

광 전류·전압 센서의 적용사례 조사 연구

김영수*
초당대학교

A survey of the application cases of optical current and voltage sensors

Young-Soo, Kim*
Chodang University

Abstract - In this paper, some of optical current transformers and optical potential transformers for extra high voltage system are introduced. The optical current transformer and optical potential transformer will be adopted in the near future, because of increasing demands of high accuracy and good reliability of current transformer and potential transformer. The application cases of optical current transformers and optical potential transformers are also introduced.

위해서 그림 1에서 보여주는 바와 같이 창공 변전소에 설치하여 1992년 5월부터 약 1년여간 현장시험을 실시하였다. 그 결과 설계 규격에서 제시한 측정오차 범위 3% 이내를 만족하기 때문에 현장 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

전력수요가 급격히 증가하면서 전력설비의 초고압화 및 대용량화가 요구되고 한편으로는 전력의 안정적인 공급과 효율적인 이용이 요구되고 있다. 송전전압이 초고압화 되는 경우 전류, 전압의 정확한 계측은 전력계통의 제어 및 보호상 점점 중요시 되고 있지만, 기존 기술의 확장에 의한 콘덴서형 계기 변압기는 절연특성, 기계적 강도, 경제성 등의 많은 문제점을 가지고 있다. 또, 각종 임펄스성 전압, 전류 그리고 자연계의 기상 변화에 의한 뇌 서지 등이 직접경로를 통해서나 간접적인 정전 유도나 전자유도에 의해서 각종 발전소의 계측·제어 장치에 악영향을 주고 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 기술이 최근 각광을 받고 있는 광섬유 센서 기술이다. 광섬유 센서 기술은 고절연성, 무유도성, 방폭성, 광응용 기술과의 적합성 등의 특징이 있어 전력 기기에 적용하기에 최적의 기술로 평가되고 있다. 전력시스템에서 광CT(Optical Current Transformer), 광PT(Optical Potential Transformer)는 가장 활용도가 크다. 따라서 국내·외적으로 많은 연구자들이 광CT, 광PT 개발에 초점을 두고 실용화 연구를 진행하였다. 그동안 광CT, PT에 대한 연구가 활발히 진행되어 만족할만한 연구 성과와 결과를 얻은 것으로 보고되고 있으며, 최근에는 전력계통 실 선로에서 실증시험과 신뢰성 시험 등이 진행되고 있다.

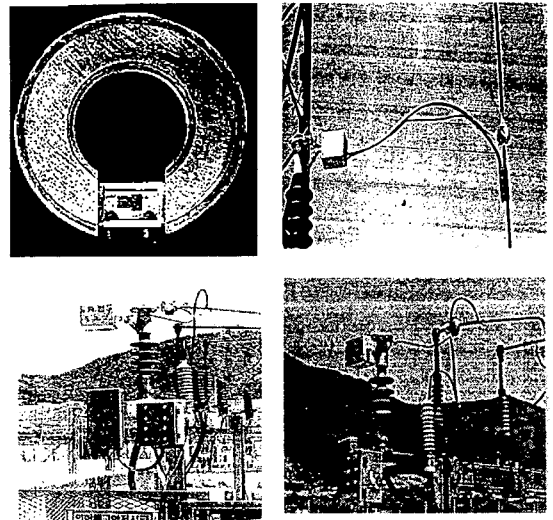


그림 1. 송·배전용 광 센서 및 현장시험 사진

본 연구에서는 광CT, PT에 대한 활발한 실용화 연구가 진행되고 있는 시점에서 광CT, PT의 국내·외 적용 사례를 조사 분석함으로써 앞으로의 광CT, PT의 연구 개발에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 국내 광 CT, PT 연구 현황

2.1.1 송·배전용 광CT, PT 현장시험

국내 154kV급 변전소의 상시 전류를 계측하기 위한 광전류 센서는 파라데이 소자인 ZnSe, BSO를 사용하고 자속을 집중시키기 위한 철심 코어를 채용하여 그림 1과 같이 광전류 센서를 일체화 시켰다. 센서의 특성을 확인하기 위한 온도 의존성 시험에서 비오차가 ±1% 이내가 됨을 확인할 수 있었다. 그리고 성능을 확인하기

