

Bulk Type Optical Sensor를 이용한 MV급 GIS의 전압·전류 측정

박정남, 이석원, 김영근, 이한신, 김영수*
 LG산전 전력연구소, LG산전 수배전설계팀, 초당대학교 전기전자공학과*

Measurements of Voltage & Current from MV Class GIS Using a Bulk Type Optical Sensor

J.N.Park, S.W.Lee, Y.G.Kim, H.S.Lee*, Y.S.Kim**
 LG Industrial System Electrotechnology R&D Center, LG Industrial System SWGR Design Team*
 Chodang University Electrical Engineering**

Abstract - Use of higher voltage and higher capacity of power systems and their equipment is leading to an increase in the size of the entire system. In order to reduce the cost of constructing a substation, it is necessary to reduce the size of equipment. So, this paper described optical sensor, which exploited the electric and magnetic potentiometer to sense the measured voltage and current of medium voltage GIS. It can be used both in measurement and in protection relays as its well linearity, rapid response, broad dynamic range, wide frequency band, no magnetic saturation, small in volume, light weight, and soft in insulation.

1. 서 론

계통의 전압의 상승과 측정 정밀도에 대한 요구가 증대됨에 따라 고전압, 대전류 측정기기에 대한 관심도 함께 고조되고 있다. 특히 전력기기에 사용되는 전류와 전압 측정기기는 이상신호와 사고 전류의 감지를 통하여 사고가 계통 전체에 퍼지는 것을 차단시키는 중요한 기능을 수행한다. 그러나 전력기기에 사용되는 전류, 전압 측정기들은 전력기기에 내장이 되므로 그 크기와 무게가 전력기기의 크기와 무게에 많은 영향을 미치게 된다. 종래에 사용되어지고 있는 CT(Current Transformer)와 PT(Potential Transformer)는 철심 코어와 권선으로 구성되어 있으므로 사용되는 전류와 전압의 크기와 비례하여 그 크기가 커지게 되고, 1차측과 2차측 사이를 절연해만 하므로 철심코어와 권선의 무게에 절연물의 무게까지 더해져 전체적으로 전력기기의 무게를 증가시키는 요인이 된다. 따라서 정밀도는 기존의 CT와 PT 이상의 성능을 갖고 부피와 무게가 작은 센서가 요구되었다. 이러한 단점 보완과 다양한 기능성 요구에 따라 현재에는 광을 이용한 고전압, 대전류 측정이 주목받고 있다. 광을 이용한 측정은 sensor 자체가 절연물로 구성되어 있고 소형이며 경량이라는 특징이 있다. 또한 비접촉 계측이므로 사고 발생시 이상신호가 sensor를 통하여 2차측으로 전달될 위험이 없다[1-3]. 그러나 GIS에 적용하는 대부분의 광센서에 대한 연구가 초고압 GIS에 대해서만 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 광을 사용하여 MV급 GIS에서 전류와 전압을 동시에 측정할 수 있는 optical sensor로써 Optical Combi Sensor를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 Optical Combi Sensor의 구조 및 원리

Optical Combi Sensor는 Fig.1에서 보이는 것과 같이 하나의 Sensor에 두 가지 기능을 구성한 것으로, 입사광은 PBS를 통과하면서 OCT와 OPT부분으로 나뉘어 지

고 각각의 전계와 자계의 영향을 받아 편광하게 된다.

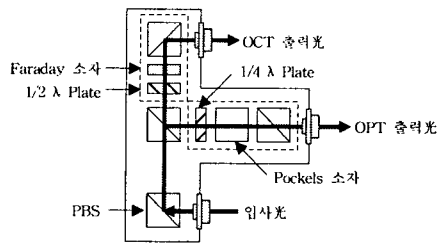


Fig. 1 Optical Combi Sensor의 구조

2.1.1 OCT 원리

OCT(Optical CT)는 전류에 의해 발생되어지는 자계의 영향을 받아 입사된 광이 Faraday Cell에서 편광을 하게 되는 Faraday 효과를 이용한 것이다[1-3]. 무편광 특성을 가진 입사광은 OCT로 입사 될 때 PBS (Polarized Beam Splitter)를 통과하면서 수직방향으로만 진동하게 된다. 그러나 1/2λ plate를 통과하면서 45° 회전하게 되고, Faraday Cell을 통과하면서 자계의 영향으로 회전각의 크기가 변화하게 된다. 회전각을 측정하여 그것에 비례하는 전류의 크기를 계산해 내는 것이 OCT 측정의 기본 원리이다. 이 실험에서는 Faraday Cell로써 RIG(Rare Iron Garnet)를 사용하였다[4].

