

GIS용 광 CT의 온도보상 특성에 관한 연구

(A study on temperature compensation characteristic of optical current sensor for GIS)

박정환 · 송현직 · 박원주 · 이광식 · 김민수* · 김정배*

(Jung-Hwan Park · Hyun-Jig Song · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Min-Soo Kim · Jung-Bae Kim)
영남대학교 · *효성중공업

요 약

현재 국내·외에서 GIS용 광 CT가 활발히 연구·개발되고 있다. 이러한 광 CT는 전류와 온도의 변화에 따른 오차가 발생하는데 온도특성을 고려하여 온도변화에 따른 출력신호의 오차를 감소시키고 전류를 더욱 정밀하고 안정적으로 측정 가능하도록 온도보상 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 온도보상 시스템 연구를 위한 광 CT의 온도보상 특성에 대한 연구 계획을 기술하였다.

1. 서 론

현재 초고압 송·변전설비 중에 대표적인 전력 기기인 GIS는 절연 및 소호 특성이 탁월한 SF₆ 가스를 이용하여 개폐기 및 도체를 금속 탱크 내에 내장한 설비이다. 이러한 GIS에서 중요한 위치를 차지하고 있는 것이 대전류를 측정할 수 있는 CT부분이다. GIS에서의 사고예방과 안정된 운영을 위하여 정확하면서도 신뢰성이 보장되는 상시진단을 위한 온라인 전압·전류 측정 및 부분방전의 검출기술의 확보와 전력계통의 자동화, 무인화 디지털화를 동시에 실현시킬 수 있는 방안으로 대전류 측정을 위한 기존의 철심형 CT에서 레이저와 광섬유를 센싱부로 이용한 광 CT로 교체하기 위한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.^[1]

본 논문에서는 GIS용 광 CT에 있어서 여러 가지 문제점에서 가장 많은 영향을 미치고, 오차율이 크게 작용하는 온도에 대한 특성에 대해 분석하고 그 오차를 해소할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 광 CT의 원리

광 CT에 있어서 자기광학효과 중 Faraday effect는 가장 기본적인 이론이 되며 그림 1에 Faraday effect의 개념도를 나타내었다.

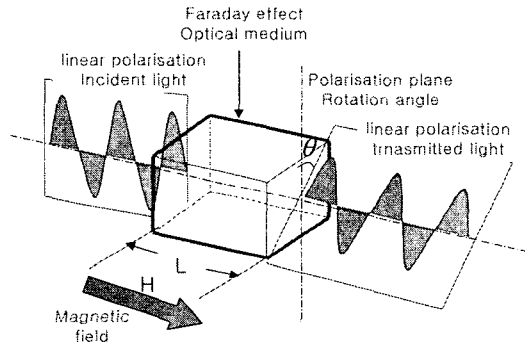


그림 1. Faraday effect의 개념도
Faraday 효과에 의한 회전각 θ 는, 빛의 진행방향에 가해진 자계 H, Faraday 소자에서의 광경로 길이 L, 그리고 Verdet 정수 V에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = V \cdot H \cdot L \cdot \cos\phi$$

$$= V \cdot H \cdot L$$

V : Verdet 상수 [rad/A]

H : 자계의 세기[A/m]

L : Faraday 소자의 길이(광경로 길이)[m]

ϕ : 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

- Faraday소자 : Faraday효과를 가지는 자성체 소자(납유리, BGO, BSO, ZnSe, YIG 등)

① 반자성체 : Verdet 상수는 값이 작지만 온도의 영향을 적게 받음

② 강자성체 : Verdet 상수값이 좀 더 크긴 하지만 온도의 영향 많이 받음

- Verdet 상수 : Faraday effect의 크기를 나타내

는 물질정수로 광의과장과 온도에 영향을 받는다.

광 CT의 전류를 측정하는 센싱부에서 중요한 부분을 차지하는 광섬유에서 현재 널리 연구되고 있는 실리카(SiO₂) 광섬유의 Verdet 상수의 온도 의존도는 다음과 같다.