2.1.2 광 CT/PT 내장형 배전자동화 개폐기

배전계통의 감시 제어 및 보호 기능을 고도화하기 위해서는 현재 변전소에서 행하고 있는 상시 및 사고시의 전압 및 전류 계측을 배전선로 측에도 확대하여 광범위하게 분포되어 있는 배전선로의 전압 전류를 수집하는 배전자동화 시스템의 구축이 필요하다. 그러나 주상에 있어서 고신뢰도 및 고정도의 전력량을 계측하기 위해서 기존의 PCT와 같은 전기적 계측방식의 적용에는 온도 변화에 따른 계측오차 등이 문제점으로 대두되고 있다.

본 연구에서는 광전류 및 전압 센서를 내장한 자동화 개폐기를 개발할 목적으로 파라데이 소자는 RIG 박막, 포켈스 소자는 BSO 결정을 사용하여 제작하였으며 그림 2는 설계 제작한 광센서의 사진을 나타낸다. 여기서 광전압 센서는 자동 개폐기내의 공간이 협소하기 때문에 절연확보를 위해서 공간 전체에 의한 전압공급 방식을 사용하였다.

특성시험 결과 광전류 및 전압 센서의 -20℃~60℃의 온도 범위에서 온도 의존성에 의한 비오차가 ±1% 이내를 나타냈다. 그리고 광전압 센서의 선형성 오차는 6kV~20kV 범위에서 1% 이내이고, 광전류 센서의 선형성 오차는 20A~700A 범위에서 2% 이내임을 확인할 수 있었다.

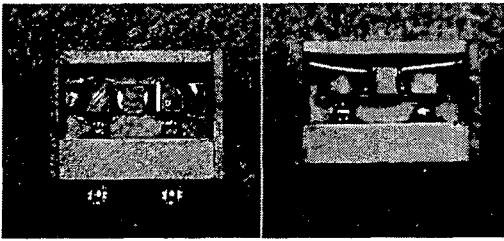


그림 2. 송·배전용 광 CT/PT 센서 사진

표 1. 국내 광 CT/PT 연구 개발 현황

측정 대상	방식/센서	용도 및 특징	개발 단계	기관명
전류	파라데이(RIG)	송배전용 전류 계측	시작품	KEPCO, 초당대
	파라데이(RIG)	배전용 플드식 차단기	시제품	KEPCO, 예도움텍스, 초당대
	파라데이(RIG)	배전용 광 MOF	시작품	KEPCO, 태광전기
	파라데이(ZnSe)	154kV 송전선 전류 계측	시작품	KEPCO, KERI
	파라데이(ZnSe)	22.9kV 배전선 전류계측	시작품	KEPCO, KERI
	파라데이(YIG)	보호 계전기용 광전류 센서	시작품	KERI, 대연전자
	파라데이(YIG)	지중 송전선 사고점 검출	기초연구	KEPCO, KERI
	파라데이(YIG)	서지 전류 계측	기초연구	SERI
	광섬유 간섭계	Sagnac 간섭계 이용 센서의 안전화 방안 연구	원리확인	성균관대
전압	포렐스(BSO)	배전용 플드식 차단기	시제품	KEPCO, 예도움텍스, 초당대
	포렐스(BSO)	배전용 광 MOF	시작품	KEPCO, 태광전기
	포렐스(BSO)	22.9kV 배전선 전압계측 현장시험 실시(1년간)	시작품	KEPCO, KERI
	포렐스(BSO)	임펄스 전압 측정 주파수 범위 : 0~10kHz	원리확인	KERI
	광섬유 간섭계	Mach Zehnder 간섭계 이용 센서 해도 : 압전소자(PZT)	원리확인	KAIST, 중앙대
전압 전류	RIG/BSO	광계측 배전자동화 개폐기 공간전계에 의한 전압공급	시작품	KERI, 일진전기

