

광원에 따른 광CT(Optical Current Transformer)의 출력특성 연구 (1)

전재일, 정철우, 안미경, 하장호, 신경우, 박원주, 이광식
 구미기능대학, 삼척대학교, (주)부창엔지니어링, 영남대학교

A study of output properties of Optical Current Transformer according to laser sources

Jae-Il Jun, Cheol-Woo Jung, Mi-Kyoung Ahn, Jang-Ho Ha, Kyoung-Woo Shin, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee
 Kumi Polytechnic college, Samcheok National University, Buchang Engineering Co. Ltd, Yeungnam University

Abstract - Faraday 효과를 기본으로 하는 광 CT(Optical Current Transformer)는 기존의 CT의 결점을 개선하여 경제적 효과의 증대, 신호제어 시스템의 신속성 향상, Digital 계전시스템의 호환성에 크게 기여한다는 점 등 많은 면에서 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 광섬유 센서 기술을 응용하고, Faraday 효과의 편광면 회전량을 수광부에서 검출하여 대전류 측정을 위한 광 CT의 동작특성에 대한 실험을 하고자 한다. 실험에 사용할 광원은 633[nm] He-Ne Laser와 1310[nm] Laser Diode 두 가지로 동일한 시스템으로 구성하여 비교한다. 센싱부의 광섬유는 길이 10[m]의 633[nm], 1310[nm]용 single-mode bare fiber를 전류가 흐르는 케이블에 감아 센싱부를 구성하고, 전류변화에 따른 두 출력값을 측정, 비교하고자 한다.

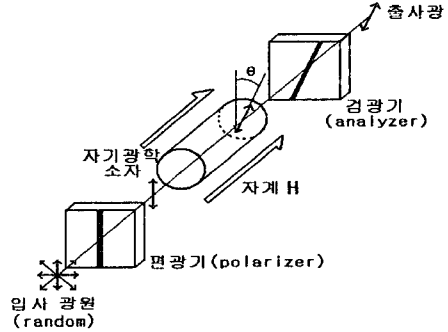


그림 1. Faraday 효과 개념도

1. 서 론

광CT(Optical Current Transformer)에 관한 연구는 송전전압의 초고압화와 대규모 설비에 의한 용지확보의 어려움, 기존 철심형 CT(Current Transformer)의 보수 및 가격, 정확성 등의 단점들의 해결방안으로 오래 전부터 시작되었다. 광원인 레이저와 에너지 손실이 적은 광섬유를 중심으로 하는 광센서 기술을 응용함으로써 신뢰성이 높은 광계측 시스템을 개발하여 대전류 측정을 보다 효과적인 방법으로 진단함으로써 전력계통에 이용하고 광CT[1~14]의 국산화에 따른 수입대체 효과와 외국제품과의 경쟁력을 향상시켜야 할 필요성이 있다. 광CT에 대한 실용화연구는 신뢰성향상과 경제성추구라는 두 가지 측면에서 진행되어, 신뢰성향상에 관해서는 전계 해석기술의 고도화 및 절연성능진단법의 확립, 경제성에 관해서는 소형축소화를 기본으로하는 기기구성의 간소화가 요구된다. 특히, 현대에는 한정된 자원과 인력을 효율적으로 사용하여 생산을 극대화시키는 것이 경쟁력의 근본이다. 따라서 설비보수의 빈도를 줄이는 방안과 아울러 무정전의 높은 신뢰성 확보는 극히 중요하다. 이러한 이유로 본 논문에서는 지금까지의 연구를 바탕으로 하여 광원의 종류에 따른 광CT의 출력특성을 연구하고자 한다.

2. 관련 이론

광CT에 있어서는 Faraday Effect와 Voigt Effect 등의 자기광학효과(Magneto-Optic Effect)가 기본 이론으로 사용되며, 납유리와 같은 투명한 물질에 선형 편광된 광을 입사시킬 때, 그 진행방향에 대해 평행한 자기장을 걸어주면 광파의 편광면이 회전하게 되는데 이러한 광학적 현상을 Faraday 효과라고 한다. Faraday 효과는 그림 1과 같이 간단히 나타낼 수 있으며 이러한 효과를 나타내는 자성체 소자로는 납유리, BGO, BSO, ZnSe, YIG 등이 있다.

