
배전자동화 개폐기 내장형 광 전류 및 광 전압 센서에 관한 연구

양승국* · 오상기** · 박해수** · 김인수** · 김요희** · 홍창희*

A Study on Optical Current Sensor and Voltage Sensor
for automation of power distribution

Sung-Kuk Yang* · Sang-Ki Oh** · Hae-Soo Park** · In-Soo Kim** · Yo-Hee Kim** · Tchang-Hee Hong*

요 약

본 연구에서는 광계측 기술을 이용하여 배전자동화 개폐기 내에서 발생하는 전자 계측장치의 절연문제 및 측정오차의 문제점을 개선하기 위하여 배전자동화개폐기 내장형 광전류 및 광전압센서를 연구하였다. 자기광학 효과(magneto-optic effect)인 페러데이효과(Faraday effect)를 이용하여 최적의 광전류 센서를 설계 제작하여 높은 전류까지 선형성을 유지시키고 다른 상의 전류에 대한 유도현상을 최소로 하기 위해 순철 코어를 사용하여 광전류 센서를 일체화시켜 설계 제작하였다. 전계내에서 결정의 굴절률 및 방위각의 변화에 의해 생기는 전기광학효과(electrooptic effect)인 포켈스 효과(pockels effect)를 이용하여 광전압센서를 구성하였으며 배전자동화용 개폐기의 협소한 내부구조를 고려하여 공간전계방식을 채택하였다. 또한 다심의 광섬유를 개폐기와 외부의 신호처리 단말기와 연결하기 위하여 기밀형 멀티 광커넥터를 설계 제작하여 접속 손실 및 가스 누설 시험을 하였다. 전기적 특성시험에서 광 전류센서에서는 인가 전류에 대한 선형 특성은 20A에서 700A까지는 변동 오차 2.5% 이내의 선형성을 유지하였으며, 광전압센서에 있어서 인가 전압에 대한 선형 특성은 6.6kV에서 19.8kV까지 거의 변동 오차가 1% 이내로 우수한 선형 특성을 나타냈다.

ABSTRACT

Optical current sensor and optical voltage sensor modules were designed and fabricated to improve measurement error and insulation in automatic power distributor.

By using Faraday effect, optical current sensor with an α -iron core was designed and fabricated to minimize current induction of the other phase and was optimized to maintain linearity. Optical voltage sensor was fabricated owing to the pockels effect and adopted spatial electric field type because of small room in an automatic power distributor. To connect a distributor with an external terminal for signal processing, optical multi connector was designed, fabricated and tested for coupling loss and gas leakage.

The linearity of optical current sensor for applied current maintains variation of smaller than 2.5% for applied current range from 20A to 700A. The linearity of optical voltage sensor was smaller than 1% for applying voltage from 6.6kV to 19.8kV. Since the measured characteristics are good, these devices can be considered as being applicable in practice.

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 한국전기연구원 정보·광연구그룹

접수일자: 2002. 2. 15

I. 서론

최근 경제활동의 성장과 더불어 전력 수요가 급격히 증가하면서 전력의 안정적 공급 및 효율적인 이용이 요구되고 있는 실정으로 이러한 사회적 요청에 대응하기 위해서 배전계통에서는 정전구간의 축소 및 정전시간의 단축 등을 목적으로 배전자동화 시스템이 운용되고 있다. 이러한 배전자동화 시스템에서 전력공급 신뢰도의 향상을 위해서 고신뢰도가 요구되는 전력설비는 현장에 설치되는 자동화 개폐기로서 구간부하의 산정 및 사고전류 등의 정확한 계측이 필수적인데 기존의 전자식 계측방식은 절연의 문제등으로 기술의 고도화를 이루기 위해서는 한계가 있다. 또한 현재에 가장 일반적으로 사용되고 있는 계기용 변류기는 철심의 전자유도를 이용한 방식으로 구조가 견고하고 신뢰성이 높지만 고전압에서 절연 문제 및 고장시 대전류에 의해 철심이 포화되는 문제점을 가지고 있다. 그리고 배전자동화 개폐기와 같이 설치 공간이 협소한 전력기기에 이용되는 계기용 변압기는 구성이 간단한 CPD(Condenser Potential Divider) 등이 많이 사용되는데 온도 특성이 좋지 않아 정확한 전압 계측은 곤란한 실정이다.^[1] 이러한 문제점을 해결할 수 있는 기술로 최근 각광을 받고 있는 것이 광센서에 의한 계측기술로서 광통신의 실용화와 더불어 광이 가지는 광대역성, 저손실, 방폭성, 무유도성 등의 특징과 보수의 용이 및 광응용 기술의 정합성이 우수하여 전력기기에 적용하기 위한 최적의 기술로 평가되고 있다.