2.2 일본의 CT/PT 적용 연구 현황

광계측 분야에서 많은 연구 실적을 가지고 있는 일본은 1960년대에 동경대학에서 레이저를 이용한 전류계측 시스템에 대한 연구를 실시한 후 전력중앙연구소, 도시바, 스미토모, 히타치 등이 주축이 되어 송전 및 배전 계통, 전력기기 등 전반적인 전력분야에 적용하기 위한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

2.2.1 고장점 검출 광센서

송전구간의 경계에 설치한 광전류 센서가 검출한 전류의 대소와 위상을 비교하여 지락 방향을 확인하게 되는데 2개의 광센서 사이에 사고가 발생한 경우 각 센서에서 검출한 전류의 위상이 180° 차이가 있기 때문에 고장점을 판정할 수 있다. 그리고 2개 광센서 외측에 사고가 발생할 경우 전류의 위상은 동상이지만 전류의 크기를 비교하여 고장점을 판정한다. 그림 3은 가공 송전선용 광전류 센서의 외관을 나타낸다.

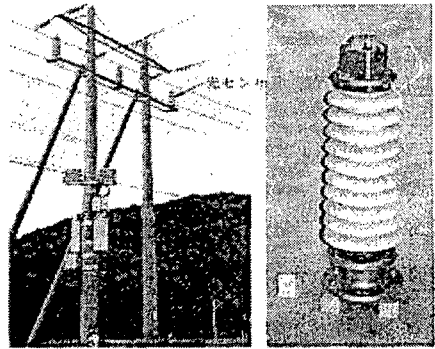


그림 3. 가공 송전선용 광전류 센서의 외관

2.2.2 지중 송전 케이블용 광전류 센서

사고점에서 발생한 서지 전류가 송전 케이블에서 속도 (v)로 전송된다면 사고점을 사이의 2개소의 광전류 센서에 서지 전류가 도달하는 시간차로부터 사고점의 위치를 확인할 수 있으며 그림 4에 광센서의 외관을 나타낸다.

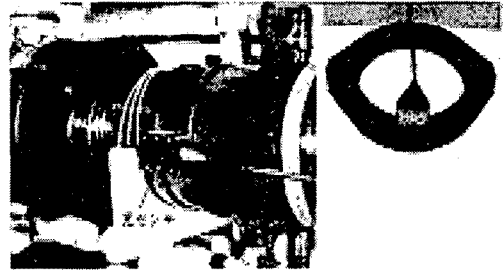


그림 4. 지중 송전 케이블용 광전류 센서의 외관

2.2.3 가공 배전선용 광전류 센서

기존 시스템에서는 지락사고가 발생한 경우 분산 설치되어 있는 원격 제어용 자동개폐기를 변전소에서 가까운 구간부터 투입하여 사고구간을 확인하고 있지만 사고점의 신속한 탐사 및 복구를 위한 효율적인 방법이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해서 그림 5와 같은 광전류 센서를 배전계통에 적당한 간격으로 설치해 놓고 각각의 센서가 표시하는 지락점의 방향을 나타내면 사고구간을 보다 세밀하게 구분할 수 있다.

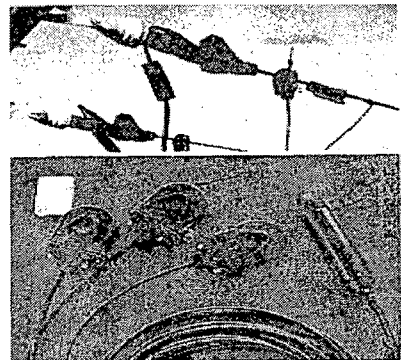


그림 5. 배전용 광전류 센서의 외관

2.2.4 GIS용 광 전류 및 광 전압 센서

송전계통의 전압 및 전류측정은 GIS(Gas Insulated Switchgear) 내에 광전압 센서 및 광전류 센서를 내장하기 위한 광센서가 개발되고 있는데 그림 6은 이에 대한 구성도이다. 여기서 전압은 고압 도체의 표면에 분압전극을 설치하여 이 분압 전극에 유기된 전압을 광전압 센서로 측정하는 방식이다. 그리고 광전류 센서는 도체에 개발된 광전류 센서를 설치하여 자계를 광전류 센서로 측정하는 방식이다. 본 장치는 특성시험 결과 77kV/800A 1.0급이 달성되어 8개월의 장기 시험에서 정상적으로 동작하였다.

