

가스절연개폐장치용 광학 CT/PT의 기술동향

송원표 · 김정배 · 김민수 <(주)효상 중공업연구소 전력팀>
박원주 <영남대학교 전자정보공학부>

1. 서 론

최근 경제성장과 생활수준의 향상으로 전력수요는 꾸준히 향상되고 있으며, 이로 인하여 초고압 송/변전 설비가 도심지 내에 건설되고 있다. 그러나, 용지 확보의 어려움, 유지보수 및 운영비의 과다, 안정성 확보 등의 이유로 이러한 설비의 주회로 계통은 점점 밀폐화, 축소화, 디지털화 되어가고 있다. 이러한 변화에 맞추어 전력설비의 고효율적 운영을 위해 도심지 내의 변전소는 기존의 공기절연형에서 가스절연형으로 옮겨가고 있는 추세이다. 이에, 절연특성 및 아크소호에 매우 우수하다고 알려져 있는 SF6 가스를 절연재료로 사용하는 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear ; GIS)가 1968년 독일 Berlin과 Koln 전력회사의 변전소에서 처음으로 실용화되었으며, 일본의 경우 1969년에 관서전력변전소에 설치되어 실용화되었다. 러시아에서는 1980년대 중반부터 1150[kV] 가스절연개폐장치를 운전하기 시작했으며, 국내에서도 765[kV]급 송압 및 송전에 대비하여 800[kV] GIS를 개발하여 현재 당진 TP S/S, 신서산 S/S, 신안성 S/S에서 운전중에 있다.

변전소에 있어서 전류 및 전압은 계측/보호를 위한 중요한 인자이며, 최근의 수변전설비의 주류인 가

스절연개폐장치에 있어서는 이러한 인자를 측정하는 장치가 내장되어 있다. 전류의 계측에는 기존에는 전자유도의 원리에 의한 철심형변류기(Current Transformer : CT)가 사용되고 있다. 철심형 CT는 철심과 권선으로 구성되어 구조가 간단하며 신뢰성이 높아 많은 실적을 갖고 있다. 그러나, 치수·중량이 커서 GIS의 소형화에 걸림돌이 되고 있으며, 원리적으로 철심의 자기포화대책, 써지·노이즈 대책 등이 필요하다. 또한, 최근들어서는 디지털 보호계전기의 적용으로 CT 2차 출력(5A 혹은 1A), 부담(수십 VA) 등이 철심형 CT와는 비교도 되지않게 미량이 요구되어 지는 것도 신형 CT의 출현을 기대하게 한다.

또한, 전압의 계측에는 전자유도의 원리에 의한 권선형 변성기(Potential Transformer ; PT)가 적용되고 있다. 권선형 PT는 철심형 CT와 유사하게 구조가 간단하지만 치수·중량이 크고, 원리적으로 주회로에 직접 접속할 필요가 있기 때문에 GIS와 동등의 절연설계가 필요하다. 또한, CT와 유사하게 써지·노이즈 대책이 필요한 경우도 있으며, 계통의 복잡화로 인한 PT의 철공진때문에 컨덴서뱅크 등의 추가설비 구축이 요구되고 있다.

한편, 최근 전력계통시스템은 대용량화, 고기능화, 고신뢰성이 요구되면서 시장경계의 원칙이 도입되어

표 1. 전압 혹은 전계 측정용 장비의 비교

측 정 기 기	원 리	재료	센서 위치	장 점	단 점	주파수 영역
기계적 센서 (Voltmeter)	Electro-Static, 힘, 자기력	금속 자석	전압 단말	간단	위치 제한	DC 낮은 주파수
전기적 센서 (변압기, Capacitive Probe, Flux Meter)	유기전하 변위 전류	금속	전압 단말, 공간	간단, 다수 적용	공간안에서의 전계왜곡	DC에서 10MHz
광학 센서 (포켈스 센서, Kerr 센서)	전기광학효과 (Pockels Effect, Kerr Effect)	절연물	전압 단말, 공간	왜곡이 미비	복잡, 고가	10GHz까지

전력 시장 자유화가 본격적으로 논의되고 있으며, 최신의 디지털·IT 기술의 진보가 도입시기를 앞당기고 있다. 이러한 디지털보호 제어시스템에 적합한 신형 CT·PT의 요구가 높아지면서 일부 국외 GIS 업체에서는 시험용 광학 CT·PT를 GIS에 설치하여 실증시험 중에 있다. 광학 CT·PT의 적용 이점으로는 설비점유 면적감소, 계통보호 제어시스템의 신속성 향상, 전력계통의 안정성 향상, 디지털 계전시스템의 호환성 증가, 경제적 비용의 절감 등을 들 수 있다.

이러한 장점에도 불구하고 국내에서는 아직 GIS용 광 CT, PT가 개발되지 않고 있어, 급속히 증가되고 있는 전력 시장의 수요에 부응하기 위해서는 광 CT, PT를 외국으로부터 전량 수입해야만 하는 실정이다.

광학 CT/PT는 기존 방식과 다른 원리를 이용하는데, 즉 전류를 측정하는데 Faraday 효과라고 하는 자기-광학 효과를 이용하는 방법과 전압을 측정하는데 Pockels 효과라고 하는 전기-광학 효과를 이용하는 방법이 그것이다.

GIS에 적용되는 광 CT, PT에 대한 연구 개발은 1980년대 중반부터 일본의 중전기회사를 중심으로 시작되어 그 동안은 정체상태에 있다가 최근 들어와서는 상기의 환경 변화에 의해 다시 주목을 받고 있다. 변전소에 적용된 실적을 살펴보면, 광원 구동원과 광학 측정장치가 GIS나 Tr. 근처에 있는 디지털

보호설비에 설치되고, 전압, 전류센서는 직접 GIS나 Tr.에 장착된다. 광원으로부터의 빔은 인입구 광 파이버를 통해 센서로 전달되고, 출력 빔 강도는 인가 전압이나 전류에 따라 변동되어진다. 본 논문은 최근 까지 진행된 국·내외 GIS용 CT, PT에 대하여 주요 사항을 소개한다.

