

# GIS용 광CT의 신호분석 시스템 개발에 관한 연구

(A study on the development of signal analysis system of optical CT for GIS )

김영민 · 송현직 · 박원주 · 이광식 · 김민수\* · 김정배\*

(Young-Min Kim · Hyun-Jig Song · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Min-Soo Kim · Jung-Bae Kim)

영남대학교 · 효성중공업\*

## 개 요

본 연구는 페러데이 효과(Faraday Effect)를 이용한 GIS용 광 CT의 개발을 위하여 출력신호의 정밀성과 안정성 향상을 위한 신호분석 시스템에 대해 검토하였다. 기존 광 CT의 Verdet 상수 의존도와 온도에 따른 특성 및 노이즈에 대한 정밀성을 개선하기 위해 신호처리 시스템 이용하여 신호를 균일화 시키고 온도 보상 프로그래밍을 이용하여 온도 특성에 따른 오차를 저감시키고자 한다. 또한 신호 계측부와 신호 처리부를 분리하여 신호 처리부를 프로그래밍 시켜 실시간으로 광 CT 특성을 모니터링 할 수 있는 시스템을 연구 검토하였다.

## 1. 서 론

최근 산업과 가정에서 급증되고 있는 전력 수요를 충족시키고 전력계통의 안정화를 위해 전력계통 및 전력 설비들의 공급 전압 규모는 초고압화로 승압되고 있으며, 설비의 규모는 대형화 되는 것이 현재의 추세이다. 이러한 배경으로 인하여 가스 절연 개폐기기(GIS)는 전기적 절연이나 설비규모의 콤팩트 화 측면에서 여러 가지 장점을 가지고 있어 적극적으로 적용되고 있는 실정이다. 이에 GIS의 사고예방과 안정된 운영을 위해 정확 하면서 신뢰성이 보장되는 상시진단을 위한 온라인 전압·전류 측정 및 부분방전의 검출기술의 확보가 절대적으로 필요하다.

하지만 기존의 전류변류기(Current Transformer, 이하 CT)는 크기 및 중량이 크고 잔류자기와 자기 포화 등에 따른 출력신호의 왜곡 등의 문제가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 Laser를 광원으로 이용한 광 CT를 개발되었다. 광 CT는 고절연성, 저손실, 무유도성, 안정성 등의 장점으로 소형, 경량화 할 수 있으며 잔류자기나 자기포화의 영향이 없어 대 전류 유입에 따른 출력신호의 왜곡이 없다는 이점이 있다.

그러나 인가전류별 온도 변화에 따른 출력변화와 경향, 오차율이 존재하고 있으며 온도에 따른 오차율의 개선과 Noise에 대한 대책을 통한 좀 더 안정되고 정밀한 출력 특성을 얻는데 중점을 두어 온도 보상 기술 연구 및 광 CT의 특성 최적화 연구와 더불어 실시간 광 CT monitoring 프로그램을 구현 적용하여 GIS용 광

CT및 실시간 신호처리 시스템을 개발할 필요가 있다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 광 CT에서의 여러 신호들을 분석하고 그에 따른 파라미터 값의 실시간 모니터링을 수행 하고자 한다.

## 2. 관련 이론

### 2.1. 페러데이 효과

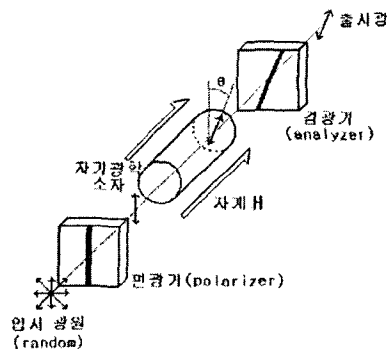


그림 1. Faraday 효과 개념도

그림 1은 자기광학현상중 하나인 페러데이 효과의 개념도이다. 광을 이용한 전류의 측정은 광신호가 자성체 광 매질의 매부를 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 비례하

므로

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

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

V: Verdet상수[rad/A]

H: 매질에 가해진 자기[A/m]

L: Faraday 소자의 길이(광경로 길이)[m]

φ: 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

이라는 관계가 만족 시킨다. 이때 편광면이 회전하는 각도는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 그러나 자기장의 방향에 따른 Vector값이므로 자성체 소자를 사용할 경우 측정하기가 매우 곤란해진다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 Faraday소자를 대신해 광섬유로 도체 주위에 페루프형 센싱부를 구성함으로써 코일의 형태, 센서코일과 도체의 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.

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

n : 광섬유를 감은 회수

l : 인가전류

## 2.2. Verdet 상수의 온도 의존성

페러데이 소자를 선택할 때 Verdet상수의 온도 의존도가 낮은 물질을 선택하는 것이 전류센서의 온도 안정성을 높이는 데 중요하다. 소자의 온도 의존성이 온도변화에 따른 교류성분 및 직류성분 광전류 센서의 출력변동에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보기를 위해서는 우선 광전류 센서의 상대적인 온도 의존성을 분석해야 된다. 전류에 의해서 생기는 편광면 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 광 CT에서의 온도에 따른 출력 변화가 Verdet 상수의 온도 의존도와 온도 팽창계수 α에 기인한다는 것을 알 수 있다. 따라서 광전류 센서의 불안정 요인으로 Verdet 상수의 온도 의존성과 열팽창을 들 수 있다.

## 2.3. 광 CT의 온도 특성

그림 2은 -40[°C]에서 50[°C]까지의 10[°C] step의 온도변화에 대한 각 전류 값의 출력변화와 오차를 나타낸 것이다. 이는 온도변화에 따른 광 CT 출력값을 인가 전류별로 구분하여 표현한 것으로, 동일 전류 값에서 온도에 따른 편차가 적음을 알 수 있고 -20[°C] 와 0[°C]에서 전체적인 출력 값의 변동이 큰 것을 볼 수 있다.