Faraday 효과에 의한 회전각 θ 는, 빛의 진행방향에 가해진 자계 H, Faraday 소자에서의 광학경로길이 L, 그리고 Verdet정수 V에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = VHL \tag{1}$$

V : Verdet 정수[rad/A]
 H : 자계강도[A/m]
 L : Faraday 소자에서의 광학경로길이[m]

Faraday 효과에 의한 편광면의 회전각은 측정전류에 비례하므로 광섬유 센서를 통과한 광신호를 입력편광에 대하여 θ 방향으로 정렬된 검광자(Polarization analyzer)를 통과시켜 그 회전각을 분석하여 전류를 측정할 수 있다. Verdet정수는 Faraday 효과의 크기를 나타내는 물질정수이며, 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 Verdet정수 값이 좀 더 크긴 하지만 항상 온도의 영향을 받는다[1]. 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 있으며[2] 편광면이 회전하는 각도는 (1)식에서처럼 자기장의 방향에 관계되는 vector 값이므로 자성체 소자를 사용할 경우 측정하기가 매우 곤란해진다. Faraday 효과는 Ampere의 법칙(Ampere's circuit law)을 적용[3]시켜(2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = Vn \oint H \cdot dl = VnI \tag{2}$$

여기서 n은 광섬유의 turn수이고, I는 전류의 크기를 나타낸다.

본 실험에서는 광원으로서의 laser를 633[nm]파장의 He-Ne laser와 1310[nm]파장의 Laser Diode를 이용하여 동일 조건하에서 각각의 출력 특성을 파악하고자 한다.

3. 실험결과 및 향후 계획

실험장치는 크게 3부분으로 나누어 진다. 원하는 빛을 발생시키기 위한 발광부(E/O변환기)와 변화된 빛의 특성을 검지하기 위한 검출부(O/E변환기) 그리고 발생된 빛의 특성을 변화시키는 센싱부로 나눌 수 있으며 그림 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다.

본 실험에서는 광원으로써 최대출력 7[mW]의 He-Ne laser (633[nm])와 최대 출력 32[mW]의 Laser Diode(1310[nm]) 두 종류의 광원으로 비교 실험한다.

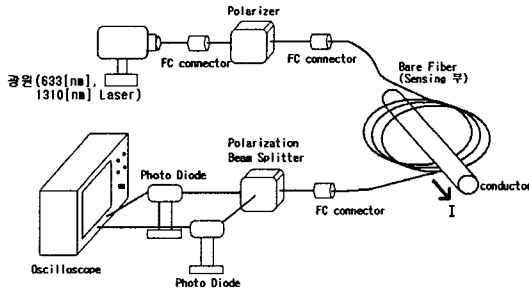


그림 2. 광CT 시스템 개략도

Laser에서 출사된 광이 Polarizer를 지나게 되고 이 선형편광된 광은 센싱부의 Single Mode Bare Fiber를 통과하게 되는데, 이 때 도체에 흐르는 전류에 의해서 자계가 인가되면 광의 편광면이 θ 만큼 회전하게 된다. 편광면의 회전량은 검광자인 PBS에 의해 두 개의 광으로 나뉘어 O/E변환기인 수광소자(Pin-Photo Detector)로 전달되며 이 전압을 여러 가지 방법으로 검출 가능한 적절한 크기로 증폭시켜 그 신호의 상대치를 측정함으로써 피측정전류의 크기를 측정할 수 있다.

3. 검토 및 계획

그림 3은 최대출력 25[mW]의 He-Ne laser(633[nm])광원을 이용한 광CT 실험에서 인가전류를 0~1000[A]까지 변화시켰을 때, 광 CT의 출력파형을 오실로스코프를 통해서 관측한 결과이며 0[A], 200[A], 400[A], 600[A], 800[A], 1000[A]의 전류를 인가했을 때의 출력을 나타낸 것이다.