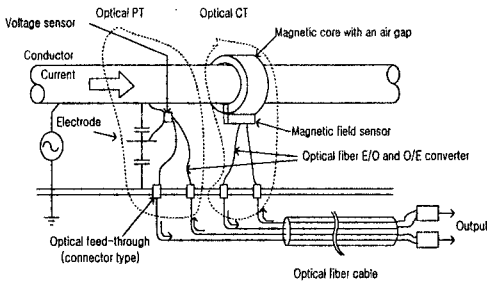


그림 6. GIS용 광전류 및 전압 센서의 구조

2.2.5 서지 전압 검출용 광전압 센서

BSO와 같은 광전압 센서의 주파수 특성이 7MHz까지 가능하기 때문에 주파수 특성이 양호한 센서를 이용하여 서지 전압 검출시스템의 개발 의욕이 고조되었다. 그림 7은 GIS의 내부 전극에서 서지 전압을 측정 가능한 수백 볼트 정도의 저전압으로 변환한 후 광전압 센서로 출력신호를 검출하여 디지털 파형 기록기에 기록하는 시험시스템으로 중부전력에서 특성시험을 실시하였다.

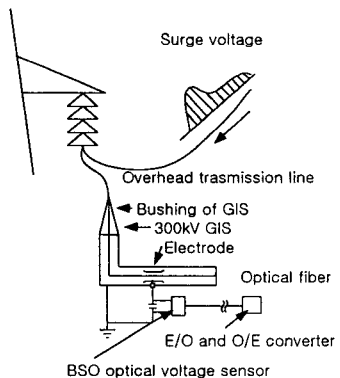


그림 7. 서지 전압 검출용 광전압 센서

2.2.6 송전선 검전 확인용 광전계 센서

그림 8은 66kV 가공 송전선 밑에 광전계 센서를 설치하고 송전선의 충전 및 정전 상태일 때 전계강도 변화를 측정한 데이터이다. 각상이 모두 충전 중과 정전 중일 경우를 비교하면 약 1행 이상 전계강도가 차이가 있어 충·정전의 판정은 용이하게 할 수 있다. 본 실험과 같이 광파이버 전압계를 이용해서 선로의 충·정전을 비접촉으로 판정하는 것은 용이하다.

