

포켈스센서를 이용한 코로나방전 발생시의 전계변화 측정에 관한 연구

A possible non-contact measuring technique for the variation of the electric field due to corona discharge by use of Pockels sensor

마지훈*, 강원종, 임윤석, 최재옥, 장용무, 구자윤
Jihoon Ma, Wonjong Kang, Yunsok Lim, Jaek Choi, Yongmoo Chang, Jayoon Koo
SMDT Lab., Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ.

Abstract

In this paper, an novel optical measuring system based on the electro-optic effect has been proposed and realized using Pockels cell with a view to detecting partial discharge taking place at the needle plane electrode. This system has the following advantages ; nonmetallic probe sensor, immune to external EMI noise and broad band response of the Pockels cell from DC to GHz. This system is constructed by He-Ne laser, Mach-Zehnder interferometer with Pockels sensor, balanced photo receiver, data acquisition board and PC. The response characteristics of the developed proto type sensor are examined for AC and corona discharge.

Key Words : PD, Pockels effect, LiNbO₃, electric field measurement, optical measuring system

1. 서 론

최근 20여년간 전력설비들이 초고압·대용량화 되어감에 따라 각종 설비들에서 발생될 수 있는 여러 가지 유형의 사고 가능성은 계속 증가되고 있다. 따라서 전력설비들에 대한 사고예방이나 운전의 신뢰도 향상을 위한 상시적인 예방진단 시스템의 필요성은 매우 절실하다.

전력설비의 상태를 진단하는 여러 방법 중에서, 부분방전을 측정하는 방법은 여타 다른 측정방법에 비하여 많은 장점이 있어 널리 연구되고 있다. 그러나,

전기적 부분방전 측정법은 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 측정된 신호가 미소하여 다단계의 증폭 및 필터링이 필요할 뿐만 아니라 외부 전자기장에도 매우 약하여 현장 적용에 어려움이 많다.[1],[2] 그러나, 최근에 레이저 및 광섬유를 이용한 여러 가지 광계측법이 제안되어 기존의 문제점들을 해결하고 현장적용을 용이하게 하고자 하는 연구가 여러 방향으로 진행되고 있다.

본 연구실에서는 초고압 설비내부에서 발행하는 부분방전을 직접 측정하기 위하여 전기광학 효과를 기초한 새로운 레이저 부분방전 진단 시스템을 제안하였다.[4] 전기광학(포켈스) 효과는 결정에 전계를 인가하면 굴절율이 변하여 결정을 통과하는 레이저광이 변조되는 현상을 말하는 것으로, 일반적으로 전압(전계) 측정을 위한 광분압기에 많이 적용되고 있다.

포켈스 센서를 이용하여 전계를 측정하는 방법은

* 한양대학교 전자전기제어공학과
Add. : 경기도 안산시 사1동 1271. 한양대학교 3공학관
217호 SMDT Lab.
Tel : (031) 417-0533 Fax : (031) 419-3042
E-mail : unima@ihanyang.ac.kr

다음과 같은 이점이 있다. 첫째, LiNbO₃ 결정유전체의 유전율이 상당히 크기 때문에 측정하고자 하는 전계를 거의 왜곡시키지 않는다. 둘째, 전계의 시간적인 변화에 대한 응답 특성이 매우 좋으며 또한 센서의 소형화가 가능하다. 셋째, 측정된 광신호 정보는 광파이버를 통하여 전달되므로 외부 전자기장에 의한 영향을 받지 않는다. 넷째, 이러한 레이저 측정 시스템은 DC부터 GHz까지 넓은 주파수 응답을 갖는다.[3]

본 논문에서는, 포켈스 센서와 광섬유 간섭계를 결합시켜 설계한 레이저 PD 측정 시스템의 AC 인가 전압에 대한 출력특성과 코로나 방전원로부터의 측정위치를 변화에 따른 PD 전계 특성 및 자체 개발한 프로그램을 이용한 데이터 획득 및 처리 결과를 보여준다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

부분방전 발생부위의 전계 측정을 위한 시스템은 그림 1에서 보여진다.

