

광계측 시스템을 이용한 코로나 방전 검출

강원중, 마지훈, 장용우, 구자윤  
한양대학교 전기공학과

A possible optical measuring technique for corona discharge by use of Pockels sensor

Wonjong Kang, Jihoon Ma, 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 100MHz. And also it is constructed by He-Ne laser, optical fiber, LiNbO<sub>3</sub> Pockels cell, photo detector, grin lens, oscilloscope and PC. The characteristics of the developed prototype sensor are investigated under AC and corona discharges.

1. 서 론

최근 20여년간 전력설비들이 초고압·대용량화 되어 감에 따라 각종 설비들에서 발생될 수 있는 여러가지 유형의 사고 가능성은 계속 증가되고 있다. 따라서 전력설비들에 대한 사고예방이나 운전의 신뢰도 향상을 위한 상시 예방진단 시스템의 필요성은 매우 절실하다. 따라서, 전력설비의 절연상태 진단을 위하여 많은 방법이 적용되어 왔으며, 그 중에서 부분방전 검출을 이용하는 방법은 여타 다른 측정방법에 비하여 많은 장점이 있어 광범위하게 연구, 적용되고 있다.

부분방전 검출 방법 중 전기적인 방법은 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 현장 적용을 용이하게 하고자 하는 연구가 여러 방향으로 진행되고 있다.

본 연구실에서는 초고압 설비내부에서 발행하는 부분방전을 직접 검출하기 위하여 전기광학 효과를 기초한 새로운 레이저 부분방전 진단 시스템을 국내외 최초로 제안하여 연구한 결과를 발표하였다. [3] [4] 전기광학(포켈스) 효과는 결정에 전계를 인가하여 굴절률이 변하면 결정을 통과하는 레이저광이 변조되는 현상을 말하는 것으로, 일반적으로 전압(전계) 측정을 위한 광분압기 등에 많이 적용되고 있다. [5] 포켈스 센서를 이용한 전압(전계) 측정법은 다음과 같은 이점이 있다. 첫째, LiNbO<sub>3</sub> 결정 유전체의 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. [6]

본 논문에서는, 이미 발표된 연구결과 [3] [4]로 부터

포켈스 센서와 광섬유를 결합시킨 프루브 PD 전계센서를 설계, 제작하여 AC 인가 전압에 대한 출력특성과 코로나 방전원으로부터의 측정위치를 변화에 따른 PD 검출 특성 및 주파수 분석 결과를 발표한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

코로나 방전 발생부위의 전계 변화 측정을 위한 광계측 시스템의 개략도는 그림 1과 같다.

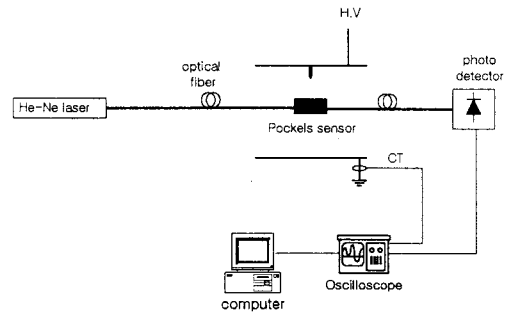


그림 1. 실험 시스템의 개략도

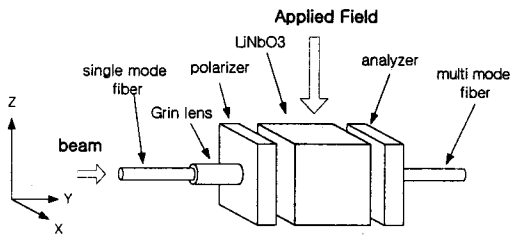
광원은 He-Ne 레이저(파장 : 632.8nm, 출력 : 10mW, 편광 : 500:1 선형편광)를 사용하였고, 레이저광이 단일모드 광섬유(core : 4μm, clad : 125μm) 커플러(laser to single mode fiber coupler)를 통해 Pockels 센서에 입사되어 진행하면서 부분방전에 의한 전계 변화에 비례하여 변조된다. 센서를 통과한 변조광은 다중모드 광파이버(core : 400μm, clad : 425μm)로 전송되어 광검출기로 전달되며, 검출기 내부에서 광신호가 전기적 신호로 변환되어 출력하게 된다. 이 출력신호는 디지털 오실로스코프에 의해 측정되고, 이 검출파형은 GPIB를 통하여 PC로 전송되어 자체 개발한 프로그램을 이용하여 처리하였다. 모든 시스템은 전자파 차폐실(전기장 1kHz ~ 1GHz : 100dB, 자기장 100kHz ~ 1GHz : 100dB)내의 방진대 위에 설치되었고, 전압원은 Haefely Trench사의 noise free High-voltage transformer PZTL 100-0.25를 사용하였다.