최근에 선진국에서는 전력기기에 광센서를 적용하기 위한 연구가 시도되고 있는데 최종적으로 계측에서 정보 전송 및 처리를 모두 광으로 실현하고자 하는 종합 광계측 시스템의 구축이 가능하게 되어 종래의 계측기술로는 실현이 불가능한 영역에까지 효율적인 계측시스템의 구축이 가능하게 될 것이다.^[2]

이와 같은 광전류(Optical Current Transformer)센서 및 광전압(Optical Potential Transformer)센서는 외국의 전력회사들이 가장 관심을 가지고 연구 개발하고 있는 분야로서 일부 전력기기용 광센서는 실용화 시험 중에 있다. 이러한 광센서는 고압부에 능동소자 및 전원 등이 포함되지 않기 때문에 구성이 간단하고 절연성능이 우수하며 전자유도에 영향을 받지 않은 계

측시스템을 구축할 수 있다.^[3]

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 전류센서로인 계기용 변류기의 고전압 절연문제 및 대전류에 의한 철심의 포화로 인한 측정값의 비선형성 의한 측정테이더의 부정확성 해결과 전압센서로 사용되는 계기용 변압기의 절연문제 및 온도 특성문제점의 해결을 위하여 배전자동화개폐기 내장형 광전류 및 전압 센서를 설계 제작하여 전기적 특성시험을 통한 성능 평가를 하였으며 다심의 광섬유를 개폐기와 외부의 신호처리 단말기와 연결하기 위하여 기밀형 멀티 광커넥터를 설계 제작하여 접속 손실 및 가스 누설 시험을 하였다.

II. 광센서의 특성 및 설계

자계가 결정에 인가되었을 때 빛의 편광상태가 변화하는 현상인 자기광학효과(magneto-optic effect), 즉 페러데이효과(Faraday effect)를 이용하여 광전류 센서를 구성하였으며, 전계내에서 결정의 굴절률 및 방위각의 변화에 의해 생기는 전기광학효과(electrooptic effect)인 포켈스 효과(pockels effect)를 이용하여 광전압센서를 구성하였다.^[4,5]

2.1 광전류센서 원리

광의 투과시 자계에 의해서 편광면이 회전하는 광학소자, 즉 Faraday 효과를 일으키는 매질은 상자성체 혹은 반자성체를 도핑한 Glass(Schott SF-6 glass 등)류, 강자성체인 YIG($Y_3Fe_5O_{12}$) 및 TGG, Pb-glass, 비결정질인 BGO, BSO, ZnSe 단결정 등이 있다.^[4,5]

이러한 매질에서 편광면의 회전은 광파의 통과 방향과 평행한 자계 성분 에 의해서 일어나게 되는데 이때 편광면 회전각 θ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = VHL \cos \phi \quad (1)$$

여기서 V는 Verdet 상수(rad/AT), L은 광로장(m), H는 자계의세기(AT/m), ϕ 는 광선과 자계의 각(rad)이다.

배전용 광전류 센서는 옥외에서 사용되기 때문에 온도특성이 매우 중요하다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 Verdet 상수가 크고 온도특성이 양호한 YIG 계열의 결정조성에서 Y격자 위치에 Bi원소와 동시에 Gd 원소를 포함시켜 치환한 $(Bi_{1.3}Gd_{0.3}Y_{1.7})Fe_5O_{12}$ 결정을 사용하였다.

따라서 본 연구에서는 Mitsubishi Gas사의 RIG (Rare Iron Garnet($\text{Bi}_x\text{Gd}_y\text{Y}_3(1-x-y)\text{Fe}_3\text{O}_{12}$))계열소자를 선택하였으며 표 1은 RIG소자의 특성표이다. 광원에 사용된 파장과 온도의존성, 포화자속밀도, Verdet 상수 등을 고려하여 R83소자를 사용하였다.^[6,7]

표 1 RIG의 광학적 특성^[7]
Table 1 Optical character of RIG

종 류	RA78	RA83	RA106	RA131	RA148	RA155
파 장(μm)	0.78	0.83	1.064	1.31	1.48	1.55
삽 입 손 실(dB)	<2.4	<3.8	<1.0	<0.1	<0.1	<0.1
Wavelength Dependence(deg/nm)	-0.24	-0.17	-0.13	-0.086	-0.073	-0.068
Faraday Angle(deg)	45 \pm 2			45 \pm 1		
Verdet Constant (deg/Oe·cm)	9	7	3.2	1.7	1.4	1.25
두께(μm)	550	570	140	240	320	360
포화자속 kA/m(Oe)	80(1,000)					
Temperature Dependence(deg/ $^{\circ}\text{C}$)	-0.06					

광전류 센서는 직접 전류를 계측하는 것이 아니고 도체에 전류가 흐를 때 발생하는 자계를 검출하는 자계 센서로서 그림 1에 계측 원리를 나타내었다.

입력측에 입사된 랜덤한 광신호는 편광자에 의해 한쪽 방향으로 진동하는 1개의 편광으로 변환된다. 이렇게 변환된 직선 편광은 Faraday 효과를 가지고 있는 자기광학결정에 입력되어 전류에 의해 발생된 자계에 의해 편광면이 회전하게 된다. 회전된 광은 편광자와 45 $^{\circ}$ 각도로 설치된 검광자에 입력되어 검광자의 편광 방향의 벡터 성분만을 통과시킨다.

