

배전자동화 개폐기에서 광전압센서에 관한 연구

오상기^{*} · 김요희^{*} · 서승현^{**} · 이희철^{**} · 양승국^{***}

한국전기연구소^{*} · 일진전기공업(주)^{**} · 한국해양대학교^{***}

A study of Fiber-Optic Voltage Sensor in a distribution automated switch
Sang-ki Oh^{*} · Yo-hee Kim^{*} · Sung-hyun Seo^{**} · Hee-cheol Lee^{**} · Sung-kuk Yang^{***}

^{*}Korea Electrotechnology Research Institute · ^{**}Iljin Electric Co. Ltd · ^{***}Korea Maritime University

E-mail : opticalgyro@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 전계의 변화에 의한 굴절률의 변화에 따라 편광 상태가 달라지는 포켈스 소자인 BSO(Bi₁₂SiO₂₀)에 균등한 전계를 가하기 위해서 보조 전극을 이용한 공간분압방식을 채용하여 절연 신뢰도가 향상된 광전압 센서 모듈을 설계 제작하였다. 또한 항온조를 이용하여 온도 변화에 따른 광전압센서의 출력특성을 측정하였으며, 광전압센서를 배전자동화 개폐기에 설치하여 60Hz의 교류전압을 6.6kV에서 17.8kV 까지 인가하여 측정한 결과 오차특성이 우수한 결과를 얻을 수 있다.

ABSTRACT

This study is about the design and fabrication of optical voltage sensor modules improved in the insulation reliability, where we adopted the space-division voltage system using the auxiliary electrodes to apply the uniform electric fields to the BSO, the device of which the polarization state varies with the variation of refractive index in the electric fields. We measured the output of Fiber-Optic Voltage Sensors with the temperature changes in the thermostatic oven. And we measured the output of Fiber-Optic Voltage Sensors after setting its up in the distribution automated switch being apply 60Hz alternating voltage from 6.6kV to 17.8kV. In result, measured error characteristic is good, so we can judge it is applicable to the practical case

1. 서 론

배전계통의 감시 제어 및 보호 기능을 고도화 하기 위해서는 현재 변전소에서 행하고 있는 상시 및 사고시의 전압 및 전류 계측을 배전선로의 전압전류를 수집하는 배전 자동화 시스템의 구축이 필요하다. 그러나 선로에 있어서 고신뢰도 및 고정도의 전력량을 계측하기 위해서 내후성 및 내잡음성, 장치의 소형화, 무보수 및 무점검 등과 같은 사항이 요구되는데, 종래의 전기적 계측방식의 적용으로는 해결하기 어려운 실정이다. 이상과 같은 제반 요구조건을 만족하는 계측방식을 위하여 광용 계측을 이용함으로써 배전자동화 개폐의 절연 신뢰도를 확보 할 수 있으며, 상시 및 사고시의 배전계통의 전압을 측정하기 위해서는 고신뢰도의 광계측 시스템의 특성이 필요하다.

II. 배전자동화용 광전압 센서의 원리

광전압 센서의 계측원리는 그림 2.1에 나타난 것

과 같이 광파이버에서 입사된 광은 랜덤한 편광 상태로 편광자를 통과하면 x, y 방향에 대해서 각각 45° 방향의 직각 성분만을 가지는 직선 편광이 된다. 이렇게 직선 편광된 광은 x, y 방향에 대한 전계 성분을 E_x, E_y라 하면 1/4 파장판을 통과한 광은 90°의 광학적 위상차가 발생하게 된다. 따라서 광에 대한 전계 벡터의 선단 궤적은 원궤도가 되는데 이것을 원편광이라 하며 식 (2.1)와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 전기광학소자인 BSO에 전압이 인가되면 인가전압에 비례해서 x, y 방향의 굴절률이 변화하기 때문에 원편광된 광이 통과하면 광학적 위상차는 식 (2.2)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} E_x &= A' \sin \omega t \\ E_y &= A' \sin (\omega t - 90^\circ) = A \cos \omega t \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} E_x &= A'' \sin (\omega t + \Delta) \\ E_y &= A'' \cos (\omega t + \Delta) \end{aligned} \quad (2.2)$$

일반적으로 전기백터의 선단 궤적은 타원으로 BSO($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)의 인가전압의 정·부에 따라서 타원 방향이 변화한다.

