

## GIS용 광PT의 전기적 특성에 관한 연구

이수웅<sup>1</sup>, 이성갑<sup>1</sup>, 박상만<sup>2</sup>, 우형관<sup>3</sup>, 원우식<sup>3</sup>, 안병립<sup>3</sup>  
 경상대학교 세라믹공학과<sup>1</sup>, 경상대학교 I-Cube 사업단<sup>2</sup>, [주]엔텍월드<sup>3</sup>

### A Study on the Electrical Propertis of Optical Potential Transformer for GIS

Su-Woong Lee<sup>1</sup>, Sung-Gap Lee<sup>1</sup>, Sang-Man Park<sup>2</sup>, Hyeong-Gwan Wu<sup>3</sup>, Woo-Sik Won<sup>3</sup>, Byeong-Rip Ahn<sup>3</sup>  
 GyeongSang National University<sup>1</sup>, I-Cube Agency GNU<sup>2</sup>, Entech World.Inc<sup>3</sup>

**Abstract** - In this paper, a Optical Voltage Transformer has been designed and fabricated to improve temperature stability caused by materials properties and insulation in measuring system, using single crystal Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> as Pockels effect cells for Gas Insulated Switchgear[GIS] System. LD[wavelength: 850nm] was used as optical source, InGaAs as optical detector to measure optical power, Polarizing Beam Splitter as Polarizer and Analyzer, and Multi-mode Optical-fiber[62.5/125μm] as Light transmission line. OPT was assembled in order to pockels effect, and adopted direct electric field type. The linearity of OPT maintains variation for applied voltage range from 100V - 3000V during the test of electric property, As the temperature was changed from 25℃ to 60℃. the result of this study shows that characteristics of OPT are good, and it can be reflected for practical optical sensors in GIS system.

#### 1. 서 론

최근 경제성장과 생활수준의 향상으로 인한 전력수요는 매년 급격히 늘고 있으며, 이로 인한 전력 수요를 충족시키기 위하여 전력 계통 및 설비들의 공급 전압을 초고압으로 승압하고 있다. 설비규모도 계속 대형화로 되는 것이 현재의 추세인데, 이러한 배경으로 인해 전력 설비에 대한 절연 특성을 가지면서 경제적인 전력 설비, 외형 규모의 소형화를 위하여 선진국을 비롯하여 국내에서도 연구소 및 대학을 중심으로 전력용 소자의 소형화를 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.

GIS(Gas Insulated Switchgear) 분야에 있어서 기존의 공기절연으로는 소형화가 불가피 하기에 절연특성 및 아크소호에 매우 우수한 SF6를 절연체로 하는 가스절연개폐장치가 1968년 독일 베를린과 쾰른 전력회사에서 실용화 되었으며 일본, 러시아등지에서 실제로 운전되기 시작했다. 국내에도 765kV급 승압 및 송전 시스템에 대비하여 800kV급 GIS를 개발하였으며 당진 TP S/S, 신서산 S/S, 신안성 S/S에서 운영중이다. 특히 이와 같은 GIS의 사고예방 및 안정된 운영을 위해서는 실시간 전류, 전압 및 부분 방전을 진단하는 각종 파라미터의 측정 및 진단이 반드시 필요하다. 또한 전력의 배전 품질을 향상시키기 위해서는 선로 사고 진단 및 자동화를 비롯하여, 디지털 추세를 반영해 센서로 측정된 전류, 전압, 온도, 아크등의 기타 정보를 데이터베이스화한 각종 정보를 분석할 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다.

기존의 전압측정에 쓰인 권선형 변성기[Potential Transformer: PT]는 전자유도의 원리를 사용하였다. PT는 철심과 권선의 구조이며 정밀도가 좋으나 소형화가 쉽지 않다는 단점이, 마그네틱 코어의 자기포화 및 써지, 노이즈에 대한 문제점이 있다. [1]