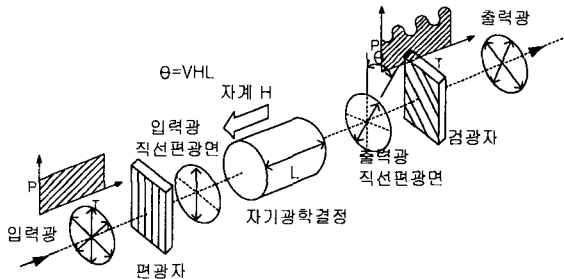


그림1 광전류센서의 원리
Fig. 1 Principal of the optical current sensor

따라서 입사된 광은 자계의 존재에 의해서 변화된 광량을 수광소자로 검출하는데 이때 수광된 광량은 식 (2a)와 같다.

$$P_{out} \propto P_{in}(1 + \sin 2\theta) \quad (2a)$$

식 (2a)에서 회전각 θ 가 작을 때는 식 (2b)와 같이 근사화할 수 있는데 수광 출력의 두 번째 항은 자계 및 전류에 비례하게 된다. 따라서 입출력 측에 광파이버를 배치하는 것에 의해서 광전류 센서를 구성할 수 있다.^[6]

$$P_{out} \propto P_{in}(1 + 2\theta) = 1 + 2VHL \quad (b)$$

2.2 광전압센서 원리

광학 결정이 전계내에서 굴절률 및 방위각의 변화에 의해 생긴 편광현상을 전기광학효과(electrooptic effect)라 하는데 전계의 1차에 비례하는 Pockels 효과와 2차에 비례하는 Kerr 효과(Kerr effect)가 있다. 이와 같은 전기광학효과는 결정의 양단에 전압을 인가할 때 결정을 통과하는 빛의 세기와 위상의 변화를 검출하여 전압 및 전계를 측정할 수 있는데 일반적으로 2차 전기광학효과는 선형 전기광학효과가 존재할 때는 무시하게 된다. 따라서 광전압 센서의 기본 원리는 Pockels 효과가 주로 이용된다.^[1]

광전압 센서로 채택한 BSO($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)는 Pockels 효과를 이용하여 1차 적으로 전계를 측정하고 이것을 매개로 하여 전압을 측정한다. 표 2에 BSO와 유사한 특성을 가지는 BGO($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$)의 특성을 나타내었다.^[8]

표 2 광전압 센서의 광학적 특성^[7]
Table 2 Optical character of optical voltage sensor

종 류	$\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$
비저항	$5 \times 10^{13} \Omega \text{cm}$	$8 \times 10^{10} \Omega \text{cm}$
전송범위	0.45~0.9 μm	0.45~0.9 μm
밴드갭	3.15~3.25eV	3.15~3.25eV
전기광학계수	$5 \times 10^{-10} \text{cm/V}$	$3.4 \times 10^{-10} \text{cm/V}$
Loss Tangent	0.0015	0.0035
굴절률	2.45	2.41

광전압 센서의 계측원리는 그림 2에 나타낸 것과 같이 광파이버에서 입사된 광은 랜덤한 편광상태로 편

광자를 통과하여 x, y 방향에 대해서 각각 45°방향의 직각 성분만을 가지는 직선 편광이 된다. 이렇게 직선 편광된 광은 x, y 방향에 대한 전기 성분을 E_x, E_y 라 할 때 1/4 파장판을 통과한 광은 90°의 광학적 위상차가 발생하게 된다.

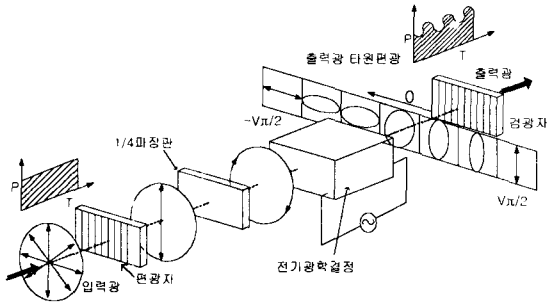


그림 2 광전압센서의 원리도
Fig. 2 Principal of the optical voltage sensor

따라서 광에 대한 전기 벡터의 선단 궤적은 원궤도가 되는데 이것을 원편광이라 하며 식 (3a)와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 전기광학소자인 BSO에 전압이 인가되면 인가전압에 비례해서 x, y 방향의 굴절률이 변화하기 때문에 원편광된 광이 통과하면 광학적 위상차는 식 (3b)과 같이 된다.^[9]

$$E_x = A' \sin \omega t \quad (3a)$$

$$E_y = A' \sin (\omega t - 90^\circ) = A \cos \omega t$$

$$E_x = A'' \sin (\omega t + \Delta) \quad (3b)$$

$$E_y = A'' \cos (\omega t + \Delta)$$

일반적으로 전기벡터의 선단 궤적은 타원으로 BSO의 인가전압의 정·부에 따라서 타원 방향이 변화한다. 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.^[8]

광전압 센서의 경우 기본성능에 미치는 선광성의 영향은 비교적 작아서 무시해도 충분히 실용적인 값을 얻을 수 있기 때문에 선광성은 고려하지 않았다.