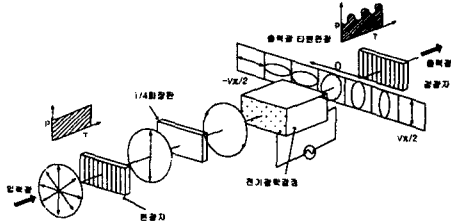


그림 2.1 광전압 센서의 원리도

검광자는 편광자와 동일하게 특정방향의 전계를 갖는 광만을 통과시키는 소자로서 BSO에 가해진 전압에 따라서 센서부를 통과하는 광의 강도를 변화시킨다. 이와 같이 BSO는 단결정으로 전기광학효과와 선광성을 가지고 있다. 광전압 센서의 경우 기본성능에 미치는 선광성의 영향은 비교적 작아서 무시해도 충분히 실용적인 값을 얻을 수 있기 때문에 센서의 기본동작을 해석할 때에는 선광성은 고려하지 않는 것이 일반적이다.

III. 배전자동화용 광전압센서의 설계 및 제작

배전자동화 개폐기에서 전압을 계측하기 위한 광전압 센서는 단결정 및 광원의 경우에 온도의 안정성, Pockels 정수 및 선형성 등을 고려하였다. 이러한 각종 광학소자의 특성 및 현장 적용성을 검토한 결과 배전용 광전압센서는 표3.1와 같이 설계하였다.

그림 3.1은 BSO를 사용한 광전압 센서의 기본 구성도로서 편광자, 1/4 파장판, BSO, 검광자로 구성된다. 그리고 BSO의 양단에 산화 인듐의 투명 전극을 붙여 전압을 인가함으로써 광의 진행방향과 BSO에 가해지는 전계의 방향이 일치하는 종형 구성으로 설계한다. 그리고 광전압 센서의 Pockels 소자에 균등 전계를 가하는 방식은 일반적으로 직접 전압을 인가하는 콘덴서 분압 방식과 공간 전계를 이용하는 전계 검출방식이 있다. 본 연구에서는 개폐기 내부의 공간이 협소하기 때문에 전압을 직접 인가하지 않고 공간 전계를 이용하는 방식을 채택하여 개폐기의 절연 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 구성하였다. 그리고 개폐기 내부에는 도체의 전압에 의해 강한 전계(100 kV/m 이상)가 형성되어 있기 때문에 BSO 단결정의 양단면에 전극을 설치하면 평행 전극 사이에 전압이 유지되기 때문에 전기광학효과를 이용한 광전압 계측이 가능하다.

본 연구에서는 개폐기 내부의 공간이 협소하기 때문에 전압을 직접 인가하지 않고 공간 전계를 이용하는 방식을 채택하여 개폐기의 절연 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 구성하였다. 그리고 개폐기 내부에는 도체의 전압에 의해 강한 전계(100

kV/m 이상)가 형성되어 있기 때문에 BSO 단결정의 양단면에 전극을 설치하면 평행 전극 사이에 전압이 유지되기 때문에 전기광학효과를 이용한 광전압 계측이 가능하다.

표 3.1 배전용 광 PT의 설계 규격

항 목	내 용	비 고
정격 전류	600Arms	실효치
전압 측정 범위	6.6~19.8kV	정격:13.2kV
분압 방식	공간 분압 방식	고절연
측정 오차 범위	±3% 이내	계측용
광학 소자	BSO(ITO 전극)	보조전극
발광 소자	LED(SC 커넥터)	파장:0.83 μ m
수광 소자	PIN-PD(SC 커넥터)	
광전송로	GI-MM(100/140 μ m)	NA:0.29
주파수 특성	30~3kHz(3dB 이내)	
센서 온도 특성	±2% 이내	-20~60 $^{\circ}$ C
출력 특성	4V/13.2kV	
광 커넥터	FC Type	
고압측 설치	광전압 센서	
소요 전원	±15Vdc, 1A	50 $^{\circ}$ C 기준
사용 온도	-20~60 $^{\circ}$ C	
개폐기 접속방법	멀티 채널 광커넥터	가스 기밀용