2. Optical PT(PD)

2.1 전기-광학효과 원리

전계에 의해 유기되는 물질의 광학 굴절률을 이용한 전기-광학효과(Electro-optic effect)는 크게 1875년에 Kerr에 의해 발견된 Kerr효과, 1891년 Pockels에 의해 발견된 Pockels효과로 나눌 수 있다. 이들 원리는 최근 레이저의 출현으로 광학조절기, 광학 셔터, 측정장비 등에 적용하게 되었다. 물질에 전계를 인가할 때 굴절률이 변화하는 현상을 이용한 것으로 전기-광학효과를 나타내는 소자의 유전율이 전계의 세기에 의존하며, 진공중의 유전률을 ϵ_0 , 소자의 유전률을 ϵ , 굴절률을 n 이라고 하면, $n^2 = \epsilon/\epsilon_0$ 의 관계가 성립된다. 따라서 인가전계의 세기에 따라 유전률 ϵ 이 변화하면 굴절률도 변화하게 된다.

전압이나 전계를 측정하기위해 기존 사용되고 있

는 기계적, 전기적 센서는 금속전극 표면 혹은 근처에 설치하는데 있어 금속적인 문제로 한계가 있지만, 광학 센서는 이러한 한계를 극복할 수 있게 한다. 또한, 전계/자계의 변형을 최소화하고, 폭 넓은 주파수 응답특성, 전자계 간섭으로 인한 오차를 피할 수 있게 해준다. 표 1에 이들의 장단점을 나타내고 있다 [1].

몇몇 재료에 있어서 전계가 이들을 가로질러 인가되어 있을 때 복굴절이 발생한다. 그림 1과 같이 복굴절은 분극되어 x, y 성분으로 구성되는 빛이 전계에 따라 서로 다른 속도로 재료를 통과하기 때문에 발생된다. 이것을 전계에 대한 식으로 표기하면,

$$n_x - n_y = n_0^3 r_p E + \lambda B E^2 + \dots \quad (1)$$

여기서 n_0 : 재료 반사계수

r_p : Pockels 계수

B : Kerr 상수

식 (1)의 오른쪽 첫 번째항은 전계에 선형적인 Pockels 효과(선형-전기광학효과)이며, 두 번째항은 전계의 제곱에 비례하는 Kerr 효과(자승비례 전기-광학효과)를 나타내고 있다. 그러나, 이들 효과가 동시에 나타나는 것이 아니라, 재료의 유리 대칭성/전기분극구조에 따라 둘 중 어느 하나가 지배적으로 되어진다. 주로, Pockels 효과는 고체 재료에 대해,

Kerr 효과는 액체 및 기체 재료에서 나타난다.

전기-광학 효과에 대해 자세히 알아보면, 빛의 x, y성분의 속도차이로 복굴절이 생겨, phase shift가 출력단에 생겨진다[1]. phase shift는,

$$\Delta\theta = (2\pi L/\lambda)(n_x - n_y) = \pi(E/E\pi) + \pi(E/E_m)^2 \quad (2)$$

$$E\pi = \lambda/(2n_0^3 r_p L) \quad (3)$$

$$E_m = (2BL)^{1/2} \quad (4)$$

여기서, $\Delta\theta$: Phase Shift,

L : 빛 경로방향에 있는 재료의 길이,

r_p : Pockels 상수,

E 의 크기와 방향은 빛의 방향에 따라 상수로 두었다.

상기 식으로부터 입력 광강도와 출력 광강도의 비를 나타내면,

$$I_o/I_i = \sin^2(\Delta\theta/2) \quad (5)$$

이다. 여기서, I_i : 입력 광 강도,

I_o : 출력 광 강도이다.

이때, Pockels 효과가 지배적인 경우는,

$$I_o/I_i = \sin^2((\pi/2) + (E/E\pi)) \quad (6)$$

Kerr 효과가 지배적인 경우는,

$$I_o/I_i = \sin^2((\pi/2) + (E/E_m)) \quad (7)$$

표 2는 여러 Pockels/Kerr 재료에 대한 전계 감도를 보여주고 있다. 변압기에 대해서는 절연유를 소자로

Kerr효과를 이용한 전압측정을 실시한 곳도 있지만, GIS에 대해서는 주로 Pockels 소자를 이용하여 전압(전계)를 측정하고 있다. 그러나, SF6 가스를 소자로 Kerr효과를 이용한 전압측정을 검토한 결과도 보고되고 있다.

2.2 구성

그림 2는 포켈스 소자를 이용한 전압 센서의 기본구성을 보여주고 있다[2]. 크게 나누어서, 검출부, 광전송부, 계측부로 구성되어진다. 검출부는 포켈스 소자, 편광자 및 검광자로 구성되고, 계측부의 발광소자(LED, LD(Laser Diode), SLD(Super Luminescence Diode))로부

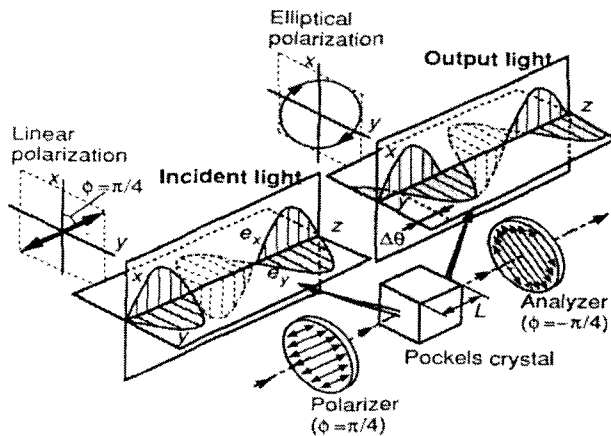


그림 1. 전기광학 효과의 원리

표 2. 비유전율을 갖는 Pockels와 Kerr 소자의 전계 감도(1)