III. 광계측장치 설계 및 제작

배전용 자동화 개폐기는 전주의 지지대에 설치함으로써 개폐기의 중량을 줄이기 위해 최소한의 크기로 제작되므로 내부공간이 매우 협소하다. 그리고 개폐기와 광센서의 절연문제를 해결하기 위하여 광센서를 최소한의 크기로 설계하였다. 광전압 전류센서의 광원 및 신호처리부는 동일한 광원과 신호처리회로를 사용하여 전압 및 전류의 세기를 검출하였다.

3.1 광전류 센서

그림3은 자계를 검출하는 전류센서의 구성도이다. 광원에서 입사되는 직류성분의 광을 수용하기 위하여 평행빔으로 집광하기 위한 SML(Selfoc Micro Lens)이 부착된 FC-MiniBNC 접속단자를 설치하였다. 입력측에 입사된 랜덤한 광신호는 크기가 5×5×5mm인 PBS (Polarizing Beam Splitter)를 편광자로 사용한 광학소자에 의해서 선형 편광된 광으로 변환된다. 그리고 최적의 광학 바이어스를 걸어주기 위하여 1/2파장판을 사용하여 광을 45°회전시킨다. 자계를 검출하기 위한 Faraday 소자로는 R83소자를 이용하였다.^[10] PBS형태의 검광자를 이용하여 자계에 의한 회전각을 검출하며 SML렌즈를 거친 후 광전송로에 의해 수광소자로 전송되어 진다. 제작된 광전류센서의 전체손실은 측정결과 30dB이며 RIG단결정 자체의 손실은 6dB정도가 되었다.

전류측정값의 선형성 유지와 계폐기 내의 협소한 공간에 의한 다른 상간의 자계영향을 줄이기 위하여 비투자율이 4000이며 순도 99.9%의 순철 코아를 이용하였다. 코아형 철심의 공극(gap)에 미치는 자계의 세기는 가공시 스트레스 제거 및 포화 자속 밀도를 높이기 위하여 진공 중에서 800°C로 2시간 정도 열처리를 하여 특성을 개선하였으며 효율적인 전류 계측을 위해서 순철코아와 광센서를 일체화시킨 광전류센서를 설계 제작 하였다. 그림 4는 코아와 일체화 시킨 광전류센서이다.^[11]

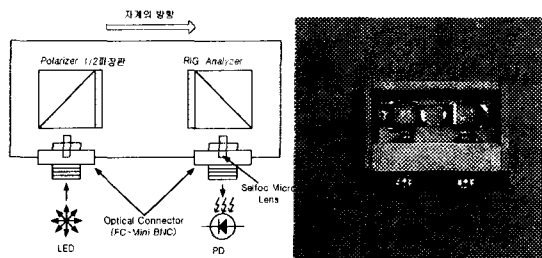


그림 3 광 센서의 설계 및 구성도
Fig. 3 Schematic diagram of optical current sensor

3.2 광전압센서

그림 5는 BSO를 사용한 광전압 센서의 기본 구성도로서 편광자, 1/4 파장판, BSO 및 검광자로 구성된다. 1/4 파장판은 편광자에서 선형편광된 빛을 원편광으로 변화한다.^[10]

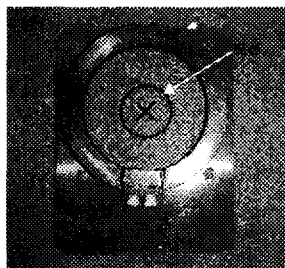


그림 4 순철코어를 사용한 광전류 센서
Fig. 4 Schematic diagram of optical current sensor using α -iron core

BSO의 양단에 산화 인듐의 투명전극을 붙여 전압을 인가함으로써 광의 진행방향과 BSO에 가해지는 전기장의 방향이 일치하는 중형 구성으로 설계하였다. 광전압 센서의 Pockels 소자에 균등 전계를 가하는 방식은 일반적으로 직접 전압을 인가하는 콘덴서 분압 방식과 공간 전계를 이용하는 전기 검출방식이 있다. 배전자동화 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 전기장(100kV/m 이상)이 형성되어 있기 때문에 BSO 단결정의 양단면에 전극을 설치하면 평행 전극 사이에 전압이 유지 되기 때문에 전기광학효과를 이용한 전압 계측이 가능하다.^[2] 그림 6은 배전자동화 개폐기 내에 설치된 광전압 및 전류센서의 구성도이다.

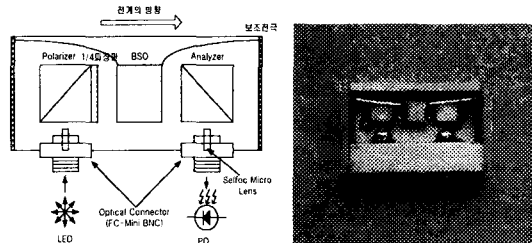


그림 5 광전압 센서의 설계 및 구성도
Fig. 5 Schematic diagram of optical voltage sensor

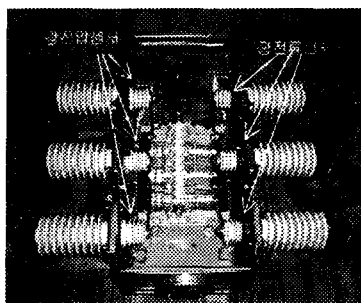


그림 6 배전자동화 개폐기에 설치된 광센서
Fig. 6 Automation of power distribution switch fixed Optical Sensor

3.3 광원 및 신호처리부

광원 및 신호처리부는 동일한 광원과 신호처리회로를 사용하여 전압 및 전류의 세기를 검출하였다.