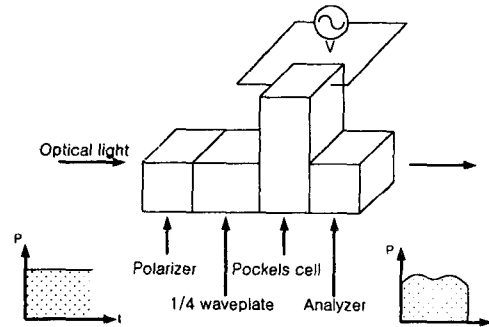


그림 3.1 BSO 광전압 센서의 기본 구성

그림 3.2은 광전압 센서의 구성도로서 편광자와 검광자는 크기가 5×5×5mm인 Polarizing Beam Splitter를 사용하였다. 그리고 전압계측을 위한 전기광학소자는 광로장×가로×세로가 4.70×5.08×7.03mm인 BSO를 선정하여 양단면에 ITO 투명 전극을 입혀 결정격자에 균등 전계가 가해질 수 있도록 설계하였으며, 개폐기 내부에는 공간이 협소하기 때문에 3상 도체의 주위에는 강한 등전위가 형성되어 있기 때문에 적당한 위치에 보조 전극을 설치하면 전압이 유지 되는 현상을 이용하여 BSO의 ITO 전극에 전압을 인가하는 방식으로 설계 제작하여 그림 3.2과 그림 3.3에 나타내었으며 그림 3.4는 실제 배전자동화 개폐기 설치된 그림이다.

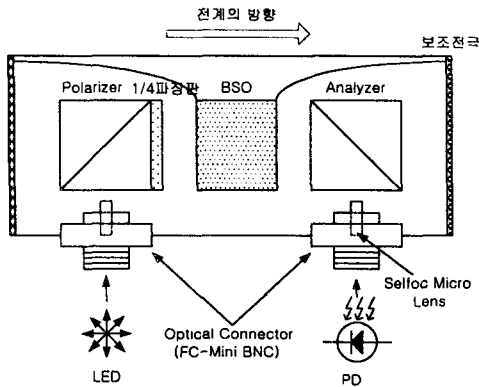


그림 3.2 광전압 센서의 실제 구성도

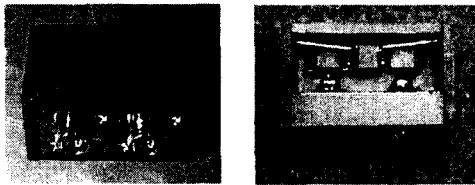


그림 3.3 설계 제작한 광전압 센서의 사진

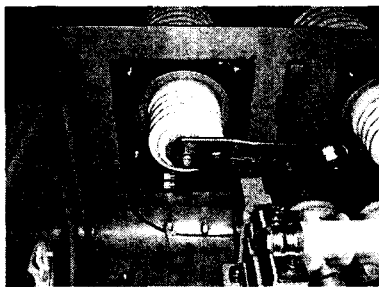


그림 3.4 광전압 센서의 설치 사진

IV. 광전압센서의 신호처리 및 특성측정

광전압센서에서 사용되는 광원은 온도에 의한 출력광의 안정성과 선형성을 고려하여 발광 다이오드(LED)를 선정하였으며, 특히 배전자동화 개폐기에서는 접속점 및 굴곡 요소가 많아 고출력의 다이오드가 필요하며, 광신호의 전송이 용이한 구조로 제작하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 전송로 및 광전압센서 전송손실을 고려하여 광출력이 광파이버 접속시 500μW 이상인 광원을 선정하였다. 또한 수광부는 O/E변환기를 통해 전기적 신호로 변환하게 되는데 배전선의 전압세기에 따라 전폭 변조된 광신호를 검출하는 방법으로 광신호가 기본적으로 가지는 직류성분과 외부 전기적 신호에 의해 변조되는 교류성분을 분리하여 제산하는 방식을 채택하였다. 그림 4.1은 직류성분의 광과 교류성분의 광을 전기적