- ① 소자의 Verdet 상수값이 크다 하여도 온도의 의존도가 높으면 재질로서 부적합하다.
- ② 실리카(SiO₂) 단일모드 광섬유의 Verdet 상수의 온도 의존도는 Becquerel 공식을 온도에 대해 미분하여 아래와 같은 식으로 표시할 수 있다.^[2]

$$\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right) = \frac{\frac{d}{dT} \left(\frac{dn}{d\lambda} \right)}{\left(\frac{dn}{d\lambda} \right)} = \frac{\frac{d}{d\lambda} \left(\frac{dn}{dT} \right)}{\left(\frac{dn}{d\lambda} \right)} = (0.69 \pm 0.03) \times 10^{-4} / K$$

전술한 바와 같이 광 CT를 구성하는 요소 중 가장 기본이 되는 Faraday소자 및 광섬유의 Verdet 상수는 온도 변화에 따라 그 값이 변한다는 것을 알 수 있다.

2.2. 온도변화에 따른 광 CT의 출력특성

그림 2와 그림 3은 각각 1310[nm] 레이저 다이오드를 광원으로, 30[m]의 단일 모드 광섬유를 온도장치 내부에 취부한 장치를 사용하여 온도를 -40[°C]에서 0[°C]까지 변화 시켰을 때와 10[°C]에서 50[°C]까지 변화시켰을 때를 인가전류의 변화에 따른 실험한 광 CT의 출력 결과를 각각 5회 측정하여 그 평균값을 온도별로 표현한 것이다. 여기에서 전류가 증가할수록 출력값이 증가함을 알 수 있다.

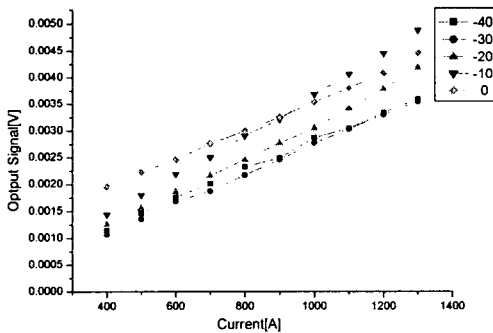


그림2. -40[°C]~0[°C]의 온도변화에 따른 출력신호

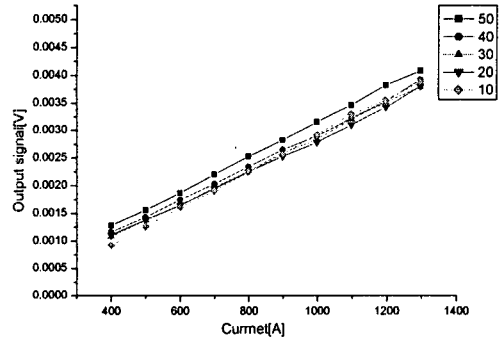


그림3. 10[°C]~50[°C]의 온도변화에 따른 출력신호

그림 4은 -30[°C]에서 50[°C]까지의 10[°C] step의 온도변화에 대한 각 전류값의 출력변화를 나타낸 것이다. 이는 온도변화에 따른 광 CT 출력값을 인가 전류별로 구분하여 표현한 것으로, 전체적으로는 온도가 증가함에 따라 출력신호도 비례적으로 증가함을 알 수가 있다. 500[A], 700[A]에서는 온도변화에 따른 출력신호의 변동이 작는데 비해, 900[A], 1100[A], 1300[A]에서는 출력신호의 변동이 크게 나타났다.^[2]

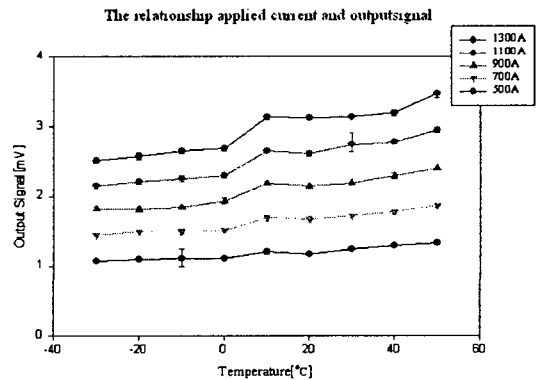


그림 4. -30[°C]~50[°C] 온도변화에 대한 각 전류값의 출력변화

그림과 같이 나타나는 각 온도에 따른 편차는 광섬유를 jacket fiber로 바꾼다면 다소 줄일 수 있을 것이다. 하지만 현장에서 주위환경의 온도변화를 감안한다면 좀 더 확실하게 출력신호의 오차를 감소시킬 수 있는 또 다른 온도보상시스템이 필요하다. 온도보상시스템을 구현해서 출력값을 모니터링하는 신호처리부에 추가시켜 안정되고 정밀한 측정을 해야 할 것이다.