배전자동화 개폐기에서 사용되는 광전류 전압센서의 광원은 접속점 및 굴곡 요소에 의한 광의 감쇠와 광센서를 구성하는 광학소자들에 의한 광원의 감쇠가 30dB정도로 높기 때문에 수광부에서 광신호를 처리하기 위해서는 수광 광량이 약 $10\mu W$ 이상이 되어야 하며 실외에 설치하기 위해서 온도변화에 따른 광원의 변화가 적어야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고출력으로서 외부 온도의 영향을 적게 받는 Mitel사의 1A288로서 SC커넥터가 부착된 LED로서 광파이버 접속시 출력광이 $500\mu W$ 이상이며 중심파장이 $0.83\mu m$ 인 광원을 선정하였다.

수광부 즉, 광전변환 소자로는 PIN류의 수광소자를 사용하였으며 중심파장은 광원의 파장을 고려하여 $0.85\mu m$ 영역을 가진 Mitel사의 1A446을 사용하였다. 광전변환기를 통해 변환된 전기적 신호는 기본 광량인 직류성분에 자계와 전기계의 세기에 비례하여 상용주파수 60Hz가 변조된 교류신호가 함께 포함되어 있다. 자계와 전기계를 검출하기 위해서는 교류성분 신호만 필요하지만 광원자체에서 발생하는 열에 의한 출력변화와 외부의 온도변화 등에 의해 광원의 출력이 변화하였을 경우 광원의 출력 변화에 따라 자계와 전기계에 의해 변조된 교류신호도 변화하여 일정한 값을 구할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 광원이 가지는 직류신호와 자계와 전기계에 의해 변조된 교류신호를 분리하여 교류성분에 직류성분을 나누어 변조도를 구함으로써 광원의 변화에 관계없이 일정한 값을 얻기

위하여 제산방식을 이용하였다. 이러한 직류성분의 광신호와 교류성분의 광신호를 전기적 신호로 분리하여 변조도를 구하는 구성도를 그림 7에 나타내었다.^[12,14] 식 4와 같이 수광 소자에 입력되는 광신호의 직류신호를 P_o 라하고 교류신호는 변조도 m 에 직류신호가 포함된 mP_o 라 하면 전체 출력신호는 P 이다. 여기서 교류성분에 직류성분을 나누어주면 변조도 m 을 구할 수 있다. 변조도 m 은 광원의 변화에 관계없이 일정한 변조도를 얻을수 있으므로 일정한 전계 자계의 값을 검출할 수 있다.^[11,13]

$$P = P_o(1 + m) = P_o + mP_o \quad (4)$$

$$\frac{AC}{DC} = \frac{mP_o}{P_o} = m$$

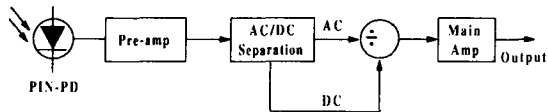


그림 7 제산 방식을 이용한 광신호 처리부
Fig. 7 Block diagram of optical signal processing part using a form division

직류신호를 검출하기 위해서는 RC 저역 통과 필터를 이용하여 차단 주파수 이하(상용주파수 60Hz)의 직류는 통과시키고 교류신호는 저지시킨 후 증폭하며, 교류신호를 검출하기 위해서 블록킹 필터를 이용하여 직류신호는 저지시키고 교류신호는 통과시키게 된다. 검출한 교류 및 직류신호를 최대 0.8%의 오차로 제산을 행하는 AD534소자를 이용하여 순수한 변조신호를 검출한 후 기존의 배전자동화 단말 장치의 입력신호로 증폭한 후 전송되고 단말장치에서 A/D변환 후 전압 전류값을 표시하거나 통신 단말장치를 이용하여 지국에 전송하게 된다.

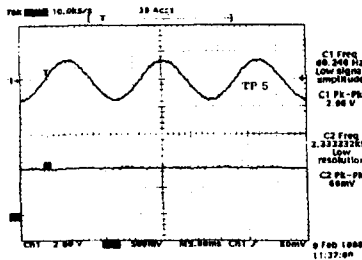


그림 8 광신호 처리부의 출력파형
Fig. 8 Output signal of optical signal processing part

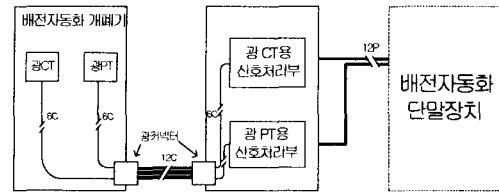


그림 9 광전류 전압센서 내장형 배전자동화 개폐기의 전체 구성도
Fig. 9 Schematic diagram of Optical Current and Voltage Sensor system for automation switch of power distribution

그림 8은 배전전압 10kV에서 측정한 신호를 교류성분과 직류성분으로 분리하여 나타낸 파형이다. 그림 9는 광전류 및 전압센서 내장형 배전자동화개폐기 시스템의 전체 구성도를 나타내었다.^[12,16]