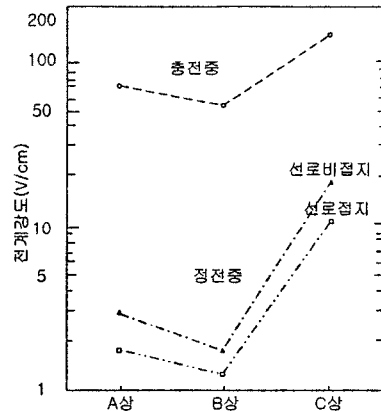


그림 8. 송전선 검전 현황

표 2. 일본의 광 CT/PT 연구 개발 현황

측정대상	원리/센서	용도 및 특성	개발단계	기관명
전류	레이저	레이저 CT	기초연구	東大, 東電
전류	파라데이	광 CT	기초연구	關電, 日立, 他
전류	SM 광파이버	광 CT	원리확인	電中研
전류/자계	파라데이	가변형 전류계측기	실용화	東電, 各電機會社
자계	파라데이	변압기내부 단락검출	원리확인	東電-東大
자계	파라데이(YIG)	광자계 계측기	기초연구	日立電線
전류	E/O 변환	광 CT	기초연구	東電, 關電
전류	E/O 변환	비전류 판측	실용화	關電, 電中研
전류	광섬유	GIS용 광 CT	실용화	東芝
전류	광섬유(납유리)	광 CT	원리확인	東電, HOYA
전류	광학테르모딤	광 CT	원리확인	東電
전류	파라데이(YIG)	변전소 모선 고장검 표정	원리확인	中電, 日本碍子
전압	포켈스(ADP)	LVM	기초연구	電中研, 日新
전압	포켈스	광 PT	기초연구	關電, 日立, 他
전압/전계	포켈스(BSO)	광전압·전계 계측기	실용화	住友電工
전압	포켈스(LiNbO ₃)	광 PT	실용화	松下, 電中研
전압	포켈스	가변형 전압계측기	실용화	東電, 各電機會社
전압	포켈스	써이저 전압 판측	기초연구	中部電, 他
전압	포켈스	배전선 고장전압 검출	기초연구	電中研, 他
전압	포켈스(BSO)	대차 분담 전압 계측	기초연구	住友電工
전압	E/O 변환	광 PT	기초연구	東電, 關電
전압	E/O 변환	써이저 전압 판측	기초연구	東電, 關電, 電中研
전계	포켈스(BSO)	광전계 계측기	기초연구	東電, 住友
전압/전류	BSO/BSO	배전용 광 PCT	기초연구	電中研
전압/전류	BSO/BSO	GIS용 광 PCT	실용화	關西, 日新
전압/전류	BGO/납유리	GIS용 광 PCT	실용화	高岳
전압/전류	LiNbO ₃ /YIG	배전용 광 PCT	실용화	松下電器
전압/전류	BGO/RIG	배전선 고조파 측정기	기초연구	古河, 九州電, 他
전압	포켈스(BGO)	직류전압 측정	원리확인	九州共立大
전압	포켈스(BGO)	직류전압 계측기	실용화	東電, 日立電線
전압	링 간섭계	직류전압 측정	원리확인	Ibaraki Polytecl

2.3 미국 및 유럽의 광 CT/PT 연구 현황

2.3.1 미국의 현황

미국은 1980년대에 westinghouse와 EPRI가 공동으로 LED를 사용한 광전변환 방식의 전류계측에 대한 연구를 실시하였으나 전력분야에 있어서 광전압 및 전류 센서에 대한 연구 개발이 일본 및 유럽에 비해 아주 미진한 실정이다. 최근 미국의 Naval Research Lab.에서 FBG(Fiber Bragg Grating)를 이용한 광자계 센서에

대한 연구가 진행 중에 있으며 지금까지 연구 개발된 전력용 광센서에 대한 연구개발 현황은 표 3과 같다.

표 3. 미국의 광센서 연구개발 현황

측정 대상	원리/센서	용도 및 특성	개발단계	기관명
전 류	E/O 변환	디지털 EHV 전류변환기	기초연구	W.H., EPRI
자 계	파라데이 (YIG)	광자계 측정	원리확인	NIST
자 계	FBG	광자계 측정	기초연구	NRL
전 압	FBG(PZT)	광 PT	원리확인	ABB(US)
전 압	간섭계(PZT)	광 PT	원리확인	Florida Atlantic Uni.
전 압	포렐스(BGO)	광 PT	기초연구	Los Alamos Nat. L.
전 계	간섭계(PVF ₂)	광전계 측정	원리확인	NRL
전 계	Kerr(광섬유)	광전계 측정기	기초연구	NIST
전압/전류	BGO/SiO ₂	송전용 광 PCT	실 용 화	ABB(US), etc

2.3.2 유럽의 현황

유럽에서는 영국의 과학자 Roger에 의해 1973년에 광전류 계측기술이 제안되어 전력용 광센서 분야 이외에도 광계측 기술에 있어서 가장 많은 연구실적이 있으며 독일은 Siemens가 주축이 되어 개발 및 상용화에 앞장서고 있다. 그리고 스웨덴의 경우 ABB가 GIS의 광전류 및 전압 계측시스템을 실용화한 상태로 표 4는 지금까지 유럽에서 연구 개발된 전력용 광센서에 대한 연구개발 현황을 나타낸다.