Pockels material	Relative permittivity	Half-wave voltage $E_{\pi}L(kV)$
Quartz	4	450
$Bi_4Ge_3O_{12}(BGO)$	16	31
ADP, KDP	$e_{//z} 20, e_{\perp z} 50$	10
ZnS, ZnTe	7 ~ 10	4 ~ 10
$Bi_{12}SiO_{20}(BSO), Bi_{12}GeO_{20}(BGO)$	50 ~ 60	4 ~ 8
$LiNbO_3, LiTaO_3$	$e_{//z} 50, e_{\perp z} 100$	3 ~ 8

Pockels material	Relative permittivity	Field magnitude for first maximum $E_m(MV/m)$
<Liquid>		
Transformer oil	2	$13 / L^{1/2}$
Benzene C_6H_6	2.3	$11 / L^{1/2}$
Pure water H_2O	80	$4 / L^{1/2}$
Chloroform $CHCl_3$	5	$3.8 / L^{1/2}$
Toluene $C_6H_5CH_3$	2.4	$2.5 / L^{1/2}$
Chlorobenzene C_6H_5Cl	5.6	$2.1 / L^{1/2}$
Nitrotoluene $C_6H_4NO_2$	25	$0.6 / L^{1/2}$
Ethylene carbonate $C_3H_4O_3$?	$0.5 / L^{1/2}$
Nitrobenzene $C_6H_5NO_2$	36	$0.4 / L^{1/2}$
<Gas>		
SF_6	1	$2000 / L^{1/2}$
N_2	1	$1000 / L^{1/2}$
O_2	1	$800 / L^{1/2}$
CO_2	1	$400 / L^{1/2}$
<Solid>		
Lead glass	7	$23 / L^{1/2}$
PMMA(Acrylic)	3	$16 / L^{1/2}$
KTN $KTa_{0.65}Nb_{0.35}O_3$	6000	$0.01 / L^{1/2}$

z : optic axis, light wavelength 632.8nm is assumed in calculation of half-wave voltage for Pockels material, L : light path length

터 광 전송부(광 파이버)을 경유해 보내진 광을, 전기-광학소자가 보유하고 있는 포켈스 효과로부터, 피측정전압(전계)강도에 대응해서 광 강도변조를 행한다. 강도변조 되어진 광은 광전송부(광 파이버)를 거쳐 계측부의 수광소자(포토다이오드)로 보내진다. 계측부의 수광부에서 광전변환을 행하고, 전기신호로 처리되는것에 의해 변조성분을 취하고, 피측정전압

(전계)에 비례해서 전압을 출력한다.

2.3 광 PD의 종류

고전압 측정을 위한 센서로는 광 PD 방식이 주로 이용되고 있다. 이런 광 PD의 분류방법은, 소자의 종류, 취부방법, 변조방법 등으로 여러 종류가 있지만, GIS에 적용되는 경우로 국한한다면, 기기로의 취부

방법으로 그림 3과 같이 분류가 가능하다. GIS에 광 PD를 운용하는 경우, 특징적인 것은 정전 분압식을 이용한다는 점이다. 센서의 설치위치에는, 주회로측, 대지측의 두가지 방식이 있으며, 센서의 인가 전계를 높일 수 있는 경우, 혹은 전극의 치수를 소형화하는 경우는 주회로측 설치로 한다. 대지측에 설치하는 경

우는, GIS 용기의 외부에 접속하는 것이 가능하기 때문에, 보호를 행하기는 유리하다.

2.4 보정과 측정 시스템

Pockels 계수와 Kerr 상수는 제조공정, 환경에 따라 변동되기 때문에 Calibration 과정을 통해 출력광

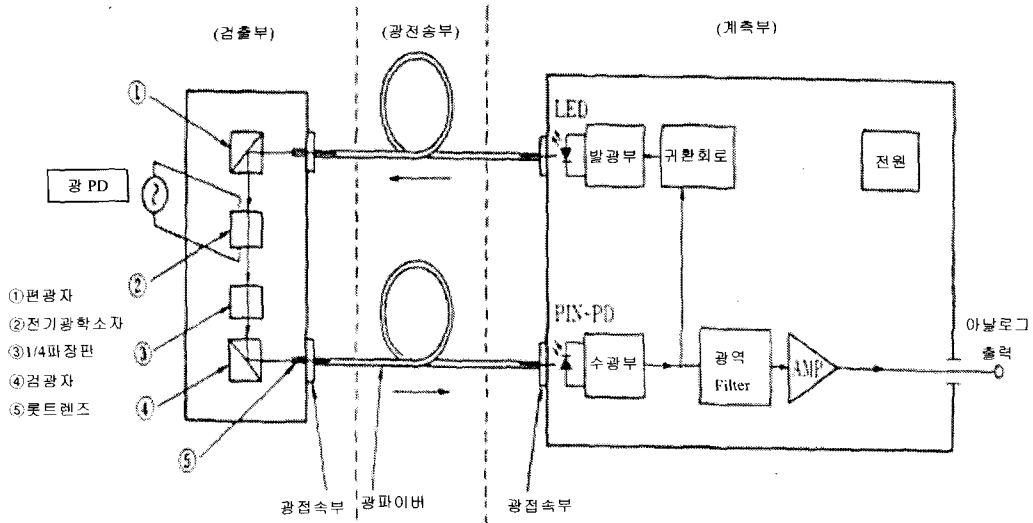


그림 2. 전압센서(광 PD)의 구성(2)