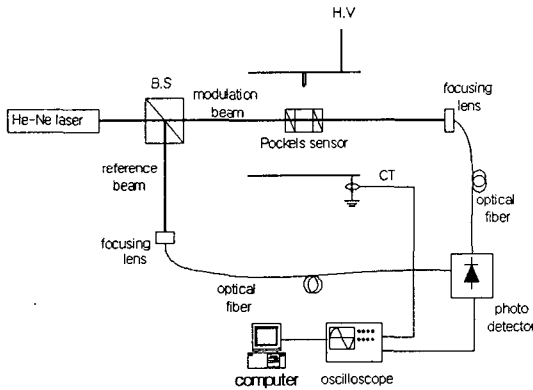


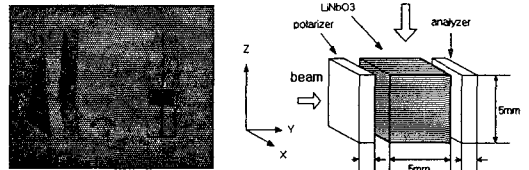
그림 1 실험 시스템의 개략도

광원으로 사용되는 He-Ne 레이저는 파장이 632.8 nm으로 10mW의 출력을 50:50으로 분할시켜 각각 기준광(reference beam)과 변조광(modulated beam)으로 나눈다. 기준광은 외부 전계의 간섭을 받지 않고 진행하며, 변조광은 센서부를 통과하면서 부분방전을 발생시키는 침-평판 전극 사이의 전계 변화에 비례하여 변조된다. 이 두 레이저광은 광다이오드로 검출되어 검출기 내부에서 두 신호 사이의 차동신호를 출력하게 된다. 이 출력신호는 디지털오실로스코프에 의해 측정되고, 이 검출파형은 GPIB를 통하여 PC로 전송되어 자체 개발한 프로그램을 이용하여 처리하였다.[4]

모든 시스템은 전자파 차폐실(전기장 1kHz ~ 1GHz : 100dB, 자기장 100kHz ~ 1GHz : 100dB)에

서 방진대 위에 설치되었고, 전압원은 Haefely Trench사의 noise free High-voltage transformer PZTL100-0.25를 사용하였다.

전계 검출에 사용된 포켈스 센서의 구성은 그림 2에서 보여진다. 본 연구에서 사용된 포켈스 소자는 크기 5mm×5mm×5mm인 정육면체로 횡형 모드 응용을 위해 X-Z면이 연마된 Y-cut LiNbO₃는 결정이다. 편광기와 검광기는 상용 diachronic 편광기를 다이아몬드 톱을 이용하여 5mm×5mm 크기로 절단하여 UV curing epoxy를 사용하여 LiNbO₃와 접착하였다.



(a) 센서부 구성 사진 (b) 센서부 구성도
그림 2 포켈스 센서의 구성도

본 연구에서는 인가 전계에 직교하게 진행하는 레이저광을 변조시키는 횡형모드(transverse mode)를 적용하여 그림 3에서 보여준 바와 같이 인가전계에 의한 굴절율의 변화는 EL 에 비례하고 이것은 VL/d 로 쓸 수 있다. 여기서 L 은 크리스탈의 길이, d 는 크리스탈의 두께이다.[5]

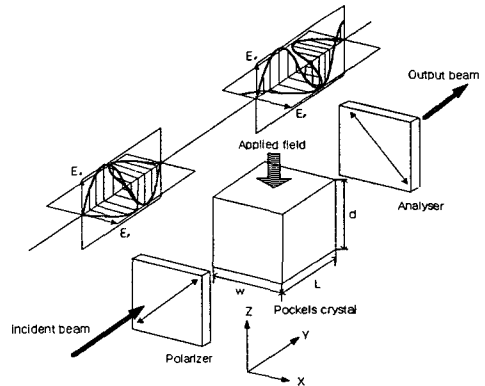


그림 3 포켈스 효과를 이용한 전계 측정 원리

부분방전을 발생시키기 위하여 곡률반경 100 μ m의 스테인레스 제질의 침전극(Ogura사 제품)과 로고스키 전극 형태로 가공한 원형 평판 전극을 이용하여 전극사이의 간격이 조절될 수 있도록 침대평판 전극을 구성하였고, 그림 4에서 전극구성을 보여주었다.

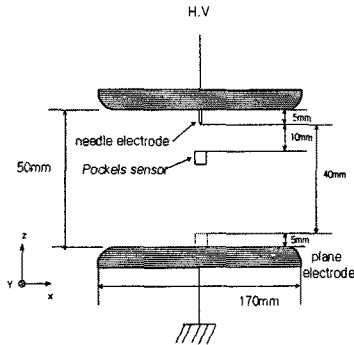


그림 4 침대 평판 전극의 구성도

측정 시스템의 제어, 측정 데이터의 저장 및 신호 처리를 위해 자체 개발한 프로그램은 그림 5에 보여 주고 있다.