이러한 문제점을 해결하기 위해 전기광학효과를 가지는 포켈스 소자를 이용한 광변압기[Optical Potential Transformer: OPT]가 제안 되었다. 현재 일부 선진 국가에서는 제품개발을 상용화하여 제한적으로 판매하고 있다. 다양한 사양의 광PT제품이 판매되고 있으며, 프랑스의 알스톰사의 Capacitive EVT방식의 제품은 0.1~10kV까지 측정가능하며, 일본의 히타치사의 분압을 통한 포켈스 소자에 직접 전압 인가 방식은 현재 1000kV급까지 현장 검증이 되었으며, 도시바와 미쓰비시사의 합작회사인 TMT&D사의 광PT는 소자의 온도에 대한 영향을 연구하여 제품화를 시도하고 있다. 그리고 캐나다의 넥스트페이스사의 GIS 광센서 모듈은 시험운전을 마치고 상용화 되어 230kV의 복합 광전류 및 광전압 센서가 실제로 제품으로 팔리고 있다. [2]

국내에는 전기연구원, 전력연구원, 효성중공업, 일진전기등의 업체와 한양대, 카이스트, 전북대, 청주대등의 학내 연구기관에서 개발되고 있고, 최근에 들어서 온도의존성이 좋으며, 실제 1년간

현장시험 테스트 결과가 측정오차 3%이내로서 현장 적용 가능한 연구결과를 얻고 있기 때문에 앞으로 여러 산학 연구기관의 협력을 통해서 광PT및 광센서모듈의 상용화를 기대할 수 있을 것이다. [3,4]

#### 2. 본 론

##### 2.1 전기광학효과

전계에 의해 야기되는 물질의 광학적 복굴절현상을 일컫는 전기 광학효과[Electro-Optic effect]는 1875년 발견된 케르효과[Kerr effect]와 1891년에 발견된 포켈스효과[Pockels effect]로 나눌 수 있으며, 이들은 일반적으로 광학 셔터, 광학조절기에 사용된다.

정전압 센서는 결정내에 전계를 가할 때 생기는 전기광학효과와 원리를 이용한다. 1차전기광학효과는 포켈스효과, 2차전기광학효과는 케르 효과라고 불리며, 굴절률 n<sub>0</sub>를 갖고 있는 결정에 전계 E가 가해질 때, 이 때의 굴절률 n는 아래의 식과 같이 쓸 수 있다.

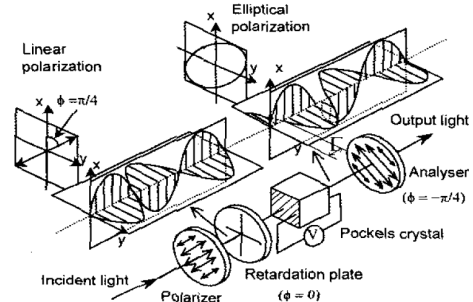
$$(n^2)^{-1} = (n_o^2)^{-1} + \gamma_p E + BE^2 \dots$$

[n<sub>0</sub>는 재료의 반사계수, r<sub>p</sub>는 포켈스 상수, B는 케르 상수]

전기광학효과에 의해 결정을 통과하는 광파는 결정을 통과하여 서로 수직인 두 편광 방향사이의 굴절차로 인해, 복굴절이 발생하며, 이 때 발생하는 포켈스효과는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta n = a n_0^3 \gamma_{xy} E$$

여기서 a는 전계방향과 빛의 진행방향에 결정되는 상수이고, Γ는 각각의 결정들에 대한 전광계수의 값이다. [5]



<그림 1> 전기광학효과의 원리

##### 2.2 광PT용 포켈스 소자

광학 결정이 전계내에서 굴절률 및 방위각의 변화에 의해 생긴 편광현상을 전기광학효과<그림 1>라 한다. 전계의 세기에 선형적으로 비례하는 현상을 포켈스 효과라 하며, 이와 같은 전기 광학효과는 광축에 나란한 종형과 수직인 횡형으로 나뉜다.

종형은 광축의 양단면에, 횡형은 수직인 양단면에 전압을 가하여 전압 및 전계를 측정할 수 있는데 일반적으로 2차 전기광학효과는 선형 전기광학효과가 존재할 때는 무시하게 된다. 따라서 광전압 센서의 기본 원리는 포켈스 효과가 주로 이용 된다.

