

# 광전류센서의 센싱부 온도특성에 관한 연구

(A study on sensor part temperature character of optical current sensor)

박정환 · 김영민 · 지승욱 · 이광식 · 박원주

(Jung-Hwan Park · Young-Min Kim · Seung-Wook Jee · Kwang-Sik Lee · Won-Zoo Park)

영남대학교

## 개 요

본 연구는 출력특성의 안정성과 정밀성이 우수한 광전류센서의 개발을 위하여 센싱부의 온도변화에 따른 출력신호를 검토하고, 온도변화에 따른 출력특성이 안정된 센싱부를 적용하여 출력특성을 연구하였다. 기존 광전류센서에서 중요시스템인 센싱부의 광섬유의 온도특성과 Verdet 상수의 온도의존도에 따라 출력신호가 불안정하다. 이러한 광전류센서의 온도변화에 따른 오차를 개선하기 위해 센싱부에 대한 온도특성을 분석하고, 온도변화에 내구성이 뛰어난 소재를 적용함으로써 센싱부의 안정된 출력특성을 가지는 광전류센서를 개발하고자한다.

## 1. 서 론

최근 산업의 발달과 가정에서의 급증되고 있는 전력 수요를 충족시키고 전력계통의 안정화를 위해 전력계통 및 전력 설비들의 초고압화와 대전류화 및 대형화가 현재 추세이다. 이러한 배경으로 인하여 전기적 절연이나 설비규모의 콤팩트화 측면에서 여러 가지 장점을 가지고 있는 가스 절연 개폐기기(GIS)와 같은 전력설비들이 적극적으로 적용되고 있는 실정이다. 이러한 전력설비는 사고예방과 안정된 운영을 위해 정확하면서 신뢰성이 보장되는 상시진단기술과 온라인 전압·전류 측정 및 부분방전의 검출기술의 확보가 절대적으로 필요하다.

전력설비들의 안정화와 원격조정기술의 필요를 만족시키기 위해서 Laser를 광원으로 하여 광섬유를 센서부로 이용한 광전류센서가 연구 개발되고 있다. 광전류센서는 고절연성, 저손실, 무유도성, 안정성 등의 장점으로 소형, 경량화 할 수 있으며 잔류자기나 자기포화의 영향이 없어 대전류 유입에 따른 출력신호의 왜곡이 없다. 또한 디지털신호를 이용한 컴퓨터 프로세싱으로 온라인 계측과 원격조정이 가능하여 앞으로의 전력IT산업에 대한 적용이 가능하다.

여러 장점을 지닌 광전류센서에서도 주위환경의 온도 변화에 대해 각 구성 소자들이 가지고 있는 고유 온도특성에 따라 출력특성이 불안정하다는 단점이 있다.

온도변화에 따른 출력특성의 불안정성과 출력신호의 오차를 감소시키기 위해 각 시스템의 온도특성을 규명하여 온도에 따른 출력신호를 안정시키고 광전류센서의 내부 및 외부의 영향으로 발생하는 Noise에 대한 대책 기술을 연구 개발함으로써 더욱 안정되고 정밀한 출력

특성을 가진 광전류센서의 개발이 필요하다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 광전류센서에 있어서 센싱부의 온도특성을 분석하고 온도 변화에 내구성이 우수한 소재를 적용함으로써 온도 변화에 따른 안정된 출력특성을 가지는 광전류센서 개발을 위한 연구를 수행 하고자 한다.

## 2. 관련 이론

### 2.1. 패러데이 효과

광전류센서에 있어서 자기광학효과 중 Faraday effect는 기본적인 이론이 되며 그림 1에 Faraday effect의 개념도를 나타내었다.

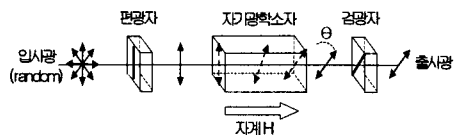


그림 1. Faraday 효과 개념도

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 아래 식(1)과 같은 관계를 만족시킨다. 이때  $V$ 는 Verdet 상수라 하며 물질의 특성을 결정하는 상수이다.

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

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

V : Verdet 상수 [rad/A]

H : 자계의 세기[A/m]

L : Faraday 소자의 길이(광경로 길이)[m]

φ : 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

Faraday소자를 대신해 광섬유로 도체 주위에 페루프형 센싱부를 구성함으로써 식(1)은 코일의 형태, 센서코일과 도체와의 거리 등에 무관하게 일정한 값을 가지고 측정도체 이외의 인근 신호원에 영향을 받지 않는 식(2)를 얻을 수 있다. 이와 같은 구성에서 회전각θ는 인가전류 및 광섬유의 감은 회수에 비례하게 되며 식(2)는 암페르의 전류법칙(Ampere's circuit law)에 의해 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[1]</sup>