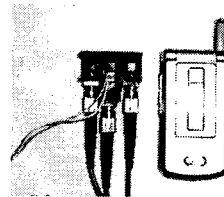


Fig. 2 Optical Combi Sensor의 사진

2.1.2 OPT 원리

OPT는 인가되어지는 전계에 따라 재료의 특성인 굴절률이 변화하는 Pockel's Cell의 특징을 이용한 것으로 PBS를 통과하면서 수평방향으로만 진동하는 광이 1/4λ plate를 통과하면서 원편광이 되고 Pockel's Cell을 통과하면서 인가되어진 전계에 비례하여 발생하는 위상차이로 인하여 타원 편광이 된다. 이때 타원 편광의 크기를 측정하면 전계의 크기를 알 수 있다[1-3]. 이 실험에서는 Pockel's Cell로 BSO를 사용하였다.

2.1.3 광신호처리회로 설계 및 제작

Optical Sensor에 광신호를 주고 OCT와 OPT의 결과로 출력되는 광으로부터 전류와 전압의 크기를 알아내기 위해서는 광신호처리회로가 필요하다. 다음의 Fig. 3에서

광신호 신호처리회로를 나타내었다.

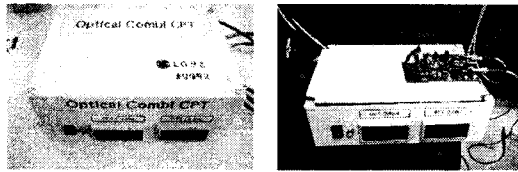


Fig. 3 Optical Combi Sensor의 광신호처리회로

Optical Combi Sensor의 광신호처리회로는 크게 발광부와 OCT 수광부, OPT 수광부로 나뉘어진다. 발광부에서는 전기신호를 제어하여 LD(Laser Diode)를 구동시켜 전기신호를 광신호로 변환시키는 역할을 하며, OCT와 OPT의 수광부에서는 OCT와 OPT의 출력 신호를 PD(Photo Diode)를 통하여 입력 받아 전기신호로 변환시키는 역할을 한다. 광원으로 사용된 LD는 850nm의 파장대를 갖고 1mW의 출력을 갖는다.

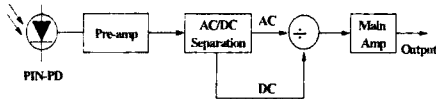


Fig. 4 PD를 이용한 신호처리 방법

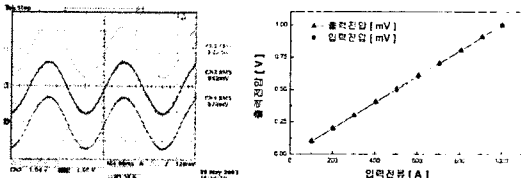
Fig. 4에서는 PD를 이용한 신호처리 방법을 나타내었다. 광신호가 가지는 기본적인 직류 성분과 전류와 전압에 의하여 변조되는 교류 성분을 분리하여 나누어주는 방법을 이용한 것이다.

2.2 Optical Combi Sensor의 기본 성능 Test

MV급 GIS의 전류와 전압을 측정하기 위해서는 OCT와 OPT의 선형성이 중요하다. 따라서 도체위에 전류를 흘려 OCT의 선형성을 test하였으며, Pockel's Cell의 양단에 전압을 인가하여 OPT의 선형성을 test 하였다.

2.2.1 OCT 선형성 Test 결과

OCT를 도체위에 올려놓고 전류를 인가한 결과 다음의 Fig. 5 과 같은 결과의 그래프를 나타내었다. 전류원은 표준 CT를 사용하여 제어 기기에서 직접 전류의 크기가 제어된다. 입출력 비율은 1000A/1V 이다. Fig.5 (a)는 3개의 Optical Combi Sensor에 대하여 1000A 인가시의 출력 파형을 나타내었고, (b)는 1번 OCT의 인가전압에 따른 출력 선형성을 나타낸 것이다. 100A~1000A까지 측정 하였을 때 오차는 평균 0.73%를 나타내었다.

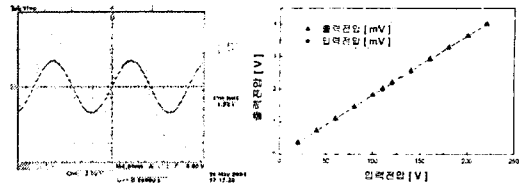


(a) OCT 출력 파형 (b) OCT 출력 결과의 선형성 Test
Fig. 5 Optical CT 선형성 Test

2.2.2 OPT 선형성 Test 결과

OPT는 Pockel's Cell의 양단에 직접 전압을 입력하여 출력 결과를 측정하였다. Pockel's Cell의 양단에는 ITO Glass가 코팅되어 있으므로 Pockel's Cell 양단에 인가되는 전압은 ITO Glass에 의해 Cell 전체에 균일한 전계를 발생시키게 된다. 전압원으로는 Yokogawa Current Voltage Standard를 이용하였고, 입력 전압과 출력 전압의 크기는 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 그 결

과는 다음의 Fig. 6과 같이 나타났다. 이때 입출력 비율은 100V/2V 이다. 20V~220V까지 측정 하였을 때 그 결과 오차는 평균 0.54%를 나타내었다.