3.4 멀티광커넥터 설계 및 제작

배전자동화 개폐기는 고전압에 의한 절연 신뢰도를 유지하기 위해서 SF6 가스를 충전한 상태에서 운용된다. 이와 같은 자동화 개폐기에 있어서 일정한 가스압이 하가 될 경우 폭발 등의 위험이 있기 때문에 적정의 가스압(1.2 기압 정도)을 유지하여야 한다. 이러한 환경에서 광전압 및 전류 센서를 배전자동화 개폐기 내부에 설치하고 광원과 검출된 광신호를 전송하기 위해서는 가스를 밀폐할 수 있는 특수한 광커넥터가 필요하다.^[4] 광로방향으로 측압이 가해지지 않으면서 다심 광케이블을 일시에 착탈이 가능하고, 개폐기 내부의 가스가 누설되지 않는 인터페이스용 가스 밀폐형 멀티 채널 광커넥터를 설계 제작하였다.

그림 10은 제작된 가스 밀폐형 멀티 채널 광커넥터로 개폐기 내부에 설치되는 수커넥터부와 외부에 설치되는 암커넥터부로 나눌 수 있다. 개폐기 내부에 설치되는 수커넥터는 리셉터클셀에 의해서 개폐기 외함과 견고하게 연결되어 가스 누설을 방지한다. 3상의 도선 주위에 설치된 광전압 전류센서의 광입출력 부분을 연결하기 위하여 끝단을 SC커넥터로 처리하였다 또한 수커넥터는 신호처리에 구성된 광원과 수광부에 연결하기 위하여 FC커넥터로 연결되었으며 암수 커넥터를 일정한 방향으로 연결하기 위하여 가이드키를 구성하였다. 시작품의 가스 누설 시험을 위해서 5기압에서 2 시간동안 유지한 후 가스 누설시험기로 측정된 결과 가스가 누설되지 않음을 확인하였다. 또한 광커넥터의

광입력에 대한 광출력의 손실율을 측정된 결과 0.2dB의 작은 손실을 가짐을 확인하였다. 표3은 각각의 광섬유의 손실을 측정된 결과이다.^[13]

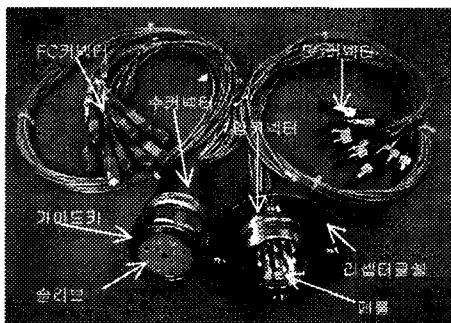


그림 10 가스 밀폐형 광커넥터의 구성도
Fig. 10 Schematic diagram of multiple channel connector with gas sealing type

표 3 광섬유 손실율
Table 3 Loss factor of optical fiber

광섬유 번호	A	B	C	D	E	F
삽입손실 (dB)	0.19	0.36	0.18	0.07	0.15	0.07
광섬유 번호	G	H	I	J	K	L
삽입손실 (dB)	0.01	0.75	0.06	0.20	0.39	0.06

3.5 선형성 시험

3.5.1 광전압 센서

BSO를 이용한 광전압 센서에 대한 선형성을 측정하기 위해서 배전자동화용 개폐기 A, B, C상에 고전압 발생기로부터 60Hz 교류전압을 6.6kV에서 19.8kV까지 인가하였다. LED 광원으로부터 직류 성분의 광을 광전압 센서부에 입사하면 교류 전압의 변화에 따라 변조된 광출력이 얻어진다. 이렇게 강도 변조된 광출력은 전기신호로 변환되고 신호처리회로에 의해서 증폭된 후 전압 신호가 출력되는데 그림 11은 이에 대한 결과이다.

한국전력공사 배전자동화 시스템 규격에서 6.6kV에서 2V, 13.2kV에서 4V, 19.8kV에서 6V 출력을 제공하도록 규정되어 있는데 광전압 센서의 인가전압에 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 실계통 적용이 가능한 것으로 확인되었다.

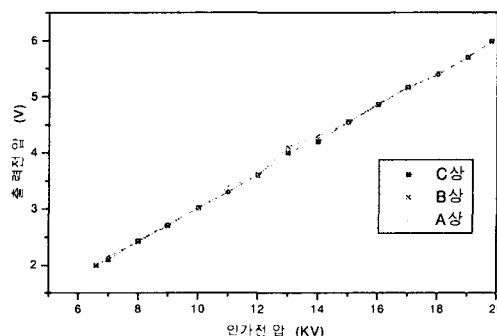


그림 11 광전압 센서의 출력전압
Fig. 11 output voltage of optical voltage sensor

3.5.2. 광전류 센서

RIG를 이용한 광전류 센서에 대한 선형성을 측정하기 위해서 배전자동화용 개폐기 A, B, C상에 전류 발생기로부터 60Hz 교류전압을 20A에서 1,000A까지 인가했다.