코로나 방전 검출에 사용된 proto-type 포켈스 센서는 그림 2-(a)의 사진과 같다. 본 연구에서 설계 제작된 포켈스 센서는 크기 5mm×5mm×5mm인 정육면체로 횡형 모드 응용을 위해 X-Z면이 연마된 Y-cut LiNbO<sub>3</sub> 결정과 상용 diachronic 편광기를 다이아몬드 톱을 이용하여 5mm×5mm 크기로 절단한 편광기와 검광기로 구성되어, UV curing epoxy를 사용하여 접착하였다. 레이저 광입력을 위한 단일모드 광섬유의 단말은 절연체 패들로 처리하였고 포켈스센서부의 접속을 위

해서 그림 2-(b)에서와 같이 Grin 렌즈를 삽입하여 UV curing epoxy로 접착시켰다. 또한, 변조광을 전송하는 다중모드 광섬유 단말은 직접 광학 연마하여 UV curing epoxy로 접착시켰다.



(a) 센서부 구성 사진



(b) 센서부 구성도

그림 2. 제작된 프루브 포켈스센서

코로나 방전을 발생시키기 위하여 그림 3에서와 같이 로고스키 전극 형태로 가공한 원형 평판 전극의 전압인가축에 곡률반경 100 $\mu$ m의 스테인레스 제질의 침전극(Ogura사 제품)을 삽입하여 전극사이의 간격이 조절될 수 있도록 침대평판 전극을 제작하였다. 그림 3에서와 같이 상부 전극에 noise free 변압기로 전압(HV)을 인가하여 코로나를 발생시키고, 센서와 방전원과의 거리를 변화하면서 방전량을 측정하였다.

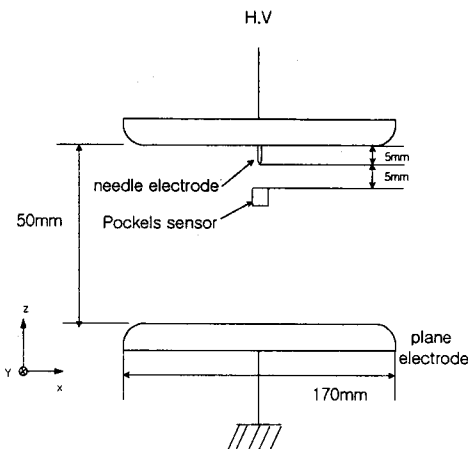


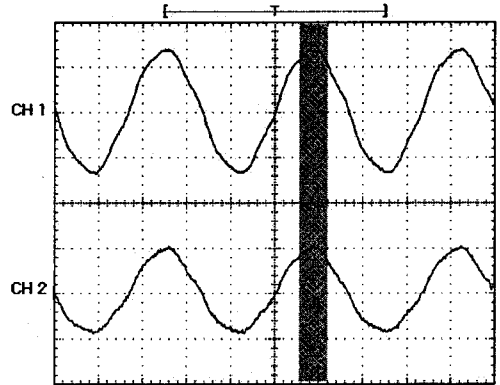
그림 3. 침대 평판 전극의 구성도

## 2.2 결과 및 고찰

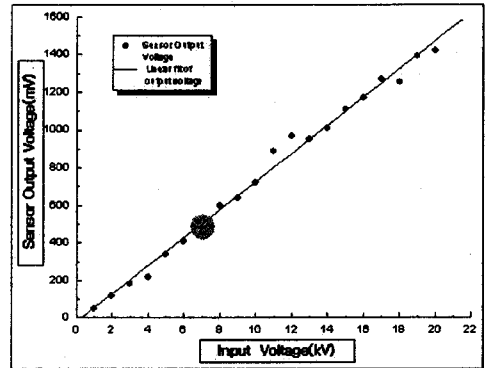
### 2.2.1 코로나 방전에 대한 센서의 선형성

평판전극 사이에 센서를 삽입하고 거리를 5cm로 고정 한후, 인가전압을 1kV부터 20kV까지 1kV씩 증가시키면서 센서의 출력값을 선형성을 확인하였다. 그림