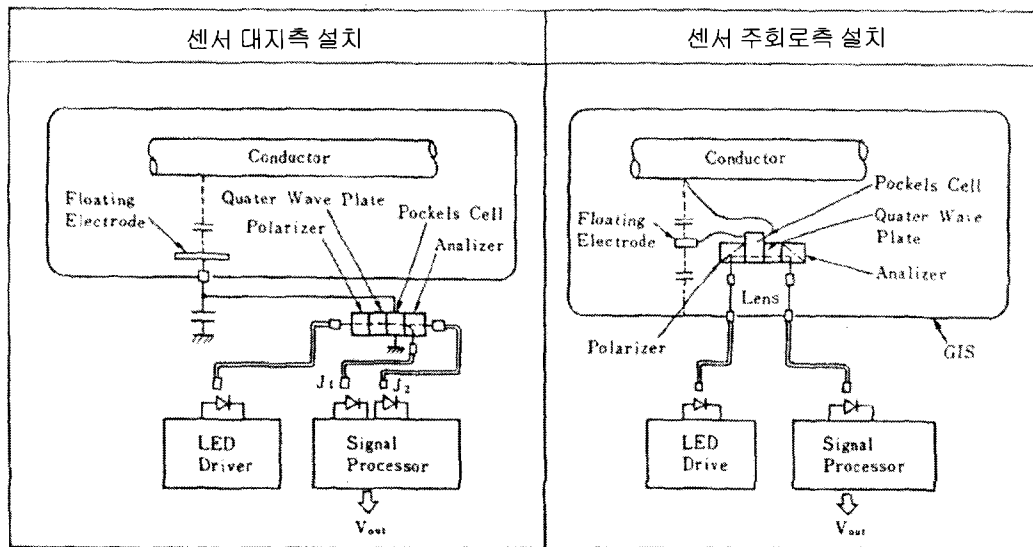


그림 3. GIS용 광 PD의 분류(2)

원과 인가전계 사이의 관계를 규정해야 한다.

참고 문헌 [1]에 나타낸 방식으로 여러 종류의 실험조건에서 전계보정(paralell-to-plane gap, sphere-to-plane gap, sphere-to-sphere gap)을 실시할 필요가 있다.

2.5 측정시스템의 응답특성

전기-광학효과를 이용한 전계센서의 최소감도는 광원과 photo detector의 노이즈 레벨에 의해 좌우된다. 현재로서는 Pockels 센서에 대해서는 0.1 [V/cm][3], Kerr 센서에 대해서는 100[V/cm][4] 정

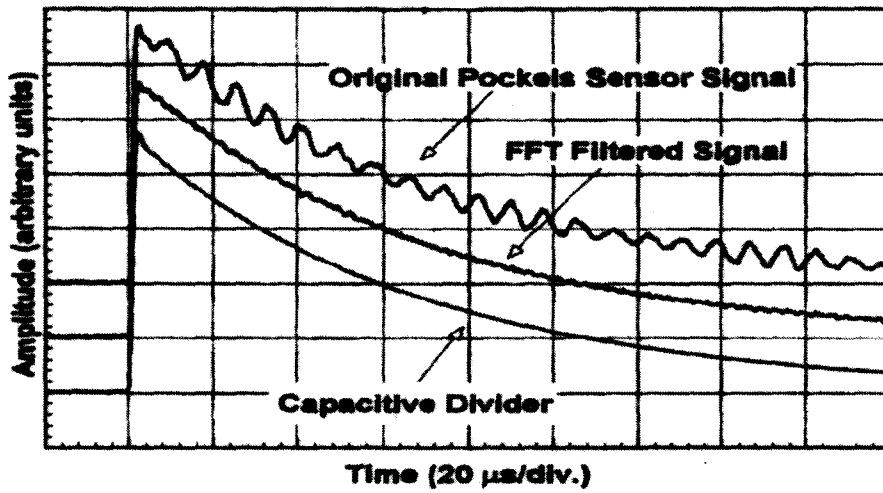


그림 4. 임펄스 전계하에서 측정되어진 진동성분이 포함된 광학 출력

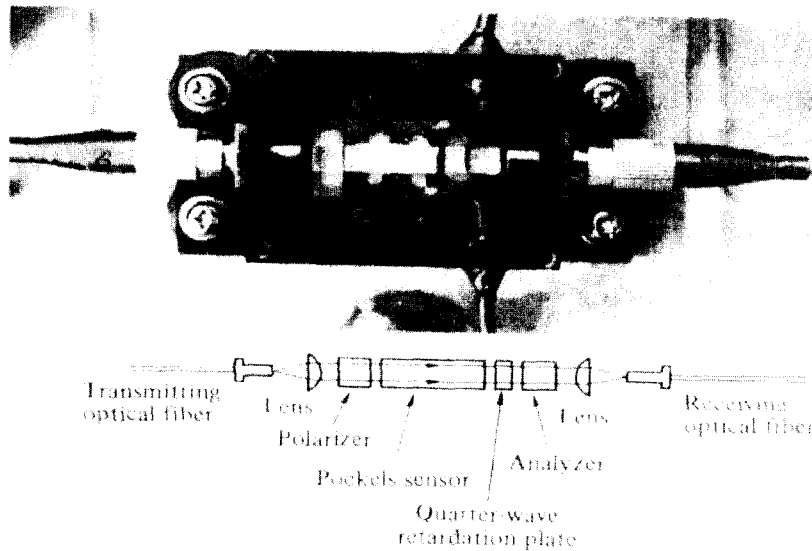


그림 5. 3상 300(kV) GIS용 Capacitive PD(Toshiba사)

도로 보고되고 있다. 또한 주파수 범위는 Pockels 센서에 대해서는 수십 [GHz]까지, Kerr 센서에 대해서는 수백 [MHz] 정도이다. 그림 4는 lighting impulse 전계(1.5/48[μ s])에 대한 Pockels 센서의 응답특성을 보여주고 있다[1]. 그러나 압전효과에 의해 신호가 진동되고 있음을 보여주고 있다.(1-10[mm] 정도의 센서의 경우 수백[kHz]에서

수 [MHz]정도) 따라서, 향후 실제품화를 위해서는 압전 효과를 고려하여 박막형센서 제작, 디지털 Filter 적용이 고려되어야 한다고 생각된다.

2.6 국외 Maker의 기술 동향

표 3은 국외 Maker에서 개발 보고된 GIS용 광학 PT의 주요 내용을 정리하여 보여주고 있다.