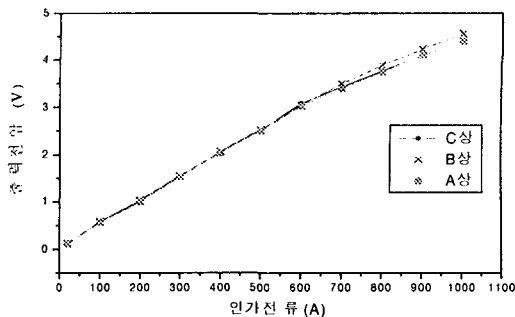


그림 12 광전류 센서의 출력전압
Fig. 12 output voltage of optical current sensor

광신호처리부에서 300A 1.5V, 600A에서 3V 900A에서 4.5V의 전압이 출력되도록 조정하였는데 광전류 센서의 인가전류에 대한 출력전압의 관계를 그림 12에서 나타내었다. 20A에서 700A까지는 2.5% 이내의 선형성이 유지되나 800A 이상에서는 오차가 커지고 선형성이 포화형태를 나타내고 있다. 이러한 원인은 자속을 집중시키기 위해 사용한 순철 코어가 800A의 고전류에서 자속밀도의 포화가 시작되기 때문이다. 그러나 현재 배전계통의 정격전류는 400A로서 일반적으로 그 이하인 200A 정도로 운전하고 있기 때문에 실계통의 전류를 계측하는데 별다른 문제점이 없다고 판단된다.

한국전기연구원에 개발시험을 의뢰하여 뇌충격 내

전압시험, 상용주파수내 전압시험, 전압정밀도측정 및 전류정밀도를 측정된 결과 개발시험 규격을 통과하였으며 설계통에서 사용할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결과 및 검토

본 연구에서는 광계측 기술을 전력기기에 적용하는 것을 주요 연구 목표로 하여 고정도 및 고절연 신뢰도를 실현하기 위한 배전자동화 개폐기 내장형 광전류 및 전압센서와 광원 및 검출된 광신호를 전송하기 위한 가스 밀폐형 멀티광커넥터를 설계 제작하였다.

최적의 광전류 센서를 개발하기 위해서 전류 계측용 Faraday 소자는 YIG 계열인 RIG소자를 선정하였으며 높은 전류까지 선형성을 유지시키고 다른 상간의 전류에 대한 유도현상을 최소로 하기 위해 순철 코어를 사용하여 광전류센서를 일체화 시켰다. 광전압 센서는 배전자동화용 개폐기 내부 구조가 협소하기 때문에 직접 전압을 인가하는 콘덴서 분압방식은 개폐기의 동작 신뢰도에서 문제를 일으킬 수 있기 때문에 공간 전개방식을 채택하여 고절연 신뢰도를 유지하도록 BSO 소자를 사용해 설계 제작하였다. 광원은 접속손실이 많아 전송 손실이 크기 때문에 600 μ W 이상의 LED를 사용하였으며 수광회로에서는 광케이블 및 광센서의 왜란에 의해 광출력이 변동되어도 그 영향을 최소화하여 정확한 전압, 전류값을 계측할 수 있도록 직류 및 교류 신호를 재산하는 회로를 채택하여 고신뢰도의 광신호처리 회로를 설계 제작하였다.

배전자동화 개폐기와 광케이블을 접속하기 위해서는 특수한 광커넥터가 필수적인데 본 연구에서는 광커넥터 결합시 광로에 측압이 가해지지 않으면서 다심 광케이블을 일시에 착탈이 가능하고, 개폐기 내부의 가스가 누설되지 않는 인터페이스용 가스 밀폐형 멀티 채널 광커넥터를 제작하였다.

광전압센서에 있어서 인가 전압에 대한 선형 특성은 6.6kV에서 19.8kV까지 변동 오차가 1% 이내로 양호한 선형성 특성을 나타냈다. 그리고 광전류센서에서는 인가 전류에 대한 선형 특성은 20A에서 700A까지는 변동 오차 2.5% 이내의 선형성이 유지되나 800A 이상에서는 코어 자속의 포화로 인해 선형성이 변하는 것을 볼 수 있는데 이러한 문제는 배전자동화 단말기장

치에 사용되는 마이크로프로세서에 의해 출력값을 보상한다면 정확한 측정이 가능하다.