표 1. 각 온도에서 400[A]~1300[A] 전류인가 시 Reference와의 오차율

-40℃	-30℃	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	인가 전류 [A]
3.97	0.807	3.86	2.71	1.35	1.13	3.35	1.78	2.26	1.93	400
0.414	0.409	1.78	1.01	1.14	0.034	0.877	1.16	0.422	0.74	500
1.47	2.92	0.422	1.3	0.651	1.24	0.722	1.64	0.704	0.925	600
0.349	2.05	0.539	1.65	0.463	0.53	0.307	0.018	0.464	0.148	700
2.58	0.735	1.25	0.411	0.611	0.447	0	0.592	0.049	0.433	800
1.97	0.118	1.09	2.79	1.2	0.385	0.55	0.522	0.271	0.526	900
2.19	1.1	2.56	0.054	0.582	0.35	2.04	1.72	1.85	0.023	1000
0.873	0.444	0.864	0.049	0.832	1.55	1.02	0.543	0.808	0.189	1100
-0.16	0.199	0.283	0.18	0.561	0.548	0.175	0.694	0.506	0.995	1200
0.382	0.848	2.47	1.2	1.96	0.499	2.15	0.029	1.83	0.444	1300
0.382	0.963	1.512	1.135	0.935	0.671	1.119	0.87	0.916	0.635	전대치 평균값

-40[℃]에서 50[℃]까지의 각 온도조건에서 400[A]에서 1300[A]까지 인가전류를 변화시켰을 때 Reference에 따른 각 온도별 오차율(측정평균값-Reference / Reference)은 표 1과 같이 나타났다. 이는 최대 약 4%의 오차율을 나타내지만 최대치는 측정오차에 기인 할 수도 있으므로 의미를 부여 하기는 어렵고 평균적으로 1.5% 이내의 안정된 값을 보이고 있다.^{[1][2]}

그림 5는 -40[℃]에서 50[℃]까지의 10[℃] step의 온도변화에 대한 각 전류값의 출력변화와 오차를 나타낸 것이다. 이는 온도변화에 따른 광 CT 출력값을 인가 전류별로 구분하여 표현한 것으로, 동일 전류값에서 온도에 따른 편차가 적음을 알 수 있고, -20[℃]와 0[℃]에서 전체적인 출력값의 변동이 큰 것을 볼 수 있다.^[1]

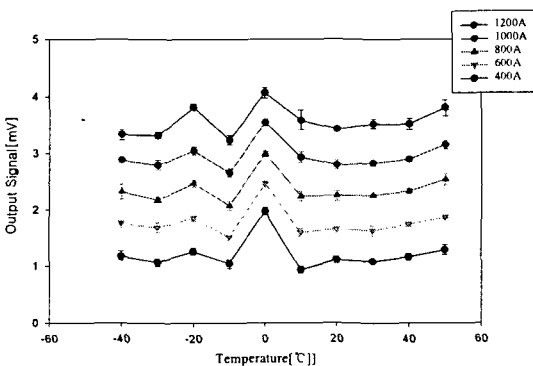


그림5. -40[℃]~50[℃]의 온도변화에 따른 출력신호

이것은 광섬유의 재질 특성에 따라 verdet 상수가 20[℃]를 기준으로 설정되어 있기 때문에 온도에 따라 verdet 상수값이 영향을 받아 변화하는데 기인하여 출력값의 변동이 큰 것으로 생각된다. 이에 따른 대안으로 외부온도를 측정해 보상할 수 있는 방식의 온도보상 시스템이 구현 되어야 할

것으로 생각된다. 이 주변온도의 변화에 대하여 출력변화가 나타나므로 실제 광 CT의 사용 시에는 현장에 온도센서와 광 CT의 온도보상 시스템을 함께 부착하여 주위 온도에 따른 광 출력값의 보정이 필요할 것으로 사료된다.