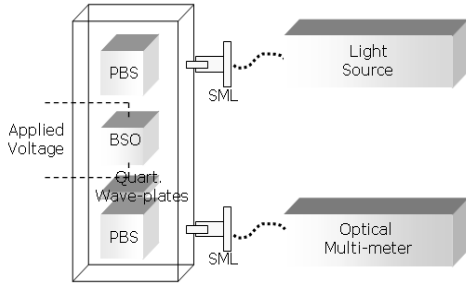
포켈스 효과는 반전대칭 결정구조[Inversion Symmetry]가 아닌 물질에서 관찰되는데, BSO의 경우 상자기성구조라서 강자기 성매질보다 감도는 낮지만, 고전압에서의 온도안정성 및 자기포화에 대해 좋은 특성을 가지고 있다. <표 1>은 다양한 포켈스 효과를 나타내는 결정을 나타내었다. 반파장전압은 물질 고유의 값으로서 주어진 광원의 파장, 굴절률, 결정구조에 의존한다. [6]

〈표 1〉 포켈스 소자의 비유전율과 반파장전압

Pockels cells.	Relative dielectric const.	Half-wave voltage.[kV]
Quartz	4	450
ZnS, ZnTe	7-10	4-10
Bi4Ge3O12	16	31
Bi12SiO20	50-60	4-8
KDP, ADP	$e_z \parallel 20, e_z \perp 50$	10
LiNbO3	$e_z \parallel 50, e_z \perp 100$	3-8

[ z는 광축, 반파장 전압은 632.8 nm에서 측정 ]

2.3 실험 방법

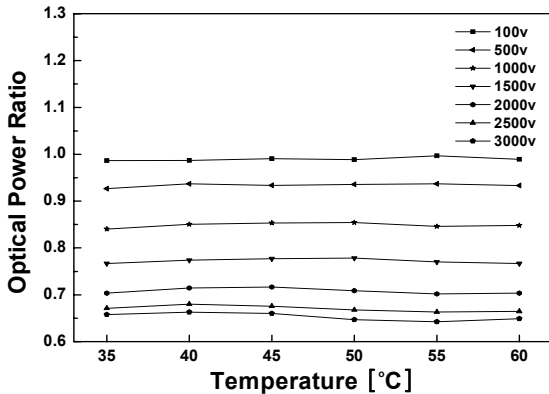


〈그림 2〉 광PT의 구성도

광PT의 구성은 크게 광센서 모듈과 신호처리부로 나눌 수 있다. 광센서 모듈은 편광자, 검광자, 포켈스 소자, 및 λ/4 파장판으로 구성 되어 있고, 신호처리부는 발광부와 검출부로 나뉜다. 〈그림 2〉

발광부는 레이저 다이오드[Laser Diode]를 사용 하였고, 검출부는 광 멀티미터를 사용하여 광출력을 측정하였다. 우선 발광부에서 나온 빛을 멀티모드 광파이버로 전송되고 테일에 달려 있는 마이크로 집광렌즈 [Micro Collimator Lens]에서 집광되어 광센서 모듈에 부착된 편광자를 통해 포켈스 소자를 거쳐서 검광자로 들어온 빛을 검출부의 포토다이오드[Photodiode]가 전계에 의해 변조된 빛을 전기적인 출력으로 변환하고 이를 광멀티미터로서 측정하게 된다. 포켈스 소자에 가해진 전계의 선형적인 변화에 따라서 입력전압을 신호처리로써 측정할 수 있으며, 포켈스 소자에 고전압을 가할 경우에는 정전분압을 하여 측정한다.

2.4 실험 결과



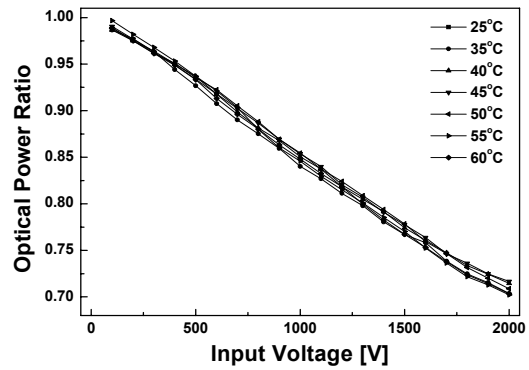
〈그림 3〉 역방향의 출력광량의 온도 의존성

이번 연구에서는 광섬유보다 정확도면에서 나은 BSO결정을 사용하여, 온도에 의한 영향을 줄이고자 하였다. 〈그림 3〉은 온도별로 인가된 전압에 따른 광량의 특성을 나타낸 것으로, 고른 출력양상을 보여주고 있으며 온도 보상을 해 줄 경우 보다 우수한 특성을 나타낼 것으로 기대된다. 〈그림 4〉는 인가전압에 따른 광출력량의 비율을 나타낸 것이며, 각각의 온도 환경내에서, 역방향으로 전압인가시의 비교적 양호한 선형성을 보여준다.