신호로 분리하여 나누어주는 방식으로 수광 소자에 입력되는 광의 직류성분을 P₀라하고 변조도를 m이라 할 때 전체 입력광 P는 (식4.1)과 같다. 어떤 외부 영향으로 인하여 광원의 광량이 변화를 일으키면 변화된 광의 직류성분과 함께 교류성분이 같은 비율로 변화하여 출력된 결과는 동일하다.

$$P = P_0(1 + m) = P_0 + mP_0 \quad (4.1)$$

$$\frac{AC}{DC} = \frac{mP_0}{P_0} = m$$

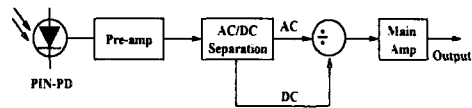


그림 4.1 제산 방식을 이용한 광신호 처리부

직류신호를 검출하기 위해서는 RC 저역 통과 필터를 이용하여 차단 주파수 이하의 직류는 통과시키고 교류신호는 저지시킨 후 증폭하며, 교류신호를 검출하기 위해 대역통과 필터를 이용하여 직류신호는 저지시키고 교류신호는 통과시키게 되는데 그림 4.21은 측정된 교류 및 직류신호의 파형이다.

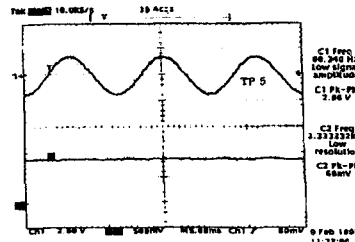


그림 4.2 광신호 처리부의 출력파형

광센서에 사용되는 BSO 소자에 대한 온도특성 시험을 실시하기 위하여 그림 4.3과 같은 조건으로 광센서를 항온조에 넣고 외부에서 광신호를 인가하여 광센서를 통과한 후 광파이버를 통해 수광부에서 신호처리를 실시한 결과이다.

BSO의 온도 특성 시험은 YEW-2558을 1000V에 놓고 상온 20℃를 기준으로 하여 10℃ 상승/하강시 출력전압의 변동율을 측정하였다. 측정 결과는 -20℃부터 60℃까지의 범위에서 1% 이내의 오차가 있음을 확인할 수 있었으며 -10℃에서 0.53%의 최대 오차가 나타났다. 그림 4.4는 20℃를 기준으로 하였을 경우 출력전압의 변동율을 그래프로 나타낸 것이다.

BSO를 이용한 광전압 센서에 대한 선형성을 측정하기 위해서 배전자동화용 개폐기 A, B, C상에 고전압 발생기로부터 60Hz 교류전압을 6.6kV에서 19.8kV까지 인가했다. LED 광원으로부터 직류

성분의 광을 광전압 센서부에 입사하면 교류 전압의 변화에 따라 변조된 광출력이 얻어진다.

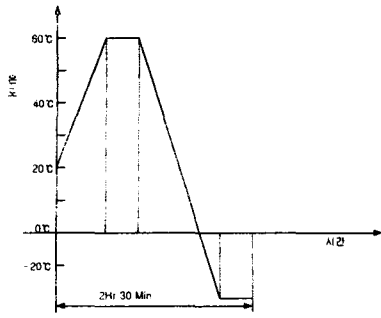


그림 4.3. 항온조의 온도 변화

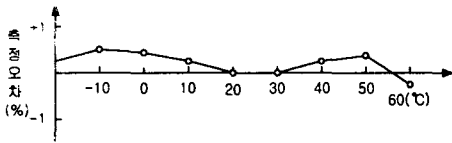


그림 4.4 BSO 센서의 온도 의존성

이렇게 강도 변조된 광출력은 PIN-PD에서 전기 신호로 변환되고 신호처리회로에 의해서 증폭된 후 전압 신호가 출력되는데 그림 4.5는 측정된 광전압의 그래프이다.

