraday 효과에 의한 편광축 회전각이다.

(3)식의 Jones Vector를 이용하여 선형복굴절의 영향을 고려한 시스템의 출력을 구하면 식 (4)과 같다.

$$S = \frac{\Delta P_{out}}{\sum P_{out}} = \sin \phi \sin \chi = 2\theta \frac{\sin \phi}{\phi} \quad (4)$$

(4)식을 통하여 출력은 전류신호와 무관하게 선형복굴절의  $\phi$ 에 따라서 변화할 수 있으며 선형복굴절의 양이 커질수록 출력은 감소함을 알 수 있다. 그래서 안정적인 출력을 얻으려면 선형복굴절을 제거해야하는데 본 연구에서는 Fiber 내에서 이미 선형복굴절이 제거된 PM(Polarization-maintaining) fiber를 사용하였다.

### 3. 실험장치 및 방법

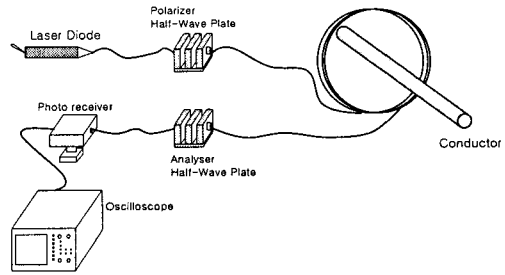


그림2 광CT lay-out

실험장치는 크게 3부분으로 나누어 진다. 원하는 광원을 발생시키기 위한 발광부(E/O변환기)와 변화된 광원의 특성을 검지하기 위한 검출부(O/E변환기) 그리고 발생된 광원이 자계에 따라 변화되는 센싱부로 나눌 수 있다. 그림 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다.

광원에서 나온 빛은 광파이버를 지나 센싱부까지 전송된다. 센싱부까지 전송된 빛은 인가자계에 따라서 편광면이 회전하게 되고 회전각  $\theta$ 는 검출기로 광강도가 변조되어 수광소자로 전달된다.

광원으로 주로 사용되는 것은 He-Ne Laser, LD(Laser Diode), SLD(Super Luminescence Diode), LED(Light Emitting Diode) 등이 있다. 경제적인 면 (제품의 단가, 수명 등) 을 고려하면 광원으로서 LED가 우수하기는 하나, 광파이버와의 결합시 손실이 많고 파장에 대한 스펙트럼이 좋지 못하다. 그리고, He-Ne Laser는 경제성 면이나 시스템 구성에 부적당한 점이 있다. 이에 반해 LD와 SLD는 광파이버와의 coupling시 파워가 LED보다 10배정도 크며, 광파장의 안정성, 그리고 신뢰성이 높은 시스템 구성이 가능하다는 장점이 있고, 800[nm]대역의 광원을 사용할 경우 보다 큰 Verdet 상수를 얻을 수 있다는 장점이기 때문에 본 실험에서는 LD(830nm)를 썼다.

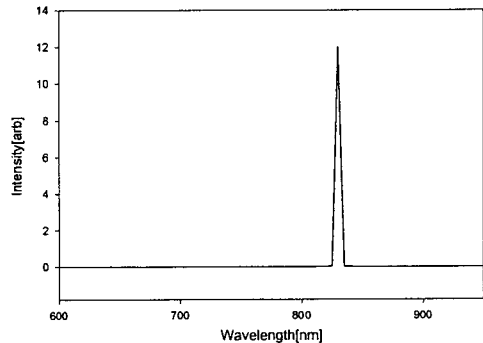


그림3 LD의 분광스펙트럼

그림3은 분광기로 측정된 LD의 분광스펙트럼이다. 830[nm]에서 출력이 선명하게 나오는 것을 볼 수 있다.

O/E변환기는 E/O변환기와는 반대로, 검광자를 통해 나오는 광신호를 photodetector로 전기신호인 전압으로 변환시킨다. 이 전압을 여러 가지 방법으로 검출가능한 적절한 크기로 증폭시켜 그 신호의 상대치를 측정함으로써 피측정전류의 크기를 측정할 수 있다.

#### 4. 실험 결과

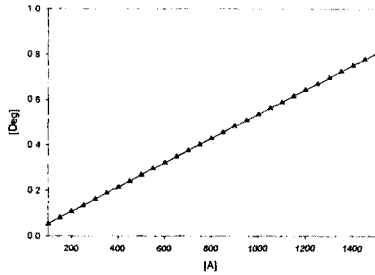


그림4 전류에 대한 각도의 변화

그림4는 식(2)을 이용하여 전류에 따른 각도를 나타낸 것이다. verdet 상수는 광섬유(830[nm])일때의  $2.34 \times 10^{-6} [rad/A]$ 이고, 5m, 4회를 감은 수치를 나타내었다.

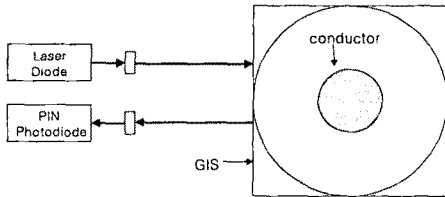


그림5 Test GIS내 광CT 설치 개략도

그림 5는 GIS내에 광CT를 설치했을 때의 개략도를 나타내었다. 그림에서 실제 GIS에서와 동일한 크기의 전류가 생성되게 하여 그 크기는 1500[A]로 하였고, LD와 Pin photodiode는 GIS 외부에 설치하였다. 본 연구에서는 GIS내에 설치할 광CT를 개발함으로써 GIS 내의 대전류에서 발생하는 동일한 자계를 이용하여 자장의 크기 변화에 따른 전류와의 관계를 측정하고자 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A. J. Rogers, "Optical technique for measurement of current at high voltage", Proc. IEE, Vol. 120, No. 2, Feb. 1973
- [2] A. Papp, H.Harms, "Magneto current transformer", Applied Optics, Vol.19, No. 22, 15 Nov. 1980
- [3]김병태,이창준,함길호 "광을 이용한 고전압, 대전류 측정" proceedings of Kiee vol.50, NO.9, Sep 2001