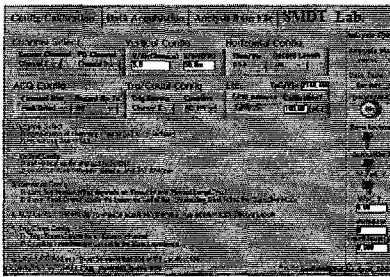
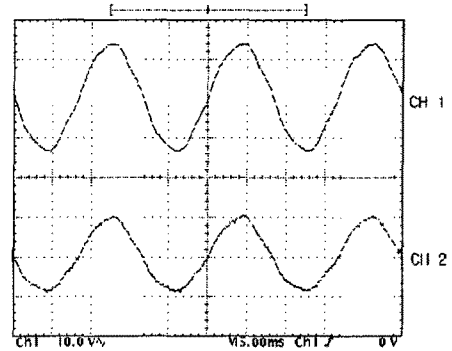


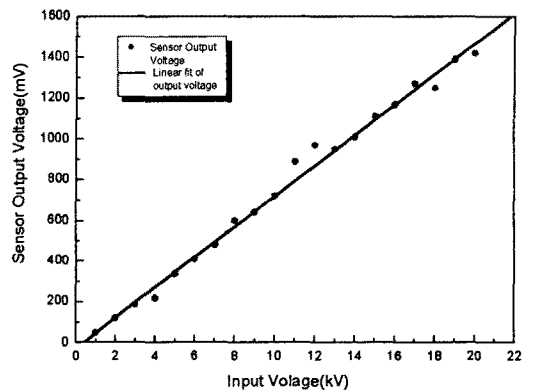
그림 5 데이터 저장 및 처리를 위한 프로그램

2.2 결과 및 고찰

인가 전압에 대한 포켈스 센서 출력 특성을 보기 위하여, 평판전극 사이의 거리를 10cm로 고정하고 그 사이에 포켈스 센서를 삽입하였다. 외부에서 인가전압을 1kV부터 20kV까지 1kV씩 증가시키면서 포켈스 센서의 출력값을 조사하여, 이 범위 내에서 인가전압에 대한 출력값의 선형성을 확인하였다. 그림 5(a)는 7kV 인가시 포켈스 센서의 출력파형이고, 그림 5(b)는 외부 인가 전압에 대한 출력 값을 보여 준다. 이 그래프에서 보이는 오차는 외부 전압인가 시의 미세한 변동 성분과 광원으로 사용된 레이저의 리플 성분으로 생각되며, 차후 모듈화된 시스템 제작에 의해 개선될 것으로 사료된다.



(a) 인가전압 파형(ch 1)과 센서 출력 파형(ch 2) 비교



(b) 인가전압에 따른 포켈스 센서 출력전압
그림 5 외부 인가 전압에 대한 포켈스 센서의 출력

포켈스 센서를 이용하여 코로나 방전 발생시의 전계변화를 측정하였다. 그림 6은 상부 침전극으로부터 10mm위치에서 약 100pC의 방전 발생시의 센서의 출력파형이다. 여기서 Ch. 1은 인가전압(10kV)파형, Ch. 2는 상용의 CT(Power Diagnosis 사)로 잡은 PD 펄스 파형, Ch. 4는 PD 발생시 포켈스 센서로 잡은 전계변화 파형이다. 또한 이때의 PD양과 형태를 Haefely 사의 부분방전 검출기(TE-571)로 측정했고 그림 7에서 보여주고 있다.

그림6에서 보여지는 바와 같이, 정극성 부분에서 발생하는 PD가 부극성 부분에서 발생하는 PD보다 약 2~2.5배정도 더 크게 발생하는데, 포켈스 센서의 출력파형에서도 정극성 부분에서의 전계변화가 부극성 부분의 전계변화보다 더 크고 급격히 변함을 볼 수 있다.