4-(a)는 7kV 인가시 센서의 출력파형이고, 그림 4-(b)는 외부 인가 전압크기에 대한 센서 출력값이며, 오차는 외부 인가전압의 변동 성분과 측정오차로 발생하는 것으로 생각된다.



(a) 인가전압 파형(ch 1)과 센서 출력 파형(ch 2) 비교



(b) 인가전압에 따른 센서 출력

그림 4. 외부 인가전압에 대한 센서의 출력

### 2.2.2 코로나 방전 발생시의 전계변화와 방전량을 비교

그림 5는 상부 침전극으로부터 10mm위치에서 약 100pC의 방전 발생시의 센서의 출력파형과 CT 센서의 출력을 나타낸 것이다.

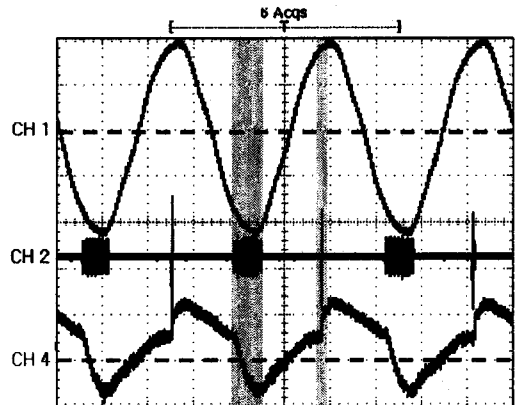


그림 5. 인가전압 파형(ch1), CT 출력 파형(ch2), 포켈스센서 출력 파형(ch4) 비교

여기서 Ch. 1은 인가전압(10kV)파형, Ch. 2는 상용 CT센서로 잡은 PD 펄스 파형, Ch. 4는 PD 발생시 센서로 잡은 전계변화 파형이다. 또한, 동시에 Haefely사

의 부분방전 검출기(TE-571)를 이용하여 PD양과 PD 형태를 측정된 결과는 그림 6에 나타났다.

그림 5에서 ch2의 CT출력 파형을 보면, 정극성의 코로나 방전이 부극성의 방전보다 2배정도 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한, 동시에 측정된 TE-571의 결과(그림 6)에서도 정극성의 방전량이 2배정도 더 크다는 것을 알 수 있다. 이와 비교하여 포켈스센서의 출력파형을 해석해 보면, 정극성에서의 방전이 일어나는 부분의 출력파형 기울기가 직각으로 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 마찬가지로 부극성 쪽도 기울기가 증가하는데, 정극성의 파형과 비교해 볼 때 그 각도가 20° 정도 줄어든 것을 볼 수 있다. 또한 파형의 피크부분도 중심선을 기준으로 정극성 쪽이 2배정도 커진 것을 볼 수 있다.

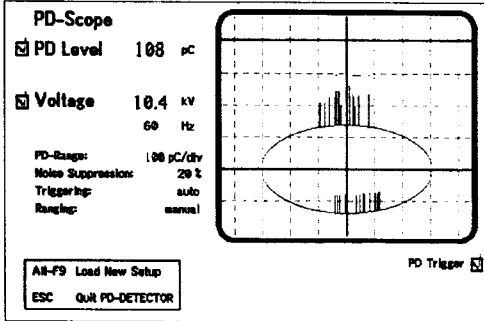


그림 6. TE-571로 검출한 PD 파형

### 2.2.3 거리에 따른 검출신호 크기 변화

최초 침전극과 센서의 거리를 5mm로 하고, 방전(약 100pC)이 개시됐을 때의 전압(10kV)을 그대로 유지시킨 상태에서 센서와 침전극 간의 거리를 5mm씩 증가시키면서 30mm까지의 센서 출력을 측정된 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7은 거리변화에 따른 정극성과 부극성에서 나타나는 PD에 대한 센서 출력으로서 센서와 침전극 사이의 거리가 멀어질수록 출력이 규칙적으로 감소됨을 알 수 있고 또한, 불규칙한 방전 펄스의 측정으로 인한 오차가 나타나는데 이 오차에 대한 검토는 다양한 방전량에 대한 추가실험으로 보완될 예정이다.