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

n : 광섬유를 감은 회수

l : 인가전류

## 2.2. Verdet 상수의 온도 의존성

Faraday 소자를 선택할 때 Verdet상수의 온도의 의존도가 낮은 물질을 선택하는 것이 전류센서의 온도 안정성을 높이는데 중요하다. 소자의 온도의 의존성이 온도변화에 따른 교류성분 및 직류성분 광전류 센서의 출력변동에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보기 위해서는 우선 광전류센서의 상대적인 온도 의존성을 분석해야 된다. 전류에 의해서 생기는 편광판 회전각의 상대적 온도 의존도는 아래와 같다.

$$\frac{1}{\theta} \frac{d\theta}{dT} = \frac{1}{\Gamma_m} \frac{d\Gamma_m}{dT} = \frac{1}{V_d} \frac{dV_d}{dT} + \alpha \quad \text{식 (4)}$$

식(4)로부터 광전류센서에서의 온도에 따른 출력 변화가 Verdet 상수의 온도 의존도와 열팽창계수 α에 기인한다는 것을 알 수 있다. 따라서 광전류센서의 불안정 요인으로 Verdet 상수의 온도 의존성과 열팽창계수를 고려해야 한다.<sup>[2]</sup>

## 3. 실험장치 및 방법

본 논문에서는 광전류센서 개발을 위한 온도실험 장치를 그림 2와 같이 구성하였다. 크게 광출력부(Laser Diode, Polarizer : E/O변환부)와 센서부(Optical fiber), 검출부(PBS, PinPD, 신호처리부(DAQ, PC : O/E변환

부)로 나눌 수 있다. 광원으로 사용한 laser는 1310[nm], 최대출력 25[mW]의 Laser Diode를 사용하였다.

센서부에는 20[m] 길이의 1310[nm]용 9/125[μm] silica 광섬유와 acrylate coated 광섬유를 감은 센서부를 -40[°C]에서 50[°C]까지 온도를 변화시킬 수 있는 가변온도챔버 내에 전력선에 흐르는 전류의 방향과 직각 방향으로 설치하였다.

검출부에서는 PBS에서 분리되어 검출한 출력신호를 신호처리부의 DAQ(Data Acquisition)보드로 수신하여 PC에서 신호처리프로그램을 통해 voltage값으로 검출하였다.<sup>[5]</sup>

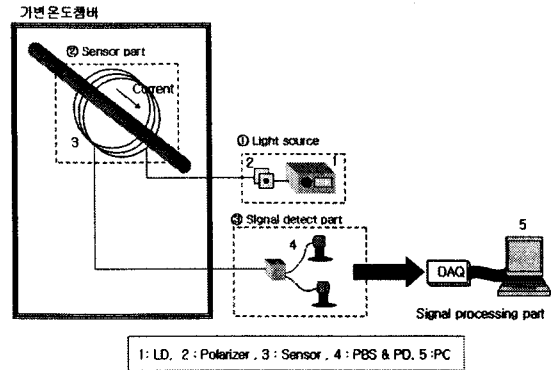


그림 2. 실험장치 개략도

가변온도챔버의 온도를 -40[°C]~50[°C] 범위에서 10 [°C] 단위로 변화를 시키면서 전류를 200[A]에서 1200[A]까지 100[A] 단위로 인가함에 따른 silica 광섬유와 acrylate coated 광섬유의 각각의 출력신호를 비교 분석하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 silica 광섬유의 온도변화에 대한 출력특성을 나타내고 있다.

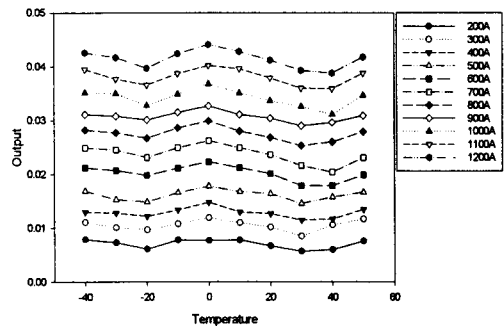


그림 3. silica 광섬유의 온도에 대한 출력특성

silica 광섬유는 온도에 대해서 규칙적인 변화를 보이지 않고 출력신호에 20% 정도의 비교적 큰 편차를 보였다.

그림 4는 Acrylate Coated 광섬유의 온도변화에 대한 출력특성을 나타내고 있다. Acrylate Coated 광섬유는 온도에 대해서 출력신호가 거의 일정하게 나타나고 있다.