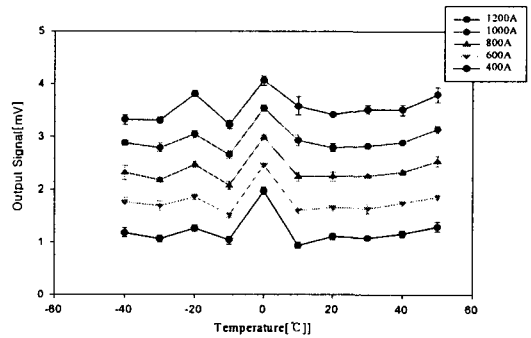


그림 2. -40[°C]~ 50[°C]의 온도변화에 따른 출력신호

-40[°C]에서 0[°C]까지의 오차율은 4.0[%] 이하로 나타났고 0[°C]에서 50[°C]까지의 오차율은 3.4[%]로 이하로 비교적 오차율이 적음을 알 수 있다. 온도 변화에 따른 광 CT의 출력신호는 인가 전류의 증가에 따라 비례하여 증가하고, 온도가 커질수록 출력신호 또한 증가하며 기울기 변화가 일정한 것을 알 수 있다.

## 3. 연구의 목표와 내용

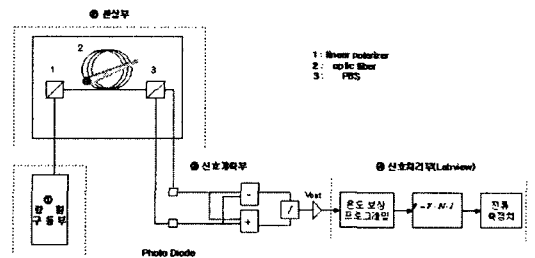


그림 3. 광 CT 신호분석 시스템 실험 개략도

그림 3은 광CT 신호분석 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 광원구동부, 센싱부, 신호계측부, 신호처리부로 나누어진다. 광원구동부에

서 Laser Diode이용한 1310[nm]의 레이저광이 출력되고 페루프형 센싱부에서 측정대상도체의 전류를 센싱한다. 신호계측부에서는 그 신호를 규격화시켜 순수한 교류 성분을 출력하여 신호처리부에서는 신호 분석 및 처리하여 광CT의 각각의 출력값을 디스플레이 한다.

### 3.1 신호 계측부

계측 소자를 이용하여 광 센서부에서 변조된 변조광 즉 교류 성분을 추출하는 회로로써 측정값과 일치하는 신호의 크기로 출력하는 회로이다. 이 방법은 회로구성이 간단하다는 장점이 있다. 수광 장치에는 빠른 응답속도를 가지는(~0.2 [ns])를 가지는 PIN-PD(Positive Intrinsic Negative - Photo Diode)가 사용된다. PIN-PD에서 출력된 두 신호는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 처리신호의 규격화를 위해 식(6)와 같은 연산을 하여 순수한 교류 성분만을 얻어 내고 이것을 증폭하여 온도 보상 프로그래밍과 실시간 처리를 위해 PC로 신호를 전송한다.

$$P_{OUT1,2} = P_{IN}(1 \pm \sin 2\theta) \quad \text{식 (5)}$$

$$S = \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \sin 2\theta \approx 2\theta \quad \text{식 (6)}$$

### 3.2 신호 처리부

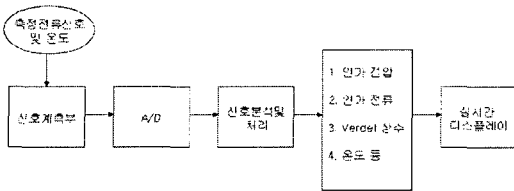


그림 4. 신호 분석 순서도

그림 4는 신호분석 및 처리시스템의 순서도를 나타낸 것이다. 신호처리부는 신호계측부의 신호를 AD컨버터를 거쳐 디지털 신호로 변환하고 각각의 파라미터의 특성을 분석하고 온도나 노이즈에 대한 보상을 프로그램을 이용하여 처리한다. 분석 및 처리된 데이터는 사용자에게 편의를 위해 한 화면에 디스플레이 되며 각각의 디스플레이 부분은 인가 전류(측정 전류 값을 실시간으로 디스플레이), 인가전압, Verdet 상수, 온도보상(실온(20[℃]에서의

데이터를 토대로 저온과 고온에서의 데이터(보정)부분 등으로 나누어진다.

## 4. 결론

IT기술을 이용한 차세대 광 CT를 위해서는 높은 정밀성과 신뢰성을 요구한다. 이에 측정된 여러 파라미터를 분석하여 신뢰성을 높이고 실시간으로 여러 가지 정보를 빠르고 정확하게 사용자의 편의에 따라 디스플레이하는 시스템을 구축하는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 광 CT의 신호분석 시스템과 시간 모니터링 기술을 구현하는 연구를 하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] 정철우 "대전류 측정을 위한 Optical CT 기술 개발 연구" 영남대학교, 석사 학위 논문 p. 2, 2004.02.
- [2] 송민호, 양창순, 안성준, 박병석, 이병호 "과전류 보호계전 기용 광섬유 전류센서", 비파괴검사학회지 Vol.21, No.5 2001
- [3] Young-Soo Kim, "A study for standardization of optical current transformer and optical potential transformer, 초당대학교 전자공학과 2000
- [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