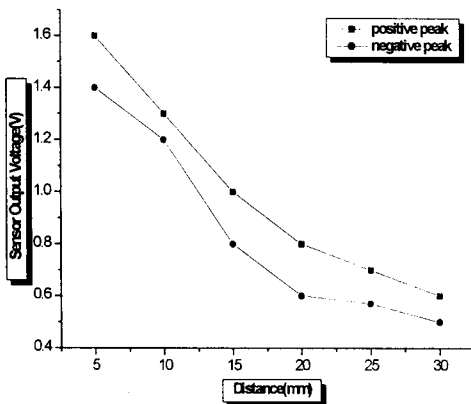


그림 7. 거리에 따른 검출신호 크기 변화

그림 8에서는 포켈스센서로 검출한 코로나 방전신호를 스펙트럼 분석(spectrum analyzer : HP 4411B)한 결과이다. 그림에서 코로나 방전에 의해 550kHz 대역의 피크 신호가 강하게 나타남을 볼 수 있고, 다른 대역에서 나타나는 신호는 광검출 회로의 노이즈 성분이다. 이러한 데이터를 이용하여, 방전 신호 검출 감도 향상을

위한 필터 및 증폭기의 제작중에 있다.

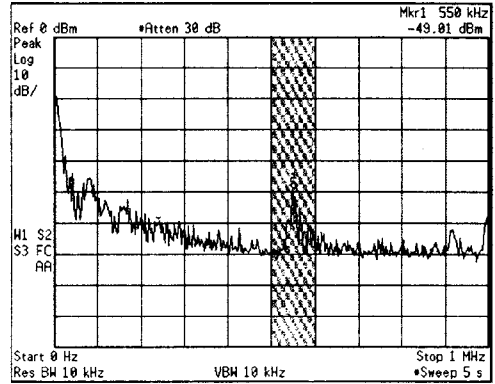


그림 8. 검출 신호의 주파수 분석

### 3. 결 론

본 연구에서는 전력성비에서의 부분방전 검출을 위한 프루브 포켈스센서를 국내 최초로 설계 제작하여 레이저 측정시스템을 구성하였다. 이를 이용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 평판-평판 전극 사이에 센서를 삽입하여 전압을 서서히 인가하면서 인가전압에 비례하는 센서의 선형적인 특성을 얻음으로써 센서의 선형성이 보장되었다.
2. 전압을 인가하여 코로나 방전이 생겼을 때 CT나 TE-571로 검출한 신호와 포켈스 센서의 출력신호를 비교해 보면, 부분방전이 발생하는 위상이 정확히 일치하고 방전량은 출력신호 파형의 기울기로서 비교할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.
3. 부분방전이 발생하는 위치에서 센서까지의 거리가 멀어질수록 센서 출력이 반비례적으로 감소함을 알 수 있었다.

이러한 결과로써 초고압 변압기와 같은 여러 고전압 기기에서의 프루브 포켈스센서를 이용한 PD검출 및 해석의 가능성이 보였으며, 앞으로는 이러한 광측정 시스템이 실제 현장에서의 신뢰할 수 있는 정량적인 측정이 가능케 하는 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

### 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]. J. Y. Koo, Y. M. Chang, J. Y. Hong, K. L. Cho, et., "Development of measuring techniques for high voltage impulse and small signal using Pockels cell", pp. 221-226, CEIDP-IEEE, 1994
- [4]. 구자윤, 장용무, 노승수, "전기광학 소자를 이용한 부분방전 신호의 검출", 대한전기학회 논문지, vol.47, No.4, pp. 511-516, 1998
- [5]. Amnon Yariv, Pochi Yeh, "Optical waves in crystals", Wiley-interscience, 1984
- [6]. Josemir Coelho Santos and Kunihiko Hidaka, "Optical high voltage measurement technique using Pockels Device" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 2394-2398, 1997