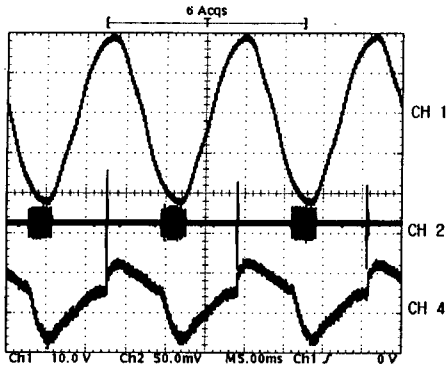


그림 6. 인가전압 파형(ch. 1), CT 출력 파형 (ch. 2), 포켈스센서 출력 파형(ch. 4)

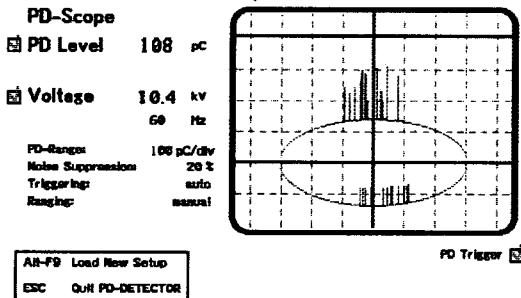


그림 7. TE-571로 검출한 PD 파형

최초 침전극과 센서의 거리를 10mm로 하고, 방전(약 100pC)이 개시됐을 때의 전압(10kV)을 그대로 유지시킨 상태에서 센서와 침전극 간의 사이를 10mm씩 늘어가며 50mm까지의 센서 출력전압을 측정하였다. 그림 8에서는 거리에 따른 센서의 출력 전압을 나타내고 있다. 여기서 센서와 침전극 사이의 거리가 멀어질수록 출력전압이 낮아지고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 자체 제작한 레이저 PD 측정시스템을 이용하여 침-평판에서 PD 발생전압, 센서의 위도에 따른 부분방전을 검출분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 침-평판 사이에 포켈스센서를 고정시킨 후 전압을 서서히 인가하여 얻은 센서의 출력은 인가전압과 정비례하여 선형적으로 나타나게 되었고, 이 결과로 포켈스센서의 선형성이 보장되었다.
2. 전압을 인가하여 코로나 방전이 생겼을 때 CT나 TE-571로 검출한 신호와 포켈스 센서의 출력신호를 비교해 보면, 방전이 발생한 부분이 정확히 일치하고 방전량에 따른 센서 출력신호의 변화가 다르고

그것이 기울기로서 비교할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

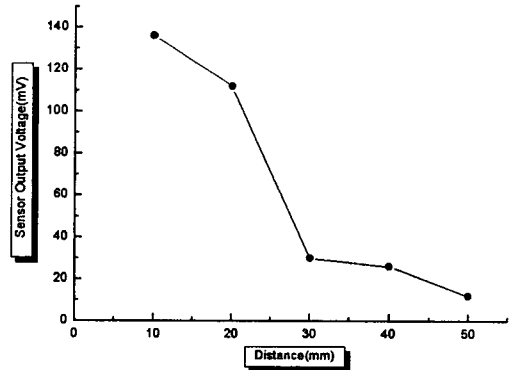


그림 8. 거리에 따른 검출신호 크기 변화

3. 100pC정도의 방전량을 발생시킨 상태에서, 침전극에서 포켈스 센서까지의 거리가 증가될 때 센서 출력이 비례적으로 감소함을 알 수 있었다.

이러한 결과로써 GIS와 같은 여러 고전압기기에서의 포켈스센서를 이용한 PD검출 및 해석의 가능성이 보였으며, 앞으로는 이러한 광측정시스템이 실제 현장에서 신뢰할만한 측정이 가능케하는 연구가 더 진행되어야 할 것이다

감사의 글

본 연구는 기초전력공학 공동연구소 및 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1]. J. P. Steiner, "Partial Discharge IV, Commercial PD testing", IEEE EI Magazine, Vol. 1, No. 1, pp.20-33, 1991.
- [2]. F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", Butterworths, 1989.
- [3] Josemir Coelho Santos and Kunihiko Hidaka, "Optical high voltage measurement technique using Pockels Device" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 2394-2398, 1997
- [4] J. Y. Koo, et al, "A possible application of the PD detection technique using electro-optic Pockels cell with nonlinear characteristic analysis on the PD signals", pp. 531-534, CEIDP-IEEE, 2000
- [5] Amnon Yariv, Pochi Yeh, "Optical waves in crystals", Wiley-interscience, 1984