표 4. 유럽의 광센서 연구개발 및 적용 현황

측정 대상	원리/센서	용도 및 특성	개발단계	기관명
전 류	광섬유	광 CT	기초연구	C.E.R.I.(영)
전 류	파라데이 (SF57)	광 CT	기초연구	Liverpool Uni.(영)
전 류	파라데이 (SF6)	광 CT	기초연구	Kent Uni.(영)
전 류	광섬유	광 CT	실 용 화	Siemens(독)
전압/전류	파라데이 (SF57)	GIS용 광 PCT	실 용 화	Siemens(독)
전압/전류	BSO/TGG	광 PCT	기초연구	Strathclyde Uni.(영)
전압/전류	간섭계(PZT)	GIS 광 PCT	실 용 화	ABB(스웨덴)
전 압	포렐스(BSO)	에자 분담 전압 계측	기초연구	스웨덴
전 류	파라데이(SF6)	광 CT, 직류용 광 CT	기초연구	NESA(덴)
전 압	포렐스(BGO)	광 PT	기초연구	DPED(덴)
자 계	Liquid Crystal	광자계 측정	원리확인	Napoli Uni. (이태리)
자 계	MZ 간섭계	광자계 측정	원리확인	세 코

2.3.3 중국 및 대만의 현황

중국은 1980년대부터 광학기술을 포함한 첨단 과학기술의 창조를 목표로 863 계획을 수립하여 연구 개발이 활성화되었으나 지금까지는 전력용 광센서 개발에 대한 연구가 대학을 중심으로 기초연구를 실시하고 있는 단계이다. 그리고 대만의 경우도 현재 대학에서 관심을 가지고 연구 개발을 실시하고 있는 실정으로 표 5는 중국과 대만의 전력용 광센서에 대한 연구개발 현황을 나타낸다.

표 5. 중국과 대만의 전력용 광센서 연구개발 현황

측정 대상	원리/센서	용도 및 특성	개발단계	기관명
전 류	광섬유	광 CT	원리확인	Hong Kong Uni.
전 류	파라데이(ZF7)	광 PT	기초연구	Hong Kong Uni.
전 압	포렐스(BGO)	광 PT	기초연구	Huazhong Uni.
전압/전류	LiNbO ₃	광 PCT	원리확인	D.E.E
전 류	MZ 간섭계	광 CT	기초연구	D.E.E(Taiwan)
전 류	간섭계	광 CT	원리확인	Sun Yat-Sen(대만)

3. 결 론

본 연구에서는 광CT, PT에 대한 활발한 실용화 연구가 진행되고 있는 시점에서 광CT, PT의 외국 적용사례를 조사 분석함으로써 앞으로의 광CT, PT의 연구개발에 대한 방향을 제시하고자 하였다. 국내, 선진국에서 수행된 연구 개발 및 실용화 실적을 근거로 세부 기술 및 특징을 조사 분석하여 국가별로 요약 정리하였다. 그리고 최근에 수행된 연구실적에 대해서 기술의 개요 및 실험 결과를 토대로 한 최근 선진국의 연구개발 동향을 제시하였다. 본 논문이 앞으로 광 CT/PT를 개발 실용화 하는데 참고 자료로 되었으면 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] T. W. Cease and P. Johnston, "A magneto-optic current transducer", IEEE Trans. Power Delivery, pp548-553, 5. 1990.
- [2] Y. N. Ning, Z.P. Wang, A. W. Palmer, K. T. V. Grattan and D. A. Jackson, "Recent progress in optical current sensing techniques", Rev.Sci. Instrum,6, pp3097-3111, 6. 1995.
- [3] G. W. Day, "Recent advances in Faraday effect sensors", in H. J. Arditty, J.P.kin and K. Th. Kersten(eds.), Springer Proceeding in Physics, Vol.44, Optical Fiber Sensors, Springer, Bertin, pp250-254, 1989.
- [4] Christopher P. Yakymyshyn, et al., "Manufacturing challenges of optical current and voltage sensors for utility applications" SPIE Vol. 3201.
- [5] T. Kaneko, et al., "Development of High Voltage Harmonics Measuring Instruments for Distribution Systems Using Optical Voltage Sensor and Current Sensor" T.IEE Japan, Vol.118-C, No.5, 1998.
- [6] 김영수, "광 CT, PT의 적용사례 조사 연구" 전력연구원 보고서 2000.6.