표 3. 최근 개발된 광학 PT 사례

재 료	적 용 장 소	방 식	개발연도	Maker	참고문헌
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	Capacitive PD for 3-phase 77[kV] GIS	-	1985	-	
$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	Capacitive PD for 66[kV] GIS	정전분압 (센서 대지측 설치)	1986	Hitachi사	[5]
$\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	500[kV] GIL, 77[kV] PT, 300[kV] GIS	정전분압 (센서 주회로측 설치)	1987	Sumitomo사 (일본)	[6]
BGO	72[kV] C-GIS	정전분압 (센서 대지측 설치)	1989	Takaoka사 (일본)	[2]
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	Capacitive PD for 3-phase 300[kV] GIS	정전분압 (센서 대지측 설치)	1990	Toshiba사 (그림5)	[7]
$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	Capacitive PD for 77[kV] GIS	정전분압 (센서 대지측 설치)	1992	Hitachi사	[8]
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	Capacitive PD for 1100[kV] GIS 실증시험장	정전분압 (센서 대지측 설치)	1994	Toshiba사	[9]
$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	Capacitive PD for 1100[kV] GIS 실증 시험장	정전분압 (센서 대지측 설치)	1994	Hitachi사 (그림6)	[10]
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	Capacitive PD for 1100[kV] GIS 실증 시험장	정전분압 (센서 대지측 설치)	1994	Mitsubishi사	[11]
Lithium Niobate	연구용	-	1998	Uni. British Columbia (캐나다)	[12]
광학 Crystal	170[kV] GIS	정전분압 (센서 주회로측 설치)	1998	ABB (그림7)	[13]
광학 Crystal	69[kV]~765[kV]급, Bushing형	정전분압 (센서 대지측 설치)	1999	Nxtphase사 (캐나다)	[14]
BGO	~345[kV]급, Bushing형	-	2000	Alstom사	-

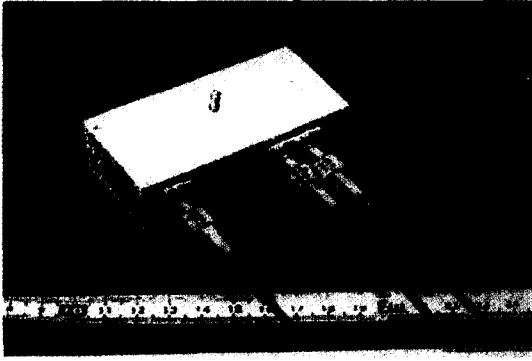


그림 6. 1100(kV)GIS 실증시험장에 사용된 Capacitive VD(Hitachi사)

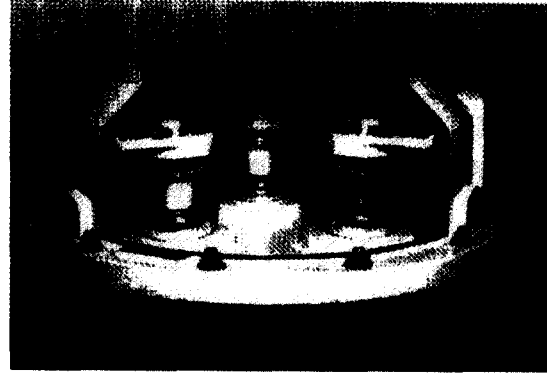


그림 7. 170(kV) GIS용 PD(ABB사)

표 4. Nxtphase사와 Alstom사의 광학 PT 사양 비교

항 목		Alstom사	Nxtphase사	
정확도		Class 0.2/Class 3P	Class 0.2/Class 3P	
사용센서		BGO Crystal	Electro-Optic Crystal	
출력신호	디지털	Metering-용	4V(10kΩ 이하)	2V(1kΩ)
		Protection-용	2V(10kΩ 이하)	4V(1kΩ)
	아날로그	Metering-용	120/√3V(0.5VA)	120/√3V 또는 120V(2kΩ)
		Protection-용	-	-
설치		Composite Hollow Bushing 내부 (광학 CT/PT 콤비)	Composite Hollow Bushing 내부 (광학 CT/PT 콤비)	
주요원리		Pockels Effect, Potential Difference 이용, 분압 원리 이용	Pockels Effect, 광원을 두 개 사용 함으로서 감도향상	
기준규격		IEC 60044-8	IEC 60044 IEEE P1525	

표 3의 GIS용 광학 PT 제품들은 아직까지 상용화 되었다는 보고는 입수되지 않았으며, 최근들어 변전소 개방형 혹은, GIS 적용가능형으로 Hollow Bushing에 탑재된 광학 PT가 상품으로 선보이고 있다. 표 4는 최근 상품으로 선보이는 캐나다 Nxtphase사와 Alstom사의 상세 사양을 비교하여 보여주고 있다.

3. 광학 CT

3.1 자기광학 효과 기본이론

광학 CT는 자기-광학(Magnetic-Optic) Faraday 효과를 이용하여 도체로부터 누설된 자계를 측정하는 것에 의해 전류를 측정하는 것이다.