(a) OPT 출력 파형 (b) OPT 출력 결과의 선형성 Test
Fig. 6 Optical PT 선형성 Test

2.3 Optical Combi Sensor의 MV급 GIS 적용

Optical Combi Sensor는 MV급 GIS에서 사용되고 있는 기존의 철심형 CT와 PT를 대체하기 위하여 연구되었다. 따라서 MV급 GIS에 적용하였을 경우에 대하여 실험하였다.

2.3.1 OCT Test 결과

OCT는 24kV 2000A C-GIS에 설치하여 sensor의 출력을 확인하였다. C-GIS의 하단의 부싱 위에 Fig. 7와 같이 sensor를 설치(1번 OCT-R상, 2번 OCT-S상, 3번 OCT-T상)하고 출력을 확인하였다. 전류원으로는 3상 허부하 시험기를 이용하였고 시험 결과는 다음의 Fig. 8과 같다.

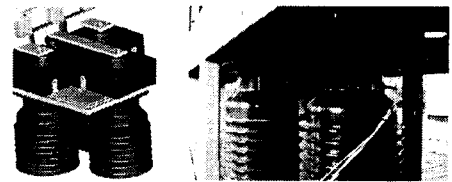
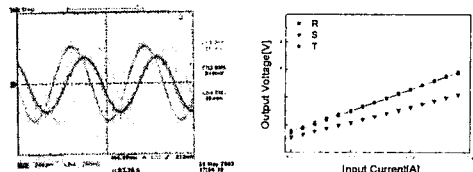


Fig. 7 Optical Combi Sensor C-GIS에 설치 사진



(a) 1000A 인가 시 출력 파형 (b) 입력 전류에 따른 출력 결과
Fig. 8 Optical CT 출력 결과

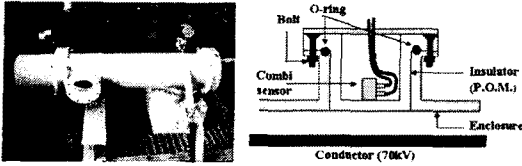
측정결과 허부하 시험기의 전류 출력이 S상의 크기(2번 OCT 출력)가 다른 상의 크기보다 작게 나타났기 때문에 C-GIS로 입력되어지는 S상의 전류가 작았다. 그러나 3상 모두 입력 전류가 증가할수록 일정한 비율로 출력 전압이 증가했다.

2.3.2 OPT Test 결과

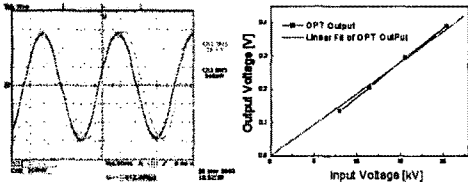
OPT는 70kV 단상형 GIS 시험용 모델에 설치하여 sensor의 출력을 확인하였다. 그러나 GIS에 설치할 경우 OPT는 전계에 의하여 검출이 되므로 sensor의 위치가 외함 내부에 있어야만 한다. 그러나 GIS는 SF6 gas로 절연을 하므로 센서를 내부에 설치할 경우 gas 기밀을 유지할 수 있게 하는 특수 connector나 기밀 방법이 필요하다. 따라서 GIS 외함에 관측창을 설치하여 GIS의 기밀을 유지함과 동시에 sensor를 외함 내부에 위치시켰다. Fig. 9에서 설치 방법에 대하여 나타내었다.

70kV GIS에 관측창을 이용하여 설치한 결과 인가 전압에 따른 출력 결과가 Fig. 10과 같이 나타났다. 그 결

과 인가 전압에 따라 출력 전압이 증가하는 선형적인 특성을 나타냈지만, 인가 전압과 출력 전압과의 사이에 위상차이가 나타났다. 이는 관측창의 기밀유지와 전계 검출을 위하여 설치한 절연물에 의하여 위상이 지연되기 때문으로 여겨진다.