2.3. 연구 목표

광 CT에 있어서 온도에 대한 출력신호는 온도의 변화에 따라 비례적으로 증가하고 약 -20[℃]에서 20[℃]까지의 온도변화에 따른 출력신호의 변동이 큰 것으로 나타났다. 이런 온도변화에 따라 변동적인 출력신호를 안정적이고 오차율이 적은 수치로 계측하기 위해서 센싱부에 온도보상 시스템을 구성해서 온도보상특성에 대한 연구를 통한 정확한 Reference값을 정해서 출력신호를 모니터링하는 신호처리부에 소프트웨어적인 방법을 이용해 온도보상이 실현 가능하도록 한다.

2.4. 연구 내용

전술한 바와 같이 광 CT에 대한 온도특성을 바탕으로 온도에 대한 오차를 감소하기 위한 보상시스템을 사용하여 다시 각 온도별 특성을 연구·검토를 하고자 한다. 먼저 온도보상시스템을 첨가한 광 CT 실험 장치를 구성한다.

1) 온도보상 광 CT 실험 장치 구성

기존의 실험 장치에서

① 광섬유를 이용한 레이저 전송 기술

- 효율적인 광전송과 편광상태가 유지 가능한 전송시스템 구성
- 온도 변화에 따른 레이저 전송 기술 연구

② 온도 보상기술을 이용한 전류 센싱 기술

- 측정평균값을 바탕으로 한 온도보상을 위한 전자회로 구성
- 온도 보상 시스템을 이용한 전류 센싱 특성 개선 연구

③ 온도 보상과 대책 기술을 이용한 GIS 적용 가능성 분석

2) 온도보상시스템

그림 5와 같은 페루프형태의 온도보상 시스템을 구성하여 광 CT를 사용하게 되는 현장의 주위환경 온도를 고려한 온도보상시스템을 구현하고자 한다.

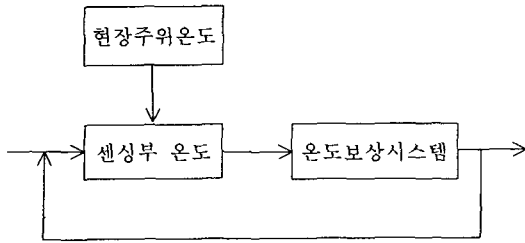


그림5. 온도 보상시스템의 블록선도

3. 결 론

광 CT의 출력신호는 측정된 결과 전류가 증가할수록, 주변온도가 높을수록 출력신호가 비례적으로 증가한다. 그리고 동일 전류 값에서 온도에 따른 편차가 적지만 $-20[^\circ\text{C}]$ 와 $0[^\circ\text{C}]$ 에서 오차가 큰 것을 알 수 있다. 이러한 온도에 따른 오차는 현장에서 광 CT를 사용함에 있어 주위환경의 변화에 안정되고 정밀한 출력신호를 처리·분석하는데 장애요인이 된다. 이에 대한 대안으로 광 CT의 센싱부에 온도보상 시스템을 사용하여 그 오차를 감소시켜 안정적이고 신뢰성 높은 출력신호로 신호처리부에서의 동작을 안정화시켜야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 전재일 "Faraday효과를 이용한 광CT의 온도특성에 관한 연구" 한국조명·전기설비 학회 논문지 vol 19, No1, Jan 2005
- [2] 허순영 "Jacket optical fiber를 이용한 광CT의 출력 특성에 관한 연구" 영남대학교, 2005.08 석사학위논문
- [3] 정철우 "대전류 측정을 위한 optical CT 기술 개발 연구" 영남대학교, 2004.02 석사학위논문
- [4] G. Degli Esposti, et al., "Current Measurements On A High Voltage Using A Fiberoptic Sensor", Fifth International Symposium On High Voltage Engineering, August 1987.