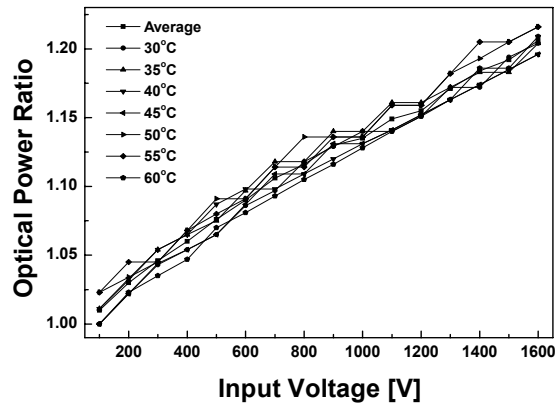
〈그림 5〉는 광멀티미터의 분해능으로 인해 그래프가 Stepsize로 증가하는 경향을 보였으나, 전반적으로 온도가 고온일수록, 인가전압이 높을 수록 데이터의 선형성이 감소하였다.

그리고 광출력의 변동 정도는 온도에 의해서 영향을 받았으며, 이는 열팽창 계수에 의한 결정의 선광성과 광학효과에 온도와 관련된 보상효과에 기인한 것으로 추측된다. 전압인가시에 교류와 정방향에서는 역방향보다 낮은 전압에서 short현상이 발생했으며, 이 때 전압의 short에 의해 광량의 변동 및 측정오차가 생겼다. 직류전압의 역방향에서는 고른

선형적인 특성을 보여주었으며, 교류에서의 적용시 역방향 성분의 신호 처리 및 필터링을 이용한다면 정밀도 향상에 도움이 될 것이다.



〈그림 4〉 역방향 전압인가시 출력광량의 특성



〈그림 5〉 정방향 전압인가시 출력광량의 특성

3. 결 론

본 연구는 광PT에 포켈스 소자인 BSO단결정을 사용하여 직접 전압 인가 방식을 적용하였으며, 직류전압으로 광축에 정방향과 역방향으로 전압을 인가하여, 인가 전압에 따른 광출력을 관찰 하였다. 이에 대한 결과로는 선형성은 확보가 되었으나, 시스템 구성에 있어서의 측정 오차가 생겼고, 측정시에 발생하는 문제점은 기존의 연구결과와 비슷한 문제점을 가지고 있는데, 내부전반사현상[Multiple Internal Reflections]에 의한 정확도 감소, 복굴절에 의한 절대측정 오차, 가장 중요한 결정의 온도의 의존성에 의한 출력의 불안정성이 있다. 이를 해소하기 위해서 신호처리시스템, 단결정의 공정 등 다양한 관점에서 분석되어야 광PT 시스템의 상용화가 가능할 것이다.

[감사의 글]

This works were supported by (R-2005-7-324) of the development of Optical CTS & VTS from ETEP [Electric Power Industry Technology Evaluation & Planning].

[참고 문헌]

- [1] T.Sawa, T.Kaminishi의 2명, "Development of Optical Instrument Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No.2, pp.884-890, 1990.
- [2] 구자운,장용무, "전력설비 IT화를 위한 광센서 기술동향", 전기의세계, vol.53, no.4, pp.44-51, 2004.
- [3] 송원표의 3명, "가스절연개폐장치용 광학 CT/PT의 기술 동향", 조명-전기기술학회지, vol.16, no.3, pp.62-74, 2002.
- [4] T.Kaneko의 7명, "Development of High Voltage Harmonic Measuring Instruments for Distribution Systems Using Optical Voltage Sensor and Current Sensor", Electrical Engineering in Japan, vol.128, no.4, 1999.
- [5] 이정식, "결정형 광전압/전류센서의 고안정성을 위한 고찰", 제8회 광학 및 양자전자학 워크샵 논문집, pp.103-108, 1991.
- [6] 김요희의 5명, "배전자동화 개폐기 내장형 광 전류 및 광 전압 센서에 관한 연구", 한국해양정보통신학회논문지, vol.6, no.1, pp.89-98, 2002.