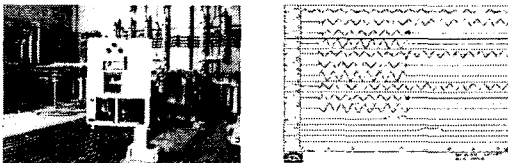
(a) 70kV 단상형 GIS (b) 관측창을 이용한 설치도
Fig.9 Optical PT의 설치



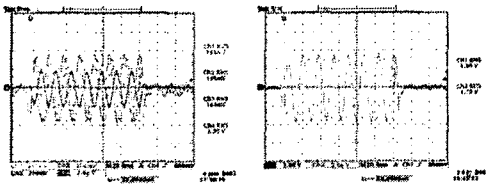
(a) 20kV 인가 시 출력 파형 (b) 입력 전압에 따른 출력
Fig. 10 Optical PT 출력 결과

2.3.3 합성 시험 결과

OCT와 OPT의 출력 특성을 동시에 확인하기 위하여 24kV 2000A C-GIS의 하단 부싱위에 Optical Combi Sensor를 설치하고 전류와 전압을 동시에 인가하는 합성 시험을 실시하였다. 다음의 Fig. 11은 시험 설비와 입력 파형을 나타내고 있다.



(a) C-GIS 합성 시험 사진 (b) 인가 전류·전압 파형
Fig. 11 Optical Combi Sensor 합성시험



(a) OCT 출력 파형 (b) OPT 출력 파형
Fig. 12 Optical Combi Sensor 합성시험 결과 파형 (24kV 2000A 인가 시)

합성 시험 결과 OCT와 OPT의 출력은 다음의 Fig. 12와 같이 나타났다. 인가 전압과 전류와 동일한 양상을 띄며 출력 그래프가 나타났다.

2.4 보호계전기용 광신호처리회로

MV급 GIS는 GIS의 계통에서의 상태를 나타내는 Digital 보호계전기가 설치되어 있고 종래의 CT와 PT의 신호는 Digital 보호계전기로 입력되어 사용자에게 현재의 상태를 나타낸다. 따라서 Optical Sensor도 Digital 보호계전기에 광신호처리부를 설치하여야 한다. Fig. 13에서 보호계전기용 광신호처리회로를 나타내었다.

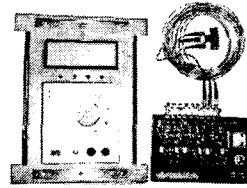


Fig. 13 보호계전기용 광신호처리회로

광신호처리부는 보호계전기에서 구동 전원을 입력 받고, 정격 상태일 때 전류 150mV, 전압 4V를 출력한다. 그러나 출력 신호가 매우 작기 때문에 우수한 성능의 noise filter와 AMP가 필요하다.

3. 결 론

MV급 GIS의 전압·전류를 측정하기 위한 Optical Combi Sensor와 광신호처리회로부를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1] Optical Combi Sensor는 소형경량의 sensor이므로 설치가 간편하며, 이를 이용하여 전력기기의 사이즈 축소화가 가능할 수 있게 되었다.
- [2] RIG를 이용한 Optical CT는 출력의 선형성 및 정밀도가 매우 우수하므로 Optical CT 단독으로도 사용이 가능하다.
- [3] BSO를 이용한 Optical PT는 출력의 선형성 및 정밀도는 높으나 관측창을 비롯한 절연물 위에 설치할 경우 위상 오차 문제가 발생하게 된다.
- [4] 광신호처리회로부는 Digital 보호계전기에 삽입이 가능하고, LD와 PD등의 수광부와 발광부는 전자파에 영향을 받지 않으므로 보호계전기의 noise 시험에는 영향을 받지 않지만 출력 신호가 매우 작으므로 고성능의 noise filter 및 Amp가 필요하다.

이상의 연구 결과 광학 소자를 이용하여 Optical Combi Sensor와 광신호처리회로부를 구성할 수 있었다. 그러나 기존의 CT·PT와는 다른 구성으로 몇 가지 장점이 있지만 광학소자를 사용하기 위하여 필요한 몇 가지 사항에서 개선이 필요하다. 특히 Optical PT의 위상 오차와 Digital 보호계전기용 광신호처리회로의 고성능 noise filter와 Amp에 대한 연구가 필요하다. 이상의 문제를 해결한다면 Optical Combi Sensor는 MV급 GIS에서 기존의 CT·PT를 대체할 수 있는 우수한 성능의 sensor가 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. N. Ning, Z. P. Wang A. W. Palmer, and K. T. V. Grattan, "Recent progress in optical current sensing techniques," Rev. Sci. Instrum., Vol.66, No.5, May 1995.
- [2] Detlef Gloge, "Optical Fiber Sensor Technology", IEEE Press, 1975.
- [3] C. K. Kao, "Optical Fiber Sensor Technology II", IEEE Press, 1981.
- [4] K. B. Rochford, A. H. Rose, G. W. Day, "Magneto Optic Sensors Based on Iron Garnets," IEEE Trans. on Magnetics, Vol.32, No.5, Sept. 1996.