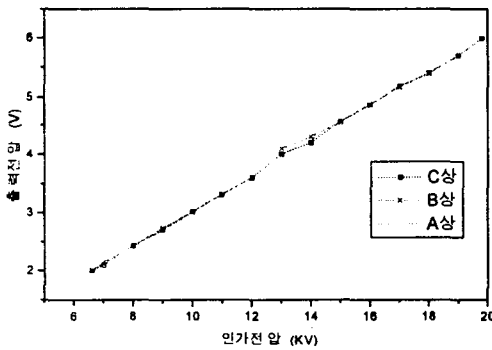


그림 4.5 광전압 센서의 출력전압 레벨

한국전력공사 배전자동화 시스템 규격에서 6.6kV에서 2V, 13.2kV에서 4V, 19.8kV에서 6V 출력을 제공하도록 규정되어 있는데 광전압 센서의 인가 전압에 대한 출력전압의 관계를 확인한 결과 B상의 광전압 센서가 13.2kV에서 최대의 오차인 2.5%가 나타났다. 그외의 영역에서는 1% 이하의 아주 양호한 오차 특성을 가지고 있으며 실제 적용이 가능한 것으로 판단된다.

이러한 오차의 원인은 정확하게 규명하기 어려우나 하나의 원인으로는 BSO를 통과하는 광의 선형성에 기인한 것으로 판단된다. 또 하나는 1/4 파장의 바이어스 점의 불확실성과 검광자의 검광

오차에 의한 것이라 판단된다.

측정오차를 줄이는데 있어서 가장 중요한 것은 광합소자의 Cleaning으로 광학적 계측 시스템 구성시 중요한 고려사항이다. 향후 이러한 오차 원인을 자세하게 규명하는 것이 정확도가 높은 계측 시스템의 구현할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 배전자동화 개폐기에서 전압을 계측하기 위하여 광전압센서를 설계, 제작하였다. 광 전압센서는 광원과 포커스경수 및 선형성을 고려하여 설계하였다. 제작된 BSO 광전압센서는 편광자, 1/4 파장판, BSO, 검광자로 구성되어 있으며, 1000V의 전압을 인가하고 항온조에서 온도 변화를 -20°C에서 60°C까지 변화시켰을 때, 출력 오차는 1% 이내 이었다. 또한 상온에서 6.6kV에서 19.8kV의 60Hz 교류 전압을 인가 하였을 때, 출력특성은 선형적인 특성을 나타내었으며, 인가 전압과 측정전압사이의 오차는 13.2kV에서 2.5% 이내 이었다. 이러한 오차의 원인은 BSO의 바이어스 전압의 오차와 이를 통과하는 광로의 오차에 기인한다고 생각된다. 기계적으로 보다 정밀한 제작과 바이어스 인가 전압의 정확한 제어등으로 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 이상의 결과는 본 연구에서 제작된 센서가 전압 센서로서 실제로 적용 될 수 있음을 보여준다.

참고문헌

- [1] T.Mitski, et al., "Development of fiber-optic voltage sensors and magnetic field sensors" IEEE SM442-8, 1986
- [2] 氏原祝雄外"BSO센서を用いたフォルトロオタ用サージ受信装置の 實證試験" 昭和 60 年 電氣學會全國大會
- [3] 森田和實, "コア形 光CTの開発" 電氣學會 計測研究資料, IM-81-10,1981
- [4] "光ファイバ複合架空地線" 電氣協同研究, 第46, 第1號, 平成 2年 5月
- [5] "半導體レーザーの基礎" 應用物理學會編, オム社, 1987
- [6] 齊藤成文, "圖解レーザー讀本", オム社, 1982
- [7] Kazuho Yamada, Tetsuro Baba, "Highly Reliable Optical Isolator Using Inorganic Materials" Tokin Technical Review, 平成2年
- [8] Amnon Yariv, Pochi Yeh, "Optical Waves in Crystals" John Wiley & Sons, 1984
- [9] 김영수 외, "광 CT, PT개발 및 적용에 관한 연구", 한국전력공사, 1993
- [10] 오상기 외, "국산 배전자동화 시스템 실제통실증연구", 전력연구원, 1997
- [11] 박해수 외, "광전자식 보호계전방식 및 신호처리기술에 관한 연구", 한국전력공사, 1999