현재 사용되고 있는 전압센서인 계기형 변압기는 배전선에 직접 연결시켜 사용함으로 절연 문제로 인하여 낙뢰에 의한 센서의 파손이 빈번하며 계기형 변압기의 큰 부피로 인하여 개폐기 내의 설치의 어려움이 많았다. 본 연구에서 제작한 광전압 센서는 절연에 강하면서 소형이므로 이러한 기존의 문제점을 해결할 수 있었다. 또한 전류센서로 사용되는 계기용 변류기 역시 배전선 주위에 철심을 둘러싼 형태이므로 절연의 문제 및 고전압에서의 철심의 포화로 인한 정확한 측정값을 얻기 어려웠으나 광전류센서 이용하여 이러한 문제를 해결할 수 있었다. 개폐기내부와 외부를 연결하기 위한 인터페이스용 가스 밀폐형 멀티 광커넥터는 통신분야 및 광계측기기등의 여러 분야에서 응용할 수 있을 것이다. 단점으로는 현재 사용되고 있는 전류 및 전압센서의 가격에 비해 광학소자 및 부품의 가격이 매우 고가이므로 경제성의 문제를 가지고 있다. 그러나 현재 GIS급과 같은 초 고전압의 전력계통에 요구하는 전류 전압센서는 고절연, 고신뢰도를 중요시하고 기존의 센서 가격도 고가이므로 본 연구에서 제안한 광전류센서 및 전압센서를 사용한다면 기존의 센서에 비해 높은 경제성과 절연문제 및 신뢰도 문제를 해결할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 오상기 외, "국산 배전자동화 시스템 설계통 실증 연구", 전력연구원, 1997.
- [2] 김영수 외, "광 CT, PT개발 및 적용에 관한 연구", 한국전력공사, 1993.
- [3] T.Mitski, et al., "Development of fiber-optic voltage sensors and magnetic field sensors" IEEE SM442-8, 1986.
- [4] Susumi Ihara et al., Sumitomo Elec. Tech. Review, No.23, 15, 19847.
- [5] Edward F. Kelly, Robert E. Hebner, "Electro-Optic Measurement of the Electric Field Distribution in Transformer Oil" IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-101,

No.7, July 1983.

- [6] Susumi Ihara et al., Sumitomo Elec. Tech. Review, No.23, 15, 19847.
- [7] M. Miyauchi and M. Kuribara, "Development of distribution automation system using advanced informationtechnology(part II) : Development of optical voltage sensor and current sensor for distribution system" Elec. Eng. Lab.
- [8] 氏原稅雄 外 "BSOセンサ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.
- [9] 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.
- [10] Amnon Yariv, Pochi Yeh, "Optical Waves in Crystals" John Wiley & Sons, 1984.
- [11] 김요희 외, "전력용 광계측 시스템 개발연구 III" 과학기술처 연구보고서, 1989.
- [12] 박해수 외, "광전자식 보호계전방식 및 신호처리 기술에 관한 연구", 한국전력공사, 1999.
- [13] Shigendo nishi, Nobuharu Takahara "Optical-Fiber Feed through in Pressure Housing ", Journal of Lightwave Technology. Vol. LT 2, No.6 1984.
- [14] "光ファイバ通信 計測技術", Power Control and Information Series Vol.6, 電氣書院, 1986.
- [15] Kazuho Yamada, Tetsuro Baba, "Highly Reliable Optical Isolator Using Inorganic Materials" Tokin Technical Review, 平成2年.
- [16] "Low-Cost Fiber Optic Transmitter and Receiver Interface Circuits" Hewlett Packard Application Bulletin 73.
- [17] 오상기 외, "광 CT·PT 내장형 배전자동화 개폐기 개발" 산업자원부, 1999.

저자소개

양승국(Sung-Kuk Yang)



1997년 진주산업대학교 전자공학과 학사.
1999년 한국해양대학교 전자통신공학과 석사.
1999년7월~2001년 12월 한국전기연구원 위촉연구원

2000년 2월 ~ 현재, 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정

※ 관심분야 : 광섬유 센서, 광기술, 센서기술, 신호처리

오상기(Sang-Ki Oh)



1977년 조선대학교 전자공학과 학사.
1979년 조선대학교 전자공학과 석사.
1994년 원광대학교 전자계산기 박사.
1983년 8월 ~ 현재, 한국전기연구원 책임연구원, 정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구.

※ 관심분야 : 광섬유 센서, 센서기술, 광기술

박해수(Hae-Soo Park)



1987년 경북대학교 전자공학과 학사.
1979년 경남대학교 전자공학과 석사.
1994년 원광대학교 전자계산기 박사.
1987년 5월 ~ 현재, 한국전기연구원 선임연구원, 정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구.

※ 관심분야: 광섬유 센서, 센서기술, 광기술

김인수(In-Soo Kim)



1984년 동아대학교 전자공학과 학사.
1986년 동아대학교 전자공학과 석사.
1986년 2월 ~ 현재, 한국전기연구원 선임연구원. 정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구.

1997년 ~ 1998년 Shanghai 803 Research Institute 파견연구원.

1998년 ~ 2000년 SIOM 파견연구원.

※ 관심분야: 광섬유 센서, 광기술, 광통신 시스템, 센서기술



김요희(Yo-Hee Kim)

1981년 연세대학교 전자공학과 석사.

1992년 경희대학교 광전자학 박사.

1967년 11월 ~ 1977년 3월 한국전력공사 전자계산소.

1977년 3월 ~ 1981년 6월 한진기술연구소 실장.

1981년 6월 ~ 현재, 한국전기연구원 전기시험연구소 소장.

※ 관심분야: 광섬유 센서, 센서기술, 광기술, 전력선 통신



홍창희(Tchang-Hee Hong)

1969 한국해양대학교(공학사-항해학)

1974 부산대학교 (이학사-물리학)

1977 동경공업대 (공학석사-전자공학)

1981 동경공업대 (공학박사-전자물리)

1972-1979 한국해양대학교 전임강사

1982-1983 서울대학교 객원교수

1972-현재 한국해양대학교 교수

※ 관심분야 : 반도체 레이저, 광섬유 센서