그림 9는 Faraday 효과에 대한 개념도이다. 이 효

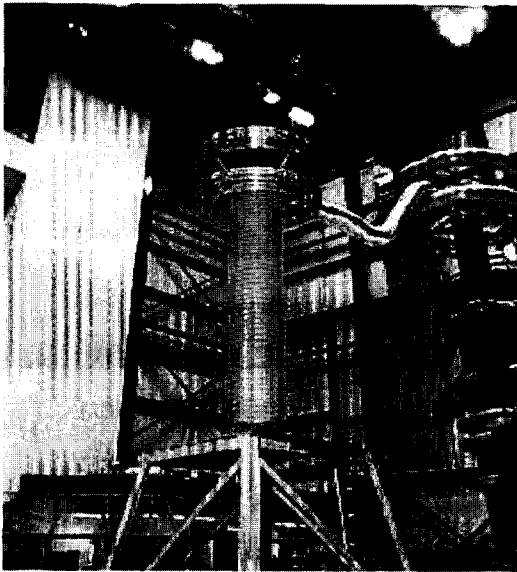


그림 8. Nxtphase社 230[kV] 광학 PT

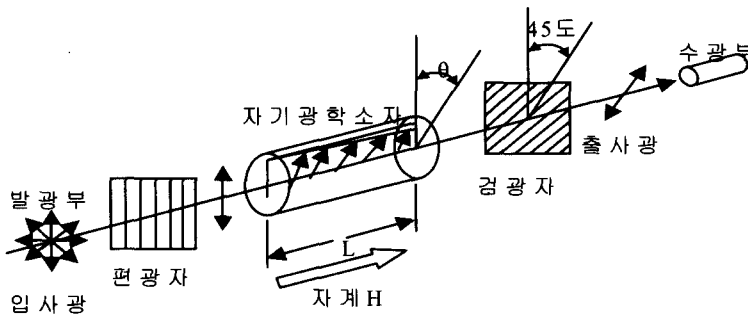


그림 9. Faraday 효과 개념도

과는 선형 편광된 빛이 자계의 영향을 받고 있는 (자계가 인가된) 매질을 통해 지나갈 때, 빛의 편광면이 광의 전파와 함께 회전되는 현상이다. 즉, 어떤 결정에 가해지는 자계의 방향과 평행하게 직선편광된 빛을 전파시키면 자계의 세기에 비례하여 광의 편광면이 회전하게 되는데 이러한 광학적 현상을 Faraday 효과라고 한다. Faraday 효과를 가지는 소자를 Faraday 소자라고 하며, 납유리, BGO, BSO,

ZnSe, YIG 등이 있다.

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

$$\theta = V H L \quad (8)$$

여기서, V : Verdet 정수[rad/A]

H : 자계강도[A/m]

L : Faraday 소자에서의 광학경로길이[m]

Verdet정수는 Faraday 효과의 크기를 나타내는 물질정수이다. Verdet정수는 Faraday 소자의 자기적 특성에 따라 달라지는데 반자성체(diamagnetic materials)는 Verdet정수가 작지만 온도의 영향을 받지 않는다. 이에 반해, 상자성체(paramagnetic materials) 또는 강자성체(ferromagnetic materials)는 Verdet정수값이 좀 더 크긴 하지만 항상 온도의 영향을 받는다[15]. 그러므로, 상자성체나 강자성체를 소자로서 이용하게 되면, 원하는 정밀도를 가진 측정값을 구하기 위해 매우 정확한 온도 측정 및 보정이 필요하므로 자기광학 변류기의 센서소자로서 이용하는 데는 반자성체가 적합하다고 할 수 있다[16].

또한, Verdet정수는 광의 파장 의존성이 강한 점을 들 수 있다. 따라서, 좁은 스펙트럼 대역을 가지는 레이저(예를 들어 He-Ne laser, laser diode 등)를 광원으로서 이용하는 것이 측정결과에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

또한, 재료의 종류에 따라 optical rotation이 있는 경우가 있고 없는 경우가 있는데, 있는 경우는,

$$\theta = VHL + \phi_0 * L \quad (9)$$

여기서, φ_0 : 광학 회전력[rad/m] 이다.

이렇게 자계에 따라 변동되는 rotation angle은 출력 광원의 강도로 나타나는데, 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P = P_0 / 2(1 + \sin 2\theta) \quad (10)$$

여기서, P_0 : 자계가 없을 때의 초기 광원

또한, 자계와 광의 진행방향이 직교할 때 자계에 평행인 광의 진동면에 대한 굴절율이 다르기 때문에 자기유도 복굴절이 관측되는데, 이를 Voigt효과라고 하는데, 이를 이용한 전류측정방식도 거론되고 있다.