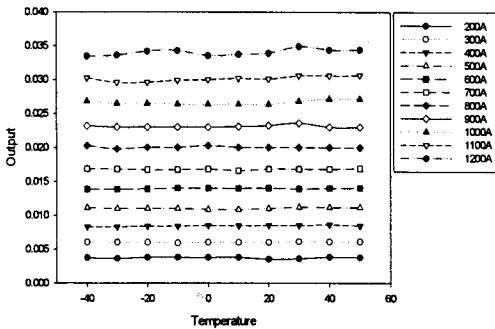


그림 4. Acrylate Coated 광섬유의 온도에 대한 출력특성

이와 같이 silica 광섬유가 온도변화에 따른 출력에 변화를 보이는 것은 silica 광섬유 코어의 주재료인 silica(SiO<sub>2</sub>)의 열팽창계수  $\alpha = 0.5 \times 10^{-6}/K$ 가 온도 변화에 따라 광 진행 방향에 대해 수직 및 수평방향으로 수축이나 팽창을 함으로써 광학적 특성에 변화를 주기 때문이다.<sup>[2][3]</sup>

그림 5에서 볼 수 있듯이 Acrylate Coated 광섬유는 UV Cured Dual Acrylate Coating으로 2중 코딩이 되어 있어서 온도 변화에 대해서 광섬유의 수축 및 팽창이 silica 광섬유 보다 적어서 광학적으로도 그 특성이 안정되게 나타나는 것으로 판단된다.

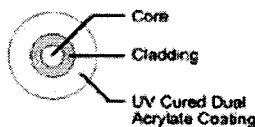


그림 5. Acrylate Coated 광섬유의 내부 구조

그림 6은 Acrylate Coated 광섬유의 온도특성을 나타내는 그림이다. 그림에서와 같이 -40[°C]이상의 온도범위에서는 온도에 영향을 끼치는 복굴절이 거의 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

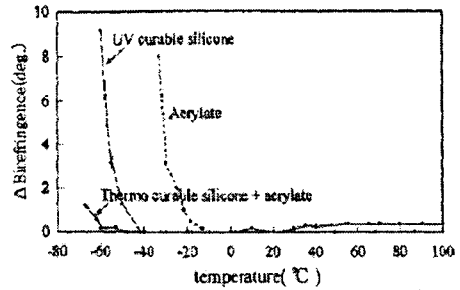


그림 6. Acrylate Coated 광섬유의 온도특성

따라서 Acrylate Coated 광섬유를 광전류 센서 제작에 사용함으로써 현재 광전류센서가 적용하게 되는 전력설비의 현장 주위환경 온도변화에 따른 출력 신호의 변화를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 출력특성이 안정되고 신뢰성 높은 광전류센서를 개발함에 있어서 외부 환경에서 받게 되는 물리적 영향 중 온도 변화에 따른 센싱부의 출력 특성을 일반 silica 광섬유와 Acrylate Coated 광섬유를 센싱부에 적용하여 각각의 출력 특성을 비교 연구하였다.

본 논문에서 나타난 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 일반 silica 광섬유에 대한 온도 변화에 따른 출력 특성은 온도 변화에 대해서 규칙적인 변화는 보이지 않았다. 온도 변화에 대하여 출력신호에 20% 정도의 비교적 큰 편차를 보였다.

(2) acrylate Coated 광섬유는 온도 변화에 대해서 출력신호가 거의 일정하게 나타났다.

(3) silica 광섬유가 온도변화에 따른 출력에 변화를 보이는 것은 silica 광섬유 코어의 주재료인 silica가 온도 변화에 따라 광 진행 방향에 대해 수직 및 수평방향으로 수축이나 팽창을 함으로써 광학적 특성에 변화를 주기 때문이다.

(4) acrylate Coated 광섬유는 UV cured dual acrylate coating으로 2중 코딩이 되어 있어서 온도 변화에 대해서 광섬유의 수축 및 팽창이 silica 광섬유 보다 적어서 광학적으로도 그 특성이 안정되게 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 acrylate coated 광섬유를 광전류센서 제작에 사용함으로써 온도변화에 따른 출력 신호의 변화를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

차후 연구에서는 광출력부와 수신부의 온도 특성에

대해서 규명하고 온도 변화에 따른 출력특성을 안정화시킬 수 있는 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

이 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 정철우 “대전류 측정을 위한 Optical CT 기술 개발 연구” 영남대학교, 석사 학위 논문 p. 2, 2004.02.
- [2] P. A. Williams, A. H. Rose, G. W. Day, T. E. Milner, and M. N. Deeter, "Temperature dependence of the Verdet constant in several diamagnetic glasses", Appl. Opt., vol. 30, no. 10, pp. 1176-1178, 1991.
- [3] 송민호, 양창순, 안성준, 박병석, 이병호 “과전류 보호계전 기용 광섬유 전류센서”, 비파괴검사학회지 Vol.21, No.5 2001
- [4] Z.P Wang, Q.B Li, J.H. sun, L.B. Zhang, "Comparison of signal processing schemes used in optical current transformers", Electric Power System Research August 2000
- [5] Young-Min Kim "A comparison of signal processing techniques in optical current sensor for QIS" Journal of KIEE, Vol.20, No.9, November 2006