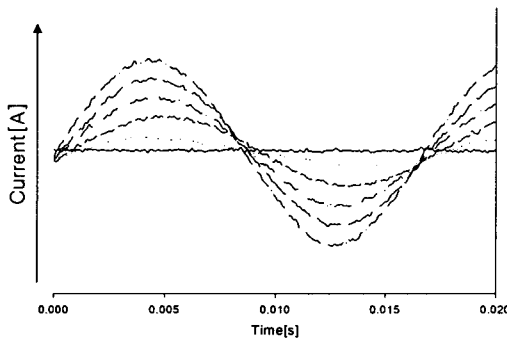


그림 3. 전류변화에 따른 광 CT 출력

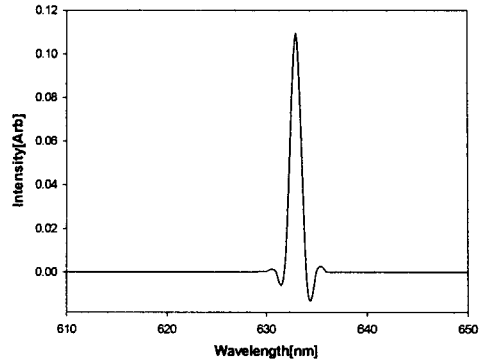


그림 4. He-Ne laser의 분광스펙트럼

그림 4는 실험에 사용된 laser의 분광스펙트럼을 나타낸 것이며, 그림 5는 0[A]에서 1000[A]까지의 reference 전류값과 광CT 출력파형과의 선형성 측정결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 인가된 전류가 점차 증가함에 따라서 출력도 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 그림 6은 1000[A]일 때의 광 CT 출력파형을 FFT(Fast Fourier Transform) 스펙트럼으로 표시한 것이며 교류성분의 60[Hz]의 신호만이 나타나는 것을 볼 수 있다.

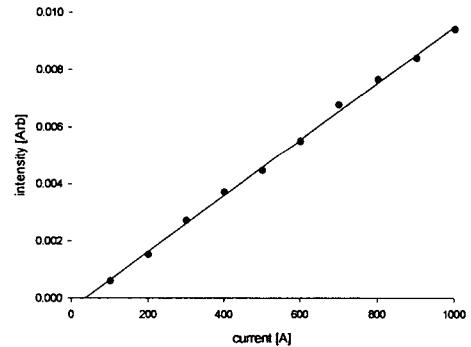


그림 5. 광섬유전류센서의 선형성 측정결과

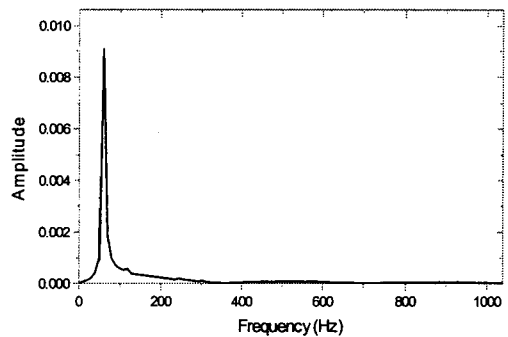


그림 6. FFT Spectrum

기존의 실험에 있어서 가장 큰 문제점으로 대두된 것은

광원 출력의 변동폭과 광의 이동 경로에서의 손실 및 대역의 환경에 대한 민감성 등이었다.

광의 손실 중 가장 많은 손실이 발생하는 광의 이동 경로에서 connect부, 광섬유 굴곡부의 수를 최대한 줄이는 것이 손실발생의 원인 제거를 위해 가장 필요한 것이라 생각된다. 이와 함께 기존의 실험에서 발생된 수광부의 신호처리 문제의 개선과 외부 및 내부에서 발생하는 노이즈 등의 문제점 등을 보완, 해결하는 것이 우선적으로 행해져야 할 것이다. 따라서 앞으로 행할 1310[nm]광원을 이용한 실험에서는 기존의 633[nm]광원을 이용한 실험결과와 비교·분석하여 광CT의 실용화에 필요한 기초를 다지고, 이러한 문제점 및 결과들을 바탕으로 광CT 실험에 있어서 최적의 조건을 찾는다면 광CT의 실용화에 상당한 기여를 할 것이라 생각된다.

본 연구(관리번호 00-역 02)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관과 (주)효성의 지원으로 수행되었음.

[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] 송민호, 양창순, 안성준, 박병석, 이병호, "과전류 보호계전기용 광섬유 전류센서", 비파괴검사학회지, Vol. 21, No. 5, October 2001
- [4] George I. Chandler and Franz C. Jahoda, "Current measurements by Faraday rotation in single mode optical fiber", Rev. Sci. Instrum. 56(5), May 1985
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] T. Sawa, et al., "Development Of Optial Instrument Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990
- [9] Y. Yamagata, "Development of Optical Transformers and Application to Fault Systems for Substations", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1990
- [10] Atsushi Okahara, "Development of Optical Current Transformer and Optical Potential Device for GIS", 高岳 レビュー-Vol 37 No. 3 AUGUST 1990
- [11] S. Kobayashi, et al., "Development And Field Test Evaluation Of Optical Current And Voltage Transformers For Gas Insulated Switchgear", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992
- [12] T. Fujimoto et al., "Development of an Optical Current Transformer for Adjustable Speed Pumped Storage System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997
- [13] K. Kawashima et al., "Development of an Optical Current Transformer for adjustable Speed Pumped Storage System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997
- [14] Masao Takahashi et al., "Optical Current Transformer for Gas Insulated Switchgear Using Silica Optical Fiber", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997