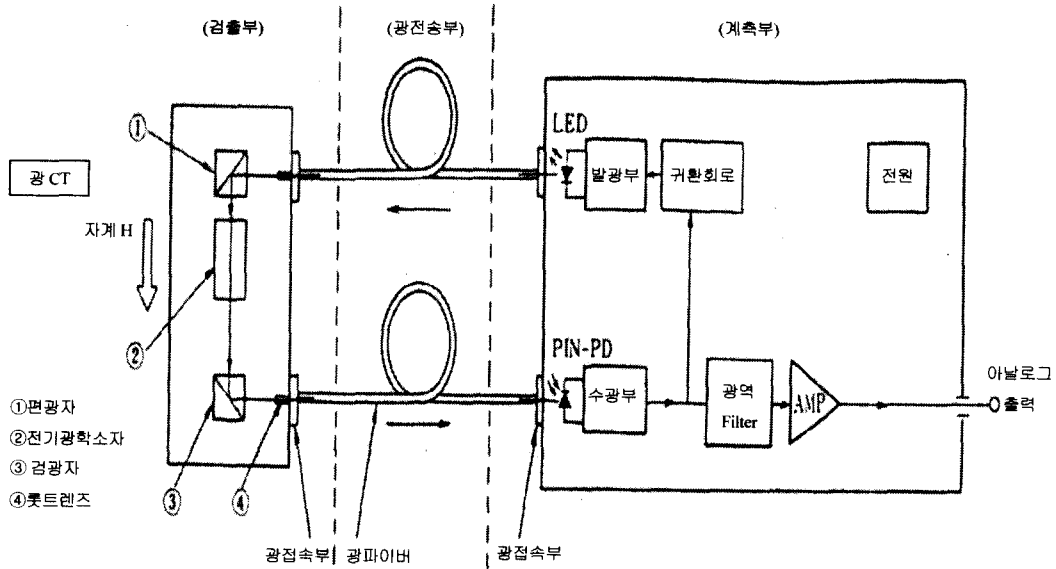


그림 10. 자기센서(광 CT)의 구성

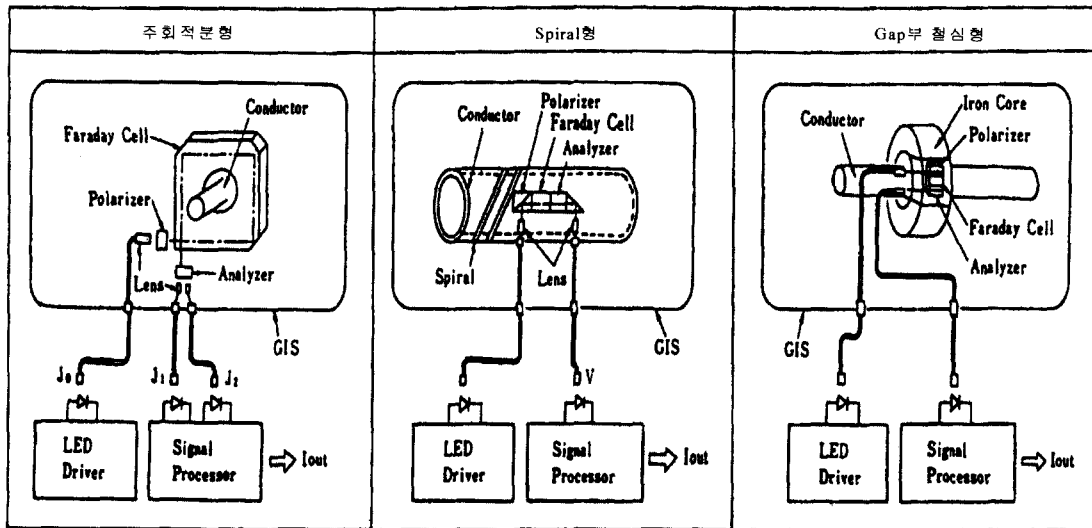


그림 11. GIS용 광 CT의 분류

3.2 광 CT의 구성

그림 10은 Faraday소자를 이용한 자기센서의 구성 예이다[2]. 크게 나누어 검출부, 광 전송부, 계측부로 구성된다.

검출부는 Faraday 소자, 편광자 및 검광자로 구성되고, 계측부는 발광소자(LED, LD, SLD)로부터 광 전송부(광 파이버)를 경유해 보내진 광을, 자기광학 소자가 보유하고 있는 Faraday 효과로부터, 피측정 자계의 강도에 대응해서 광 강도변조를 행한다. 강도 변조되어진 광은 광전송부(광파이버)를 거쳐 계측부의 수광소자(포토다이오드)로 보내진다. 계측부의 수광부에서 광전변환을 행하고, 전기신호로 처리되는 것에 의해 변조성분을 취하고, 피측정자계에 비례해서 전압을 출력한다.

3.3 광 CT의 종류(GIS로의 적용)

광 CT의 분류는, 취부방법, 변조방법 등으로 종류를 나눌 수 있으나, 여기에서는 GIS의 적용에 대하여, 그림 11에 소개한 바와 같이 나눌 수 있다.

또한, 광 PD와 동일하게 전류 보정 과정을 통해, 출력광원과 인가전류 사이의 관계를 규정해야 한다. 그림 12는 최근에 M. Takahashi 그룹이 550kV 8000A 용으로 개발한 광학 CT의 GIS 취부 구조를 보여주고 있다. 약 5~6[kg/cm²]·G 정도의 고압의 SF6 가스 영향을 받지 않는 구조로 조립되어 있다[17].

3.4 국외 Maker의 기술 동향

표 5는 국외 메이커에서 개발 보고된 GIS용 광학 CT의 주요 내용을 정리하여 보여주고 있다.

표 5. 최근 개발된 광학 CT 사례

재 료	적 용 장 소	방 식	개발연도	Maker	참고문헌
borosilicate crown glass	66[kV] 2000[A] GIS	주회적분형	1986	Hitachi사	[5]
ZnSe polycrystal + Bi ₁₂ SiO ₂₀	77[kV] 800[A]	갭 부착 철심형	1987	Sumitomo사	[6]
RIG	72[kV] C-GIS	갭 부착 철심형	1989	Takaoka사	[2]
Flint glass(SF57)	GIS-type Optical CT for 300[kV] 4000[A] 63[kA] GIS	주회적분형	1990	Toshiba사	[7]
optical fiber	CT for 77[kV] 1200[A] 31,5KAGIS	파이버 루프형	1992	Hitachi사 (그림12)	[8]
Bi ₁₂ SiO ₂₀ (BSO)	66[kV] 변전소용	갭 부착 철심형	1992	NGK사 (그림13)	[18]
optical fiber	66[kV] GCB	파이버 루프형	1995	Takaoka사	[19]
YIG	변전소용	연구용으로	1995	NGK사	[20]
Silica optical fiber	550[kV] 8000[A] 63[kA] GIS	파이버 루프형	1997	Toshiba사 (그림14)	[17]
광학 Crystal	300[kV] 변전소	DOIT 적용 CT	1998	ABB사	[13]
optical glass ring	Bushing형(100[kV]~800[kV])	루프형(CTO)	-	Alstom사	-
Optical Fiber	Bushing형(69[kV]~765[kV])	루프형	1999	Nxtphase사	[21]
Optical Fiber	Bushing형 외측에 별도 설치형	루프형(SIFOCS)	1999	Siemens사	-

지탈전력계통에 적합한 GIS를 구성하는데 있어, 광학적 소자를 이용하여 전압, 전류를 측정하는 광학 CT·PT 계측 시스템은 앞에서 기술한 바와 같이 설비 점유면적 감소, 계통보호제어시스템의 신속성 향상, 전력계통의 안정성 향상, 디지털계전시스템의 호환성 증가, 경제적 비용의 절감 등의 장점을 가지고 있다.

세계적으로 아직까지 상업 운전용으로 GIS용 광학 CT·PT가 적용되었다는 보고는 없지만 실증 시험, IEC 규격제정, 2차 출력 및 통신 프로토콜 제정 등 선진 GIS 메이커에서는 적극적인 도입을 추진하고 있으므로, 국내에서도 이 분야에 대한 적극적인 적용을 목표로 하는 활성적인 연구 및 검토가 절실히 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] K. Hidaka, "Electric Field and Voltage Measurement by Using Electro-Optic Sensor", High Voltage Engineering Symposium(IEE), 2.1.S2-2.14.S2, 1999.
- [2] A. Okahara, "Optical CT and Optical PT for GIS", Takaoka Rev., Vol. 37, No. 3, pp 22-29, 1989(In Japanese).
- [3] Y. Murooka et al, IEE Proc., Sci. Meas. Technol., Vol 141, pp 481-485, 1994.
- [4] T. Maeno and T. Takada, Trans. IEE Japan, Vol. 107, pp 395-401, 1987.
- [5] M. Kanoi et al, "Optical Voltage and Current Measuring System for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 1, January 1987.
- [6] T. Mitsui et al, "Development of Fiber-Optic Voltage Sensors and Magnetic-Field Sensor", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD, No. 1, January 1987.
- [7] T. Sawa et al, "Development of Optical Instrument Transformer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990.
- [8] S. Kobayashi et al, "Development and Field Test Evaluation of Optical Current and Voltage Transformers for Gas Insulated Switchgear", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992.



그림 12. Optical CT for 77(kV) 1200(A) 31.5(kA) GIS(Hitachi사)

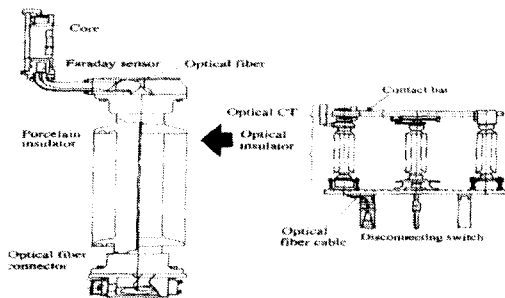


그림 13. 66(kV) 변전소용 Optical CT(NGK사)

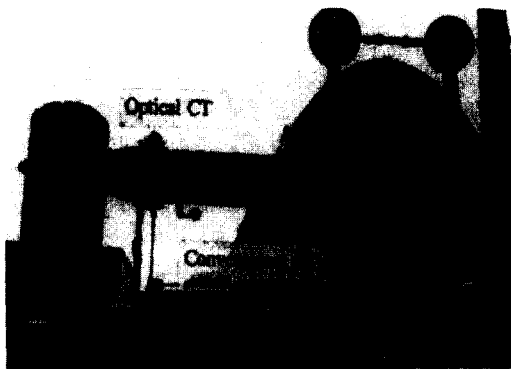


그림 14. 550(kV) 8000(A) 63(kA) GIS용 Optical CT(Toshiba사)

4. 결론

디지털보호계전방식을 적용하는 디지털변전소, 디
第 16 卷 第 3 號 2002 年 6 月

- [9] Y. Danaka et al, "1,000KV GIS용 계기용 변성기의 개발", IEEJ SP-94-91, 1994(In Japanese).
- [10] Y. Danaka et al, "1,000KV GIS용 광 FD의 개발", IEEJ SP-94-92, 1994(In Japanese).
- [11] Y. Danaka et al, "1,000KV 광 FD의 개발·검증", IEEJ SP-94-93, 1994(In Japanese).
- [12] N. A. F. Jaeger et al, "On Line Dissipation Factor Monitoring of High-Voltage Current Transformers and Bushing", CIGRE Report 12-102, 1998.
- [13] A. Schnettler et al, "Experience with Optical Instrument Transformer", CIGRE Report 12-104, 1998.
- [14] J. Rahmation et al, "Optical Voltage Transducers for High-Voltage Application", Nxtphase Report, 1999.
- [15] A. J. Rogers, "Optical Technique for measurement of Current at High Voltage", Proc. IEE, Vol. 120, No. 2, February 1973.
- [16] A. Papp et al, "Magneto Current Transformer", Applied Optics, Vol. 19, No.22, 1980.
- [17] M. Takahashi et al, "Optical Current Transformer for Gas Insulated Switchgear Using Silica Optical Fiber", IEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.
- [18] Y. Yamagata et al, "Development of Optical Current Transformer and Application to Fault Location Systems for Substation", IEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1992.
- [19] J. Yoshida et al, "GCB용 남 유리 파이버 센서형 광 CT의 개발", Takaoka Review, 1995.
- [20] H. Akatsuka et al, "High-Sensitivity YIG Current Sensor with a Light Reflection Technique", 11th Conference on Gas Discharges and Their Application, II-214, 1995.
- [21] D. P. Hrabliuk, "Interfacing Optical Current Sensors in a Substation", Nxtphase Report, 1999.

◇ 저 자 소 개 ◇



송 원 표(宋元杓)

1958년 9월 23일생. 1981년 서울대 원자핵공학과 졸업. 1991년 경남대 전기공학과 졸업. 1985년~현재 효성중공업 연구소 수석연구원.

Tel : 055-268-9916, Fax : 055-268-9928
E-mail : wpsong@hyosung.com



김 정 배(金正培)

1966년 10월 12일생. 1989년 한양대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 일본 규슈대학 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991~현재 효성 중공업연구소 창원원분소 책임연구원.

Tel : 055-268-9917, Fax : 055-268-9928
E-mail : hico-jbkim@hyosung.com



김 민 수(金旼秀)

1971년 1월 24일생. 1997년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 효성 중공업연구소 창원원분소 연구원.

Tel : 055-268-9917, Fax : 055-268-9928

E-mail : mskim57@hyosung.com



박 원 주(朴元柱)

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학 대학원 졸업(공학박사). 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 당학회 대구·경북지회연구조

사이사, 대한전기학회, 일본전기학회, 일본응용물리학회, 일본 플라즈